

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ANALISIS DEL CRECIMIENTO Y RESPUESTA AL FOTOPERIODO
DE SEIS ESPECIES DE AMARANTHUS

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

Magister Scientiae

por

CARLOS NIETO CABRERA

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Departamento de Producción Vegetal

Turrialba, Costa Rica

1986

DEDICATORIA

A mi esposa

Anita Elizabeth

A mi hija

Mercedes Soledad

A mi madre

María Mercedes

AGRADECIMIENTO

El autor deja constancia de sus reconocidos agradecimientos al Dr. José Fargas, Consejero Principal por su constante y oportuna orientación.

Al Dr. Gustavo Enríquez, Dr. Rolain Borel y M.S. José Arze, miembros del Comité Asesor por su valiosa orientación.

Al Dr. Herbert Fromberg, Dr. Romeo Martínez, Dr. Alexander Stolberg y M.S. Jorge Arce por sus valiosas sugerencias y apoyo brindados.

A los señores José Joaquín Salazar, Luis Guillermo Salazar, Rigoberto Núñez, Francisco Solano, Arnoldo Barrantes, Rodolfo Coto y Joaquín Dittel, por su desinteresada colaboración.

A la señora Urbana Aguilar y señorita Felicia Oviedo por su eficiente trabajo de mecanografía.

Al personal del Departamento de Producción Vegetal, de la Unidad de Recursos Fitogenéticos, de la Biblioteca y de la Oficina de Posgrado del CATIE por sus atenciones y cooperación.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP, de Ecuador y al Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, CIID, de Canadá por el auspicio y apoyo económico, para la realización de sus estudios de posgrado.

BIOGRAFIA

El autor es de nacionalidad Ecuatoriana. Sus estudios secundarios los realizó en el Colegio José B. Iglesias de Biblian - Ecuador. Se graduó de Ingeniero Agrónomo en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central de Quito, en 1980.

De 1978 a 1980 trabajó como asistente de la Cátedra de Edafología en la misma Facultad.

En 1981 realizó un curso de entrenamiento por 6 meses en Manejo de Recursos Fitogenéticos en la Universidad Agraria La Molina - Perú.

De 1980 a 1984 trabajó como investigador agropecuario en la Sección de Cultivos Andinos y Recursos Fitogenéticos en la Estación Experimental Santa Catalina de INIAP-Ecuador.

En marzo de 1984 ingresó al Programa Conjunto de Estudios de Posgrado de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, UCR-CATIE, Turrialba, para graduarse de *Magister Scientiae* en febrero de 1986.

Esta tesis fue aceptada 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.

Profesor Consejero



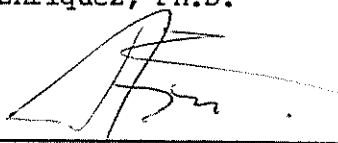
Rolain Borel, Dr.Sc.Tech.

Miembro del Comité



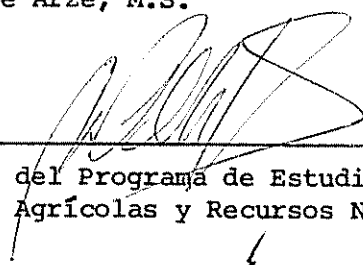
Gustavo Enríquez, Ph.D.

Miembro del Comité

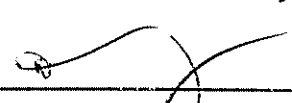


José Arze, M.S.


Miembro del Comité



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



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



Carlos Nieto Cabrera
Candidato

INDICE

	<u>Página</u>
RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xv
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. El cultivo de <u>Amaranthus</u>	3
2.1.1. Origen y distribución geográfica.....	3
2.1.2. Importancia del cultivo.....	3
2.1.3. Limitantes del cultivo.....	5
2.1.4. Características morfológicas.....	5
2.1.5. Características fisiológicas.....	6
2.1.6. Respuestas al fotoperíodo.....	7
2.1.7. Crecimiento y producción.....	8
3. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	11
3.1.1. Localización del experimento.....	11
3.1.2. Material experimental.....	11
3.1.3. Tratamientos.....	11
3.1.4. Unidad experimental.....	11
3.1.5. Diseño experimental.....	15
3.1.6. Manejo del experimento.....	15
3.1.7. Toma de la información.....	16
3.1.7.1. Datos tomados en cada muestreo durante el ciclo.....	16

3.1.7.2.	Datos tomados una sola vez durante el ciclo.....	17
3.1.7.3.	Indices para el análisis de crecimiento.....	18
3.2.	Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	19
3.2.1.	Localización del experimento.....	19
3.2.2.	Material experimental.....	19
3.2.3.	Factores en estudio y tratamientos.....	19
3.2.4.	Unidad experimental.....	21
3.2.5.	Diseño experimental.....	21
3.2.6.	Manejo del experimento.....	22
3.2.7.	Toma de la información.....	23
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	25
4.1.	Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	25
4.1.1.	Observaciones generales del cultivo.....	25
4.1.2.	Características biológicas y agronómicas.....	26
a)	Altura de planta (AP).....	26
b)	Diámetro del tallo (DT).....	26
c)	Largo de panoja (LPa).....	31
d)	Area foliar (AF).....	31
e)	Días al panojamiento (DPa).....	32
f)	Días a la floración (DF).....	32
g)	Días a la cosecha (DC).....	33
h)	Rendimiento de grano (RG1 y RG2).....	35
i)	Contenido de proteína en el grano (PG).....	37
j)	Peso seco de hojas (PSH).....	37
k)	Peso seco de tallos (STa).....	41
l)	Peso seco de panojas (PSPa).....	41

	<u>Página</u>
m) Peso seco de raíces (PSR).....	43
n) Biomasa seca total (BSTo).....	45
o) Biomasa fresca total (BFTo).....	45
p) Concentración de nitrógeno en planta entera (NPE).....	47
q) Porcentaje de proteína en planta entera (PPE).....	50
4.1.3. Índices fisiológicos del crecimiento.....	50
a) Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	50
b) Tasa de crecimiento relativo del área foliar (TCRF).....	54
c) Tasa de asimilación neta (TAN).....	54
4.1.4. Índices morfológicos del crecimiento.....	56
a) Índice de área foliar (IAF).....	56
b) Área foliar específica.....	58
c) Razón peso foliar (RPF).....	59
d) Razón peso de tallos (RPTa).....	61
e) Razón peso radical (RPR).....	61
4.1.5. Índices agronómicos del crecimiento.....	62
a) Tasa de producción de materia seca (TPMS).....	62
b) Producción total de proteína (PTP).....	64
c) Índice de cosecha (K).....	64
d) Eficiencia energética (EE).....	65
4.1.6. Correlación entre algunas características del creci- miento.....	66
4.1.7. Discusión general.....	67
4.2. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	68
4.2.1. Observaciones generales del cultivo.....	68
4.2.2. Días al panojamiento.....	70
4.2.3. Días a la floración.....	71

	<u>Página</u>
4.2.4. Altura de planta al panojamiento.....	82
4.2.5. Clasificación de los genotipos de acuerdo a su res- puesta fotoperiódica.....	83
5. CONCLUSIONES.....	87
6. RECOMENDACIONES.....	89
7. LITERATURA CITADA.....	90
APENDICE.....	96

ANALISIS DEL CRECIMIENTO Y RESPUESTA AL FOTOPERIODO DE
SEIS ESPECIES DE Amaranthus

PALABRAS CLAVES: Amaranthus, crecimiento, producción, fotoperíodo

RESUMEN

La presente investigación se realizó entre marzo y septiembre de 1985, en las instalaciones experimentales del CATIE, Turrialba, Costa Rica. Los objetivos fueron: evaluar el crecimiento y potencial de rendimiento de 2 genotipos de A. cruentus y 2 de A. caudatus y analizar la respuesta de 31 genotipos (6 especies) de Amaranthus a 3 fotoperíodos (8, 12 y 17 horas de luz). El análisis del crecimiento se realizó a nivel de campo y la respuesta al fotoperíodo a nivel de invernadero, utilizando 3 cámaras a prueba de luz.

Se encontró que en promedio, A. cruentus superó A. caudatus en aproximadamente 20% en cuanto a la producción de biomasa y en 48% en producción de grano. La máxima producción de A. cruentus fue de 14.8 tm/ha* de biomasa y 5864 kg/ha de grano a los 83 días mientras que A. caudatus produjo un máximo de 11.1 tm/ha de biomasa y 2872 kg/ha de grano, a los 88 días.

La tasa de crecimiento relativo, la tasa de crecimiento relativo foliar y la tasa de asimilación neta fueron máximos en los primeros 40 días del ciclo para las dos especies. A. cruentus fue, 28% más eficiente en transformar energía solar en energía química que A. caudatus.

La dos especies incrementaron el peso seco, de hojas y el área foliar hasta los 60 días del ciclo. El mayor incremento en peso de panojas fue entre los 60 y 75 días de A. cruentus y entre los 60 días y la cosecha en A. caudatus.

El contenido de proteína en planta entera fue superior en A. caudatus, pero A. cruentus presentó mayor producción de proteína total, por unidad de superficie y de tiempo.

* tm = tonelada métrica.

El rendimiento de grano en las dos especies estuvo relacionado positivamente con diámetro de tallo a los 25 días, área foliar y peso seco de hojas a los 60 días y a la cosecha, peso seco de tallos a los 60 días, peso seco de panojas a la cosecha, producción de biomasa vegetativa a la cosecha y eficiencia energética; pero estuvo correlacionado negativamente con área foliar específica y razón de área foliar.

De la respuesta de 31 genotipos de Amaranthus a 3 fotoperíodos en cuanto a días al panojamiento y floración, se encontró que: 8 genotipos (2 de A. hypochondriacus, 2 de A. cruentus, 2 de A. hybridus y 1 de A. caudatus, son plantas de día corto, cuya respuesta es de tipo cualitativo y su fotoperíodo crítico está entre 12 y 17 horas de luz, 3 genotipos (2 de A. quitensis y 1 de A. dubius), son plantas de día corto, cuya respuesta es de tipo cualitativo y su fotoperíodo crítico está entre 8 y 12 horas de luz, 17 genotipos (10 de A. caudatus, 4 de A. cruentus, 2 de A. quitensis y 1 de A. hybridus) son plantas de día corto cuya respuesta es de tipo cuantitativo y los 3 genotipos restantes (dos de A. caudatus y 1 de A. quitensis), son plantas de día corto con respuesta cualitativa en días al panojamiento y cuantitativa en días a la floración.

ANALYSIS OF GROWTH AND RESPONSE TO PHOTOPERIOD

IN SIX Amaranthus SPECIES

KEY WORDS: Amaranthus, growth, production, photoperiod

SUMMARY

The present research took place between March and September of 1985 at the experimental station of CATIE, Costa Rica. The objective was to assess growth and potential yield of 2 genotypes of A. cruentus and two genotypes of A. caudatus and to analyze the response of 31 genotypes of Amaranthus (6 species) to 3 photoperiods (8, 12 and 17 h of light). Growth analysis was done in the field and photoperiod response was done in the green house.

It was found that on the average A. cruentus surpasses A. caudatus by about 20% for biomass production and in 48% for grain production. The highest yield of A. cruentus was 14.8 mt/ha of biomass and 5864 mt/ha of grain at the 83rd day, whereas A. caudatus gave a maximum value of 11.1 mt/ha of biomass and 2872 kg/ha of grain at the 88th day.

The relative growth rate, the relative leaf growth rate and the net assimilation rate were the highest during the first 40 days of the cycle for the 2 species. A. cruentus was 28% more efficient than A. caudatus in transforming solar energy into chemical energy.

Both species increased their leaf dry weight and their leaf area until the 60th day of the cycle. The highest increase in panicle dry weight was between the 60th and the 75th day in A. cruentus, and between the 60th day and the harvest in A. caudatus.

The protein content in the entire plant was greater in A. caudatus, but A. cruentus had a higher production of total protein per unit of area and time.

The grain yield in the 2 species was positively correlated with: stem diameter at the 25th day, both leaf area and leaf dry weight at 60th day and at harvest, stem dry weight at the 60th day, panicle dry weight at harvest, vegetative biomass production and energy efficiency at harvest; but it was negatively correlated with specific leaf area and leaf area ratio.

Concerning the response of 31 genotypes of Amaranthus to 3 photoperiods, with regard the number of to days to panicle unfolding and to flowering time, it was found that: 8 genotypes (2 of A. hypochondriacus, 2 of A. cruentus, 3 of A. hybridus and 1 of A. caudatus, are short-day plants with a qualitative type of response and a critical photoperiod between 12 an 17 hours of light; 3 genotypes (2 of A. quitensis and 1 of A. dubius) are short-day plants with a qualitative response and a critical photoperiod between 8 an 12 hours of light; 17 genotypes (10 of A. caudatus, 4 of A. cruentus, 2 of A. quitensis and 1 of A. hybridus) are short-day plants with a quantitative type of response; and the 3 remaining genotypes (2 of A. caudatus and 1 of A. quitensis) are short-day plants with a qualitative response in days to panicle unfolding and a quantitative response in days to flowering time.

LISTA DE CUADROS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1.	Condiciones del tiempo durante el ciclo del cultivo de <u>Amaranthus</u> y características físico-químicas del suelo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	12
2.	Condiciones ambientales dentro y fuera de las cámaras reguladoras del fotoperíodo. Promedio (\bar{X}) de 30 repeticiones y desviación estandar (S). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	20
3.	Algunas características biológicas de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> en cinco épocas de muestreo. Datos promedios de tres repeticiones. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	27
4.	Promedios de algunas características biológicas por genotipos y épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	29
5.	Valores promedios para algunas características biológicas en cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	33
6.	Algunas características biológicas de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> en cinco épocas de muestreo. Datos promedios de tres repeticiones. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	38
7.	Promedios para algunas características biológicas por genotipos y épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	39
8.	Índices de crecimiento para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> bajo cinco épocas de muestreo. Datos promedios de tres repeticiones. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	52
9.	Promedios de algunos índices morfológicos y agronómicos del crecimiento para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> y cinco épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	59
10.	Índices de cosecha (k) y de eficiencia energética (EE), para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> en dos épocas de cosecha. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	65
11.	Distribución de la biomasa de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> por órganos, a través del tiempo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	69

12.	Análisis estadístico para tres variables de respuesta de 31 genotipos de <u>Amaranthus</u> , bajo tres fotoperíodos y prueba de Duncan para promedios de fotoperíodos. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	72
13.	Promedios de tres variables de respuesta en 31 genotipos de <u>Amaranthus</u> , bajo tres fotoperíodos. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	73
14.	Resúmenes de la respuesta de 31 genotipos de <u>Amaranthus</u> a tres fotoperíodos, en días al panojamiento y días a la floración. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	86

APENDICE

1A.	Identificación del material experimental utilizado en el experimento 1: Análisis del crecimiento y en el experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	97
2A.	Algunos parámetros o índices utilizados en la evaluación del crecimiento de cuatro genotipos en <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	98
3A.	Análisis de variancia y valores estadísticos para algunas características biológicas de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> en cinco épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	99
4A.	Análisis de variancia y valores estadísticos para algunas características biológicas en cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	100
5A.	Matriz de correlación entre algunas características biológicas, morfológicas y agronómicas del crecimiento en cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	101

LISTA DE FIGURAS

<u>Número</u>	<u>Página</u>
1. Condiciones de radiación solar (RAD), humedad relativa (HR), temperatura (TEMP), precipitación (PREC) y evaporación (EVAP), durante el ciclo del cultivo de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	13
2. Tamaño de parcela experimental y de las subparcelas para datos de análisis del crecimiento (sin escala). Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	14
3. Variaciones del fotoperíodo natural durante un año para Costa Rica (10°C lat. N.). A= fotoperíodo a partir de 21.5 lux de iluminación. B= fotoperíodo entre salida y puesta del sol (38).....	24
4. Variaciones de altura de planta (AP) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	28
5. Variaciones del diámetro de tallo (DT) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	30
6. Fenología de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	34
7. Rendimiento de grano de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Los porcentajes son con respecto al rendimiento final. Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	36
8. Variaciones del peso seco de hojas (PSH) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	40
9. Variaciones del peso seco de tallos (PSTa) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	42
10. Variaciones de peso seco de raíces (PSR) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	44
11. Variaciones de la biomasa seca total (BSTo) y el peso seco de panojas (PSPa) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	46
12. Variaciones de la biomasa fresca total (BFTo) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	48

<u>Número</u>		<u>Página</u>
13.	Variaciones del porcentaje de nitrógeno en la planta entera (NPE) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	49
14.	Variaciones del porcentaje de proteína en planta entera (PPE) y de la producción total de proteína (PTP) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	51
15.	Variaciones de la tasa de crecimiento relativo foliar (TCRF) y de la tasa de crecimiento relativo (TCR) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	53
16.	Variaciones del área foliar (AF) y de la tasa de asimilación neta (TAN) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	55
17.	Variaciones del índice de área foliar (IAF) y del área foliar específica (AFE) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	57
18.	Variaciones de la razón peso de tallos (RPTa) y de la razón peso foliar (RPF) con el tiempo, para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	60
19.	Variaciones de la tasa de producción de materia seca (TPMS) y de la razón peso radical (RPR) con el tiempo para cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> . Experimento 1: Análisis del crecimiento.....	63
20.	Respuesta de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> (G1, G2, G3 y G4) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP) días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	74
21.	Respuesta de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> , (G5, G6, G7 y G8) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.....	75
22.	Respuesta de cuatro genotipos de <u>Amaranthus</u> (G9, G10, G11 y G12) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..	76

23. Respuesta de cuatro genotipos de Amaranthus (G13, G14, G15 y G16) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..... 77
24. Respuesta de cuatro genotipos de Amaranthus (G17, G18, G19 y G20) a tres fotoperíodos en días al panojamiento (DP), días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..... 78
25. Respuesta de cuatro genotipos de Amaranthus (G21, G22, G23 y G24) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencia no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo... 79
26. Respuesta de cuatro genotipos de Amaranthus (G25, G26, G27 y G28) a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..... 80
27. Respuesta de tres genotipos de Amaranthus (G29, G30 y G31) y respuesta promedio de 31 genotipos (G1 a G31), a tres fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura de planta al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..... 81
28. Tres curvas modelos que resumen las tendencias de las respuestas de 31 genotipos de Amaranthus a tres fotoperíodos, en cuanto a días al panojamiento y días a la floración. Letras iguales representan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan, P 0.05). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo..... 84

1. INTRODUCCION

Las especies de Amaranthus, al igual que las de algunos otros géneros originarios de América, han sido relegados como cultivos desde la época colonial y prácticamente han desaparecido en muchos países del área, sin embargo en otros continentes son cultivos relevantes ya sea para la alimentación humana o animal. Actualmente se está incrementando su siembra y consumo en algunos países de América debido, entre otros factores, a su excelente calidad de proteína y a la tolerancia de las plantas a la escasez de agua.

Con el fin de probar adaptación y tener algunos datos preliminares para Costa Rica, en mayo de 1984 se sembraron 11 genotipos de Amaranthus en el campo experimental del CATIE, de los cuales 6 completaron su ciclo en forma normal, los restantes no llegaron a la etapa de producción de grano, aunque todos presentaron una gran producción de biomasa. Luego, en diciembre del mismo año se sembraron 30 genotipos incluyendo los anteriores, observándose que el 50% del material floreció prematuramente, entre 20 y 30 días después de la germinación y además se notó un desarrollo vegetativo reducido en casi todo el material evaluado.

Este comportamiento en la floración y crecimiento podría ser una respuesta al fotoperíodo pues entre mayo y julio la duración del día a 10° de latitud norte (Costa Rica), supera las 12 horas (noches cortas), mientras que en diciembre los días tienen aproximadamente 11 horas y media (noches largas) (23).

Aunque existen muchos trabajos de investigación que muestran el potencial de producción de grano y de biomasa de varias especies de Amaranthus, no se encontró estudios que relacionen la producción final con el comportamiento biológico o fisiológico del cultivo a través de su ciclo.

Con estos antecedentes y considerando la importancia del fotoperíodo, y los patrones de crecimiento en la adaptación y manejo de los cultivos, así como la necesidad de clasificar el germoplasma de acuerdo a su respuesta ambiental para facilitar la introducción e intercambio a diferentes latitudes, se decidió realizar la presente investigación, cuyos objetivos fueron:

- 1- Analizar en condiciones de campo, el crecimiento y potencial de rendimiento de 4 genotipos pertenecientes a 2 especies de Amaranthus, que previamente mostraron adaptación a las condiciones ambientales de Turrialba.

- 2- Evaluar la respuesta de 31 genotipos pertenecientes a 6 especies de Amaranthus, a 3 fotoperíodos, en ambiente de invernadero.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. El cultivo de Amaranthus

2.1.1. Origen y distribución geográfica

Según Sawyer, citado por Lloyd (42), el cultivo de Amaranthus en América data de más de 4000 años. Los tres principales cultivos que encontraron los Españoles a su llegada a América fueron maíz, frijol y amaranto (42, 49, 71). Este último, además de alimenticio formaba parte de los ritos religiosos de los Aztecas (49, 71).

Sawyer (61), y Lloyd (42), coincidieron al afirmar que Amaranthus como cultivo se originó en América. A. cruentus, A. caudatus y A. hypochondriacus son las 3 especies domesticadas por su grano y, posiblemente descienden de las especies silvestres A. powellii, A. quitensis y A. hybridus respectivamente, todas de origen Americano. Según Vietmeyer (71), Amaranthus se cultiva en la actualidad en la Zona Andina, México, India, Paquistán, Nepal y China, para explotación de grano y verdura, y en Malasia e Indonesia para verdura exclusivamente.

Históricamente Amaranthus ha sido cultivado en los trópicos, pero se puede sembrar hasta a 30° de latitud como máximo (49).

2.1.2. Importancia del cultivo

Kauffman y Hass (37), indican que el género Amaranthus es importante por: su tolerancia a la sequía, su rápido crecimiento y alta eficiencia fotosintética (son especies C_4), su aptitud para rotar o combinar con otros cultivos y ayudar a combatir malezas, su alto rendimiento de grano (igual o superior a muchos cereales comunes) y su buena calidad de proteína (alto contenido de lisina). Muchas especies de Amaranthus, tienen un potencial muy grande para áreas con baja pluviosidad y presentan una buena alternativa para diversificar cultivos, sobre todo para pequeños o medianos finqueros (35).

La importancia del cultivo como verdura se justifica por: su rápido crecimiento y alta producción de biomasa y su aptitud para manejarse como plantas de jardín o huerto casero (27).

Bressani y González (8), indican que por su gran desarrollo de biomasa,

hay posibilidad de usar los residuos de cosecha en la alimentación animal. Estos mismos autores (8), evaluaron la calidad nutritiva de los restos de cosecha de 33 genotipos de Amaranthus y encontraron en promedio: humedad 11,3%, grasa 1,9%, fibra cruda 35,8%, proteína 7,2%, cenizas 11,1% y carbohidratos 32,7%.

El contenido nutritivo del grano en las 3 especies más cultivadas, en porcentaje, es el siguiente (49, 69):

ESPECIE	PROTEINA	GRASA	FIBRA	CENIZAS
<u>A. cruentus</u>	17,8	7,9	4,4	3,3
<u>A. caudatus</u>	15,8	8,1	3,2	3,2
<u>A. hypochondriacus</u>	15,6	6,1	5,0	3,3

Senft (64), trabajando con 14 genotipos de amaranto, encontró un promedio de 15% de proteína con un rango de 13,5 a 17,2%, sin embargo este autor usó el factor 5,8 para convertir nitrógeno a proteína, en lugar del factor 6,25 de uso común. Connor et al (12), trabajando con A. edulis encontraron 13,6 y 14,54 MJ/kg de energía metabolizable en la materia seca del grano tratado al calor y no tratado respectivamente. Según Bressani (7), la calidad de proteína del grano, expresada como Razón Proteínica Neta (RPR)*, varió de 1,74 a 3,14 en 41 genotipos de Amaranthus evaluados. Además se encontró correlación negativa entre el contenido de proteína y el valor de RPR.

El contenido de aminoácidos por 100 g de proteína en A. caudatus, según Sumar (66), es: lisina 6,2, leucina 5,9, isoleucina 3,9, metionina 2,3 glicina 7,3, alanina 4,2, fenilalanina 4,3 y ácido glutámico 17,2. La importancia como verdura, ha sido demostrada por Grubben y Sloten (27), quienes concluyen que por cada 100 g de materia fresca comestible, se obtiene 16 g de materia seca y 4,6 g de proteína, lo que dá un estimado de: 12800 y 3680 kg/ha/año de materia seca y proteína respectivamente.

* Ganancia en peso de un grupo experimental de animales comparado con la pérdida de peso de otro grupo semejante pero alimentado con una dieta libre de proteína.

2.1.3. Limitantes del cultivo

Cheeke, Carlsson y Kohler (14), al encontrar poca ganancia de peso en ratas alimentadas con dietas a base de grano de amaranto, sugieren que esto puede deberse al alto contenido de cenizas, o a la presencia de saponinas, fenoles u oxales en las muestras usadas. Buck et al (10), atribuyen la enfermedad llamada edema perirenal en chanchos al exceso de ingestión de A. retroflexus y Chenopodium album.

En un ensayo con 25 genotipos de Amaranthus se encontró de 0,94 al 1,29% de ácido oxálico y de 0,25 al 1% de nitratos en base seca, en la parte utilizable como verdura (15), mientras que en hojas y tallos de A. retroflexus, se encontraron ligeros precipitados de saponinas y taninos (16). Afortunadamente todos estos compuestos son termodegradables (27, 49, 69).

A nivel agronómico los mayores limitantes son la susceptibilidad al ataque de plagas y la dificultad de cosechar y beneficiar al grano, dado su tamaño tan pequeño (49, 50, 69).

2.1.4. Características morfológicas

Las especies del género Amaranthus son plantas anuales, herbáceas, de tallos suculentos que alcanzan hasta 2.5 m de altura (49, 61, 66). Son plantas monóicas o dióicas, con flores en glomérulos con 3 o 5 bracteadas externas cada una (54, 69). Las flores masculinas con 3 o 5 estambres y las femeninas con un ovario súpero, en cuyo interior contiene 1 sola semilla (13, 69).

Pal (54), indica que un glomérulo en Amaranthus es una cima dicácida cuya flor es terminal y masculina, en su base nacen dos flores laterales (femeninas), las que a su vez serán terminales, cada una de las cuales origina otras dos flores laterales y así sucesivamente. Un glomérulo puede alcanzar hasta 250 flores femeninas, aunque el número de polinizadas es mucho menor.

El tamaño de grano es muy pequeño, 1 gramo contiene entre 1000 y 3000 semillas y al ser molidas el 74% es harina y el 26% es salvado (69). Todas las especies silvestres presentan semillas de color negro y con cubierta dura, mientras que las cultivadas poseen granos blancos y de cubierta blanda (49, 54, 69).

2.1.5. Características fisiológicas

Amaranto es una de las pocas plantas no gramíneas que realiza fotosíntesis vía C_4 , por lo que tiene alta eficiencia fotosintética, ya que su pérdida de carbono por fotorespiración es nula (26, 49). Ramamurthy y Das (58), trabajando con 12 especies de la familia Amarantacea, encontraron que todas las del género Amaranthus presentan anatomía Kranz*.

Lester y Goldsworthy (41), al determinar los puntos de compensación de CO_2 en hojas de A. edulis, encontraron valores muy cercanos a cero en ambientes controlados, pero en condiciones de invernadero midieron valores superiores a 20 ppm de CO_2 ; sin embargo, todas las hojas evaluadas presentaron anatomía Kranz. Estos mismos autores (41), encontraron correlación negativa entre el contenido de almidón en el mesófilo de las hojas y la intensidad de luz incidente sobre las mismas, característica típica de plantas C_3 . De acuerdo a estas evidencias, los autores concluyen que A. edulis puede ser una planta C_3 facultativa, es decir que actúa como tal cuando el medio no es apto para actuar como C_4 .

En A. lividus, se encontró que los niveles de azúcares y almidones en los tejidos disminuyeron significativamente, mientras el nivel de ATP incrementó de 25 a 40% al bajar la temperatura ambiental de 25 a 10°C en ausencia de luz (68). Este comportamiento se podría deber a una reducción del metabolismo anabólico, especialmente de proteínas y almidones, por lo que se concluye que esta planta es sensitiva al frío (22, 68).

En A. edulis, se encontró que la temperatura óptima para fotosíntesis a varios niveles de intensidad de luz y concentración de CO_2 , es 40°C (18). Este mismo pico de temperatura (40°C) se encontró en la actividad fotosintética de A. caudatus (49), lo que corrobora que estas plantas son de tipo C_4 .

En A. edulis, además se encontró una relación lineal positiva entre la tasa de fotosíntesis y la concentración de CO_2 , hasta 500 ppm (18). Nautiyal y Purohit (51), encontraron en A. paniculatus una relación directa entre el aumento de la producción de biomasa y la disminución de altitud, lo que podría deberse a un efecto indirecto de la temperatura.

* Anatomía foliar de las plantas C_4 (4).

2.1.6. Respuestas al fotoperíodo

Como regla general, Amaranthus, crece vegetativamente en días largos y florecen cuando los días comienzan a acortarse (69).

A. hypochondriacus procedente de México, no florece en verano en Pensylvania, pero cultivado en invernadero florece en días cortos de invierno (36, 49); mientras que A. cruentus, procedente de Nigeria, florece tardíamente en su zona ecuatorial de origen pero en condiciones de verano de Pensylvania (día largo) florece y forma granos prematuramente (49).

Purohit y Treguna (56), evaluaron la distribución fotoperiódica de algunas dicotiledóneas, C_3 y C_4 , entre ellas 4 especies de Amaranthus y encontraron que todas florecieron en día corto o intermedio. Sin embargo aquellas de tipo C_3 fueron cualitativamente de día corto, mientras que las de tipo C_4 se comportaron cuantitativamente de día corto, por lo que sugieren, que como las plantas C_4 descienden de las C_3 , es razonable asumir que la respuesta cuantitativa a día corto, sea heredada del comportamiento cualitativo de las C_3 .

Kadman y Ephrat (34), encontraron que A. retroflexus florece prematuramente y en el 100% de su población, con un espectro de luz más 20 minutos de luz roja lejana (730nm), pero en condición de luz azul más 20 minutos de rojo (660nm), sólo florece entre el 20 y 80% de la población y muy tardíamente. Downs, citado por Kadman y Ephrat (34), encontraron resultados similares para A. caudatus, por lo que concluyen que estas especies son de día corto cuya floración es inhibida por fitocromo 730. Por su parte Fuller (24), encontró que A. caudatus, floreció bajo un fotoperíodo de 8h de luz mientras que entre 12 a 14.5h (fotoperíodo de primavera de Illinois) y bajo luz continua, permaneció vegetativo. Además bajo iluminación continua, se presentaron anomalías como: caída prematura de hojas, clorosis y crecimiento retardado de la raíz principal. Benin, Ochoa y Zaragoza (5), registraron el 100% de germinación A. cruentus, A. retroflexus y A. blitoides, en presencia de luz continua y con luz alterna (12 h. luz, 12 h. oscuridad), pero sólo el 50% en presencia de oscuridad continua, lo que indica que aparentemente la respuesta de estas especies al fotoperíodo en cuanto a germinación es inversa a la respuesta en floración.

Koller, Kigel y Ovadia (40), encontraron que A. retroflexus responde a 1 ciclo inductivo de día corto y sólo necesita 3 días luego de la emergencia para la formación microscópica del primordio floral. Sawhney, Kohli y Sawhney (62), encontraron que A. caudatus var. albiflorus, A. caudatus var. caudatus y

A. tricolor var. tristis, responden a día corto con 16, 15, 5 y 15 h de fotoperíodo crítico respectivamente. Además observaron en estas mismas plantas que el número de ciclos inductivos de día corto (8h), para la aparición macroscópica del primordio floral, fue de 6, 3 y 5 respectivamente.

Zabka (76), encontró que A. caudatus, no responde a la inducción de días cortos hasta que no alcanza su "período sensitivo", de aproximadamente 30 días a partir de la geminación. Pasada esta edad, solo bastan 2 días de inducción para la formación del primordio floral. Además concluye que esta especie puede florecer bajo un régimen de día largo (18 h), pero luego necesita de días cortos para que su futuro desarrollo floral sea normal. Kohli, Sawhney y Sawhney (39), trabajando con A. tricolor y A. caudatus, concluyeron que el aumento del número de ciclos inductivos de día corto (8 h), origina un incremento en el contenido proteína en hojas y tallos, además de acelerar el inicio de la floración.

Kendrick y Frankland (38), trabajando con plántulas de A. caudatus, encontraron que luego de la saturación con luz roja (660 nm), el fitocromo 730 decrece en la oscuridad en una magnitud no detectable fotométricamente, por lo que concluye que no hay evidencia de reversión de fitocromo 730 a 660, como se encuentra en otros cultivos.

2.1.7. Crecimiento y producción

Shetty, Sivakumar y Ram (65), evaluando el efecto del sombreadamiento en A. virides, encontraron que el índice de área foliar disminuyó en 20 y 70% con 60 y 90% de intercepción de la luz respectivamente, el rendimiento de materia seca disminuyó en 40 y 65% con estos mismos tratamientos, mientras que el rendimiento de grano disminuyó en un 80% con 50% de intercepción de luz.

En A. hybridus, se observó que la relación de área foliar (LAR) y la tasa de crecimiento relativo disminuyeron con la edad de la planta entre los primeros 28 días de su ciclo, mientras que la tasa de asimilación neta aumentó entre los 7 y 21 días, pero decreció entre los 21 y 28 días (21). Olufolaki y Tayo (53) encontraron que la tasa de crecimiento absoluto aumentó de 0,9 a 1,1 g/semana en A. cruentus, desde la 7 a la 9 semana de edad, luego declinó significativamente hasta llegar a cero a partir de la 13 semana.

Estos mismos autores (53), evaluando 3 cultivares de A. cruentus, no encontraron diferencias en cuanto a tamaño de planta, área foliar, número de hojas y número de ramas por planta y los 3 cultivares alcanzaron el máximo valor de área foliar ($350 \text{ cm}^2/20$ hojas en promedio), a las 11 semanas desde la siembra. Medina (45) trabajando con A. hypochondriacus en 4 localidades de México encontró que el tamaño de planta en promedio por localidad fue de 106, 108, 122 y 161 cm; mientras que los valores de área foliar fueron: 9814, 14987, 15639 y $20233 \text{ m}^2/\text{ha}$ respectivamente. Además realizó 3 muestreos en una sola localidad y encontró 21602, 20233 y $19092 \text{ m}^2/\text{ha}$ de área foliar a los 70, 90 y 110 días respectivamente. Este mismo autor (45), registró 2114, 4859, 5249 y $6528 \text{ kg}/\text{ha}$ de materia seca en las 4 localidades y a los 90 días desde la siembra.

Mugerwa y Bwabye (48), en A. hybridus, encontraron un rendimiento de 9000 kg/ha de materia seca a los 66 días desde la siembra. Mientras que Deutsch (16), informó hasta 20 t/ha de materia fresca a la floración. Schmith (63), en A. cruentus encontró 3339 y 5133 kg/ha de materia seca a los 70 y 120 días respectivamente y Makus (43), trabajando con 8 genotipos de A. tricolor, a una densidad de 215270 plantas/ha, obtuvo un rango de rendimiento de 9,9 a 18,3 tm de materia fresca/ha, con porcentajes de 40 a 62% de hojas a los 42 días desde la siembra.

Pandey (55), trabajando con 6 líneas parentales y 30 poblaciones segregantes de A. hypochondriacus, encontró correlación positiva y significativa entre rendimiento de grano y tamaño de planta, días a la floración, días a la cosecha e índice de cosecha. Por su parte, Hauptli y Jain (30), encontraron correlación negativa entre rendimiento de grano y días a la floración, lo que indica que hay una aparente facilidad para seleccionar plantas de bajo tamaño y alto rendimiento. Mientras que Mohideen y Muthukrishnan (47), estudiando el crecimiento de A. tricolor encontraron alta correlación entre rendimiento de grano y peso de hojas, diámetro de tallo y altura de planta a los 25 días de la siembra, por lo que recomiendan usar estas características, si se quiere una selección temprana para rendimiento de grano.

Hauptli y Jain (29), haciendo una comparación entre genotipos verdes y rojos en A. cruentus, concluyeron que los rojos presentan mayor tamaño de planta y rendimiento de grano que los verdes, pero índice de cosecha ligeramente menor. Además, en los dos genotipos se observó una asociación negativa entre rendimiento de grano e índice de cosecha, lo que sugiere que las plantas más altas y con

mayor productividad de biomasa son las más favorables para rendimiento de grano.

Del análisis nutricional de la biomasa aérea, se encontró que el contenido de N decreció de 3,4% a las 5 semanas a 0,5% a las 13 semanas (53). El contenido de P y K también declinaron significativamente con la edad de la planta (53), aunque el potasio se incrementó ligeramente hasta la séptima semana y luego decreció (67). Medina (45), en A. hypochondriacus (Planta entera) encontró 3,29 2,50 1,59 y 0,97% de N a los 70, 90, 110 y 164 días desde la siembra respectivamente.

Bressani, González y Elias (9), encontraron correlación negativa entre rendimiento de grano y contenido de proteína, para 14 genotipos de Amaranthus, por lo que se concluyó que la selección para un carácter significa pérdida para el otro.

En cuanto al rendimiento de grano, se encontró datos muy variables así: 2 a 3 tm/ha (27), 1800 kg/ha (49), 1628 kg/ha (33), 1746 a 1983 kg/ha (17), 2279 kg/ha (32), 0,4 a 3,5 tm/ha (28), 703 a 2726 kg/ha (51), 859 a 4091 kg/ha (9), 387 a 4409 kg/ha (45) y 15,1 a 35,6 g/planta (30).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Experimento 1: Análisis del crecimiento

3.1.1. Localización del experimento

El trabajo se realizó en las instalaciones experimentales del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, entre el 19 de marzo y 18 de junio de 1985. Las características climáticas, así como los resultados del análisis de suelo, se presentan en el Cuadro 1 y en la Figura 1.

3.1.2. Material experimental

Se utilizaron semillas de 4 genotipos de amaranto: 2 de A. caudatus y 2 de A. cruentus, cuya identificación y procedencia se presenta en el Cuadro 1A. Este material fue seleccionado en pruebas preliminares de adaptación, realizadas en dos localidades de Turrialba (a 600 y 1370 m de altitud).

3.1.3. Tratamientos

Los tratamientos se formaron de la combinación de los 4 genotipos por 5 épocas de muestreo, dando un total de 20 tratamientos. Los muestreos se hicieron a los 25, 40, 60 y 75 días desde la siembra y a la cosecha. Algunas variables fueron tomadas en una sola época, por lo que en este caso los tratamientos fueron únicamente los 4 genotipos en estudio.

3.1.4. Unidad experimental

Consistió de una parcela de 4,2 x 1,5 m, en las que se colocaron 14 surcos, distanciados a 0,3 m. La distancia entre plantas fue 0,25 m, con lo que se dispuso de 84 plantas por parcela, las que fueron utilizadas en los 5 muestreos. Cada muestra consistió de 4 plantas tomadas al azar y en perfecta competencia (Figura 2).

Cuadro 1. Condiciones del tiempo durante el ciclo del cultivo de Amaranthus y características físico-químicas del suelo.
Experimento I: Análisis del crecimiento

CONDICIONES DEL TIEMPO							
Meses	Precipitación (mm/mes) Total mensual	Promedio 36 años	Diferencia	Evaporación Real (mm/mes)	Balace Hídrico Atmosférico (mm/mes)	Radiación Solar (cal/cm ² /mes)	Humedad Relativa (%)
Marzo	34,9	75,6	- 40,7	135,9	- 101,0	16172	87,0
Abril	51,9	127,5	- 75,5	141,5	- 81,6	15906	87,3
Mayo	100,8	233,4	-132,6	142,7	- 41,9	15606	88,1
Junio	291,4	281,4	+ 10,0	89,8	+ 191,6	11321	92,1

Fuente: Estación meteorológica del CATIE - 1985.

ANÁLISIS DEL SUELO

Análisis	Químico			Físico			Interpretación
	Interpretación	Análisis	Interpretación	Análisis	Interpretación		
Nitrogeno	0,47 %	Bajo	Arena	47,4%	Suelo Franco		
Fósforo	91,02 ppm	Alto	Limo	37,8%			
Potasio	0,36 meq/100 g	Medio	Arcilla	14,8%			
Calcio	8,46 "	Medio					
Magnesio	1,27 "	Medio					
Cobre	20,00 ppm	Alto					
Zinc	6,00 "	Alto					
Manganeso	1,00 "	Bajo					
pH	5,46	Lig. ácido					

Fuente: Laboratorio de Suelos del CATIE.

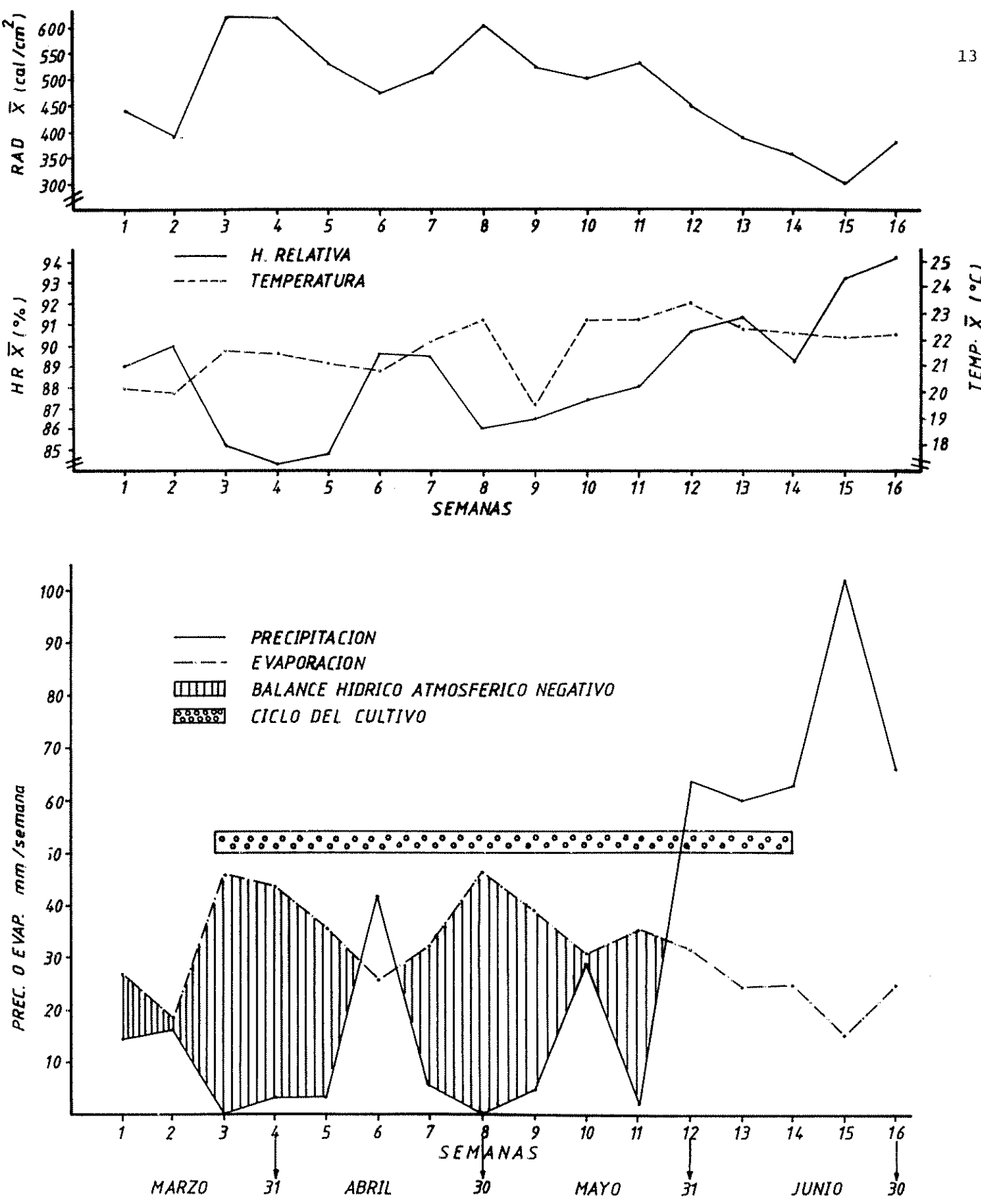
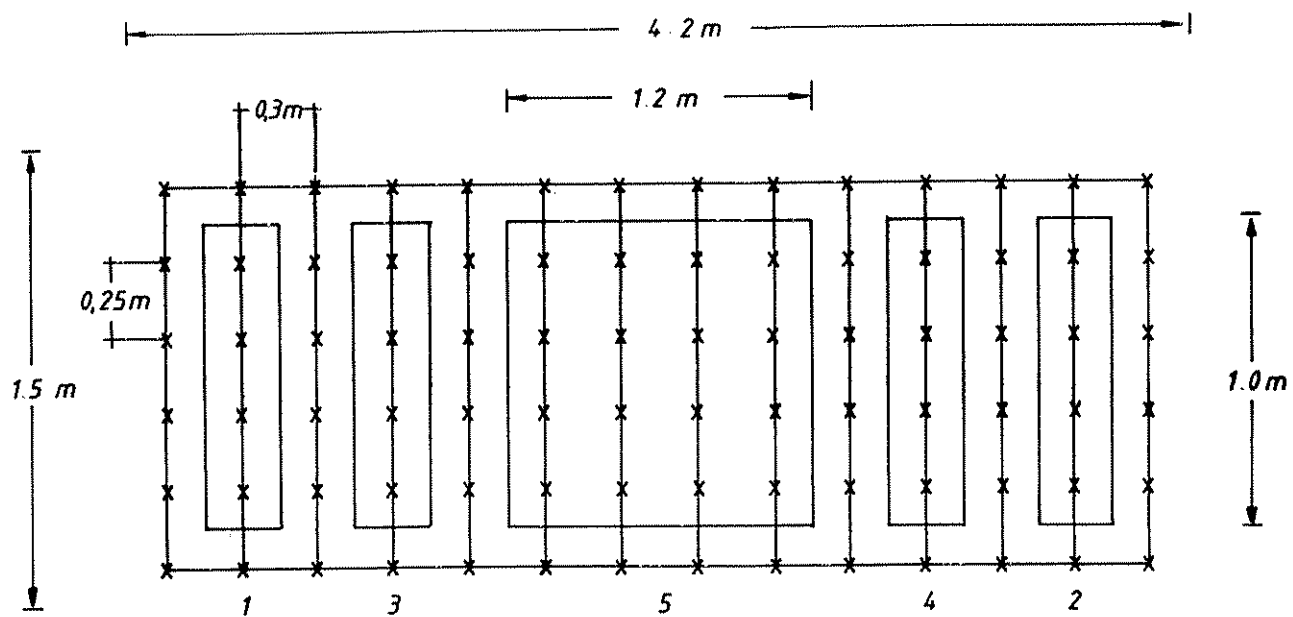


Figura 1. Condiciones de radiación solar (RAD), humedad relativa (HR), temperatura (TEMP), precipitación (PREC) y evaporación (EVAP) durante el ciclo del cultivo de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.



- x : PLANTAS AMARANTHUS
 1-5 : ORDEN DE MUESTREO DE SUBPARCELAS
POBLACION REAL 133.333

Figura 2. Tamaño de parcela experimental y de las subparcelas para datos de análisis del crecimiento (sin escala). Experimento 1: Análisis del crecimiento.

3.1.5. Diseño Experimental

Se utilizó un arreglo factorial 4 x 5 aplicado en un diseño de Bloques Completos al Azar, con 3 repeticiones, para las variables medidas periódicamente y un Diseño de Bloques Completos al Azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones para las variables medidas una sola vez.

Las hipótesis probadas fueron:

- a) Ho: La respuesta de los 4 genotipos es similar en cada muestreo.
- b) Ho: No hay efecto de época de muestreo en la respuesta de genotipos.
- c) Ho: No hay interacción entre efecto de genotipos y épocas de muestreo.

El análisis funcional consistió de pruebas de significación de diferencias medias (Prueba de Rango múltiple de Duncan 5%). Se realizaron pruebas de correlación entre el rendimiento de grano y biomasa y las demás variables en estudio.

3.1.6. Manejo del experimento

La preparación del suelo se realizó una semana antes de la siembra, se usaron herramientas manuales. La remoción, hasta una profundidad de 20 cm, fue seguida de mullido y nivelado.

La densidad de siembra utilizada fue de 133 333 plantas por hectárea. Se colocaron no menos de 20 semillas por hoyo a una profundidad de 1 a 2 cm. Se realizaron dos raleos, el primero a los 10 días de la siembra, dejando 3 plantas por sitio y el segundo a los 20 días, dejando una planta por sitio. El cálculo de rendimiento de biomasa y grano se realizó con una densidad de 120 000 plantas por hectárea, se asumió 10% de mortalidad o pérdida de plantas.

La fertilización utilizada fue: 120-30-30 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente. El componente nitrogenado se aplicó en dos partes: el 50% a la siembra y el 50% restante a los 30 días de edad.

Se realizaron algunos riegos suplementarios para compensar el déficit hídrico que prevaleció durante casi todo el ciclo del cultivo (Figura 1), usando el método de aspersión. Además se realizaron dos aplicaciones de Benomil (Benlate), en solución de 1,5 cc/lt de agua, a los 10 y 20 días desde la siembra,

para combatir el ataque de algunos hongos que causaron pudriciones de raíz y tallo (Damping off). Finalmente fue necesario realizar una aplicación de Thiodan, 1 cc/lt de agua, a los 40 días, para combatir el ataque de algunos tipos de larvas masticadoras del follaje.

3.1.7. Toma de la información (variables de respuesta)

3.1.7.1. Datos tomados en cada muestreo durante el ciclo

a) Altura de planta

Se registró en centímetros desde el cuello de la raíz hasta el ápice final de la planta mediante el uso de cinta métrica.

b) Diámetro de tallo

Con la ayuda de un calibrador se registró este dato en milímetros, a 5 centímetros del cuello de la raíz.

c) Largo de panoja, en centímetros, desde su base (sitio donde nacen los ejes secundarios no plagiotrópicos), hasta el ápice final.

d) Biomasa aérea por órganos y total

Inmediatamente después de traídas las plantas del campo se procedió a separar sus órganos (hojas, tallos, raíces y panojas) y registrar su biomasa fresca. Luego se procedió a secarlos al horno a 70°C por 72 h para registrar su biomasa seca. El peso fresco y seco de raíces se determinó luego de un minucioso lavado del sistema radical recuperable.

e) Area foliar

Se determinó por el método de "discos foliares", que consistió en lo siguiente: de la muestra de hojas utilizadas para determinar biomasa aérea, se tomaron 40 hojas al azar de las cuales, con un sacabo-

cados de área conocida, se extrajeron 40 discos y se registró posteriormente su biomasa seca, con lo que se obtuvo el área y el peso de los discos. Luego, por medio de una regla de tres, se calculó el área foliar total, utilizando el peso seco total de las hojas, incluyendo el peso de los discos que les fueron extraídos.

f) Contenido de nitrógeno y proteína en la biomasa aérea

De acuerdo a las proporciones de los pesos secos de tallos hojas y panojas, se formó una muestra a base de alícuotas, para tratar de reconstituir la planta entera, esta muestra fue molida en un molino de malla 40. Se analizó el contenido de nitrógeno por el método microkjeldhal. El porcentaje de nitrógeno se multiplicó por el factor 5,8 para transformarlo a proteína, siguiendo una recomendación propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y utilizada por Senft (64), en Amaranthus y otras plantas alimenticias. Cada muestra fue analizada por duplicado.

3.1.7.2. Datos tomados una vez durante el ciclo

a) Días al panojamiento

Se observaron diariamente las yemas terminales, hasta la aparición macroscópica del primordio floral por lo menos en 50% de las plantas, dentro de la unidad experimental.

b) Días a la floración

Se registró la apertura de las flores masculinas con la misma metodología descrita en 3.1.7.2. a).

c) Días a la cosecha

Se realizó en el momento en que los granos presentaron resistencia a la presión con la uña.

d) Rendimiento de grano

Se calculó, a partir del rendimiento de la parcela útil de cosecha (Figura 2). Se expresó en g/planta y en kg/ha y este valor se corrigió al 14% de humedad.

e) Contenido de nitrógeno y proteína en el grano

Se tomó una muestra del total de grano por parcela y se determinaron los porcentajes de nitrógeno y proteína, siguiendo el procedimiento descrito en 3.1.7.1.f).

3.1.7.3. Índices para el análisis del crecimiento

De los datos de biomasa y área foliar se derivaron algunos parámetros o índices de crecimiento, los que se calcularon de acuerdo a las fórmulas que aparecen en el Cuadro 2A.

a) Índices fisiológicos

- Tasa de Crecimiento Relativa (\overline{TCR})
- Tasa de Crecimiento Relativa del Area Foliar (\overline{TCRF})
- Tasa de Asimilación Neta (\overline{TAN})

b) Índices morfológicos

- Índice de Area Foliar (IAF)
- Razón de Peso Foliar (RPF)
- Razón de Peso de Tallos (RPTa)
- Razón de Peso Radical (RPR)
- Area Foliar Específica (AFE)

c) Índices agronómicos

- Índice de Cosecha (K)
- Tasa de Producción de Materia Seca (TPMS)

- Eficiencia Energética (EE)
- Producción Total de Proteína (PTP)

El índice de eficiencia energética (EE), que representa la eficiencia del cultivo en convertir la energía solar fotosintéticamente activa en materia seca, se calculó dividiendo la energía contenida en la biomasa para la energía de la radiación fotosintéticamente activa recibida durante el ciclo del cultivo y se expresó en porcentaje. Se consideró que la radiación o energía fotosintéticamente activa es el 50% de la radiación total recibida por el cultivo y que la energía contenida en Amaranthus es 2748 cal/g de biomasa seca (73) y 4082 cal/g de grano (75).

3.2. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo

3.2.1. Localización del experimento

El trabajo se realizó en el invernadero de Fisiología Vegetal del CATIE, entre el 7 de julio y 30 de septiembre de 1985. El ambiente en el invernadero dispone de techo de láminas transparentes y está cerrado con malla para evitar el paso de insectos. La temperatura, humedad ambiental y radiación solar se registraron durante el ciclo del cultivo y se presentan en el Cuadro 2.

3.2.2. Material experimental

Se utilizaron semillas de 31 genotipos de Amaranthus, pertenecientes a 6 especies, cuya identificación y procedencia se presenta en el Cuadro 1A.

3.2.3. Factores en estudio y tratamientos

Los tratamientos se formaron de la combinación de los 31 genotipos de Amaranthus por 3 fotoperíodos, dando un total de 93 tratamientos. Los fotoperíodos estudiados fueron:

- F1= 8 h. de luz y 16 h. de oscuridad
- F2= 12 h. de luz y 12 h. de oscuridad

Cuadro 2. Condiciones ambientales, dentro y fuera de las cámaras reguladoras del fotoperiodo. Promedio (\bar{X}) de 30 repeticiones y desviación estándar (S). Experimento 2: Respuesta al fotoperiodo.

	Cámara				Cámara				
	Invernadero*		8 h luz		12 h luz		17 h luz		
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	
Temperatura (°C)	Max.	28,8	2,4	28,2	2,0	27,8	2,4	28,4	1,7
	Min.	17,8	1,3	19,4	1,4	19,4	1,0	19,8	1,3
H. Relativa (%)	Max.	97,2	0,7	96,7	0,9	96,5	0,8	94,6	4,4
	Min.	54,7	7,2	55,0	5,6	58,0	7,1	54,9	6,8
Radiación (cal/cm ² /día)		182,2	51,8	-	-	-	-	-	-

* Las cámaras se ubicaron dentro de un invernadero.

F3= 17 h. de luz y 7 h. de oscuridad

3.2.4. Unidad experimental

La unidad experimental fue una maceta (bolsa de polietileno), de más o menos 2 kg de capacidad, en las que se sembraron varias semillas. Luego de la germinación raleó y dejó 2 plantas por maceta, de cuyo promedio se obtuvo el valor de cada variable por unidad experimental.

3.2.5. Diseño experimental

Se trabajó con un arreglo factorial 31 x 3, aplicado en un diseño de Parcela Dividida (modificada). El factor fotoperíodos se aplicó en parcelas grandes, el factor genotipos se aplicó en parcelas pequeñas, mientras que las repeticiones se colocaron dentro de fotoperíodos. Las hipótesis fueron:

- a) Ho: El efecto de los fotoperíodos es nulo en cada una de los 31 genotipos.
- b) Ho: Los genotipos responden en forma similar en cada fotoperíodo.
- c) Ho: No hay interacción entre el efecto de genotipos por fotoperíodos.

El modelo de análisis de variancia utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + (R_j + (FR)_{ij})^* + G_k + (FG)_{ik} + (RG)_{jk} + (FRG)_{ijk}^{**}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta

μ = Media general

F_i = Iésimo fotoperíodo

G_k = Késimo genotipo

R_j = Jésima repetición

* = Error experimental a

** = Error experimental b

El análisis funcional consistió de pruebas de significación de diferencias de medias (Prueba de Rango Múltiple de Duncan 5% y 1%).

3.2.6. Manejo del experimento

Se prepararon 3 cámaras de 2,8 y 1,8 x 2,0 m de largo, ancho y altura, respectivamente, a prueba de luz, en las que se reguló el fotoperíodo (46). Las cámaras fueron construídas con armadura de madera y cerradas con dos capas de polietileno, una interna de color negro y otra externa de color blanco opaco para reflejar la luz e impedir el calentamiento interno. Dentro de cada cámara se ubicó una mesa de 0,8 m de altura, cuya superficie ocupó todo el espacio disponible (2,8 x 1,8 m), sobre la cual se colocaron las macetas. La regulación de los fotoperíodos se realizó de la siguiente manera:

F1 (8 h de luz): Apertura de la cámara 8 a.m.

Cierre de la cámara 4 p.m.

F2 (12h de luz): Apertura de la cámara 8 a.m.

Cierre de la cámara 5 p.m.

Luz complementaria de 5 a.m. a 8 a.m.

F3 (17h de luz): Apertura de la cámara 8 a.m.

Cierre de la cámara 5 p.m.

Luz complementaria de 12 p.m. a 8 a.m.

La luz complementaria se proporcionó utilizando 6 bombillos de 60 vatios distribuídos equitativamente a 25 cm del techo de cada cámara, cuyo encendido y apagado se controló automáticamente con la ayuda de relojes interruptores eléctricos. La iluminación en cualquier punto de las mesas interiores, medida con los bombillos encendidos, fue de 110 lux y con los bombillos apagados 0 lux*.

* Se utilizó un Fotómetro "PANLUX Electric Luximeter Gossengbh D-8520, Erlagen".

Los fotoperíodos se comenzaron a aplicar a los 15 días y se prolongaron hasta los 45 días desde la siembra (entre el 22 de julio y 22 de agosto de 1985), luego de los cuales las plantas se colocaron en fotoperíodo natural (Figuran 3).

El sustrato utilizado fue una mezcla de 2 partes de suelo tamizado y una parte de arena, más una fertilización de 1 g de 12 - 24 - 12 por kg de sustrato. Además se aplicó una fertilización complementaria de 100 ml/maceta de una solución nutritiva tipo "Hoagland #2", concentración 0,5 a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

Los riesgos así como el registro ambiental, fueron diarios. Para la temperatura y humedad dentro y fuera de las cámaras se utilizaron higrógrafos y termógrafos, mientras que la intensidad lumínica del invernadero se registró con un radiómetro de destilación de agua, tipo Gunn-Bellani y el cálculo de la radiación diaria, en $\text{cal/cm}^2/\text{día}$, se obtuvo multiplicando los ml de agua destilados por el factor instrumental 19,74.

3.2.7. Toma de la información (variables de respuesta)

El registro del comportamiento de los genotipos en las cámaras fue diario. Las variables "Días al panojamiento" (aparición macrocópica del primordio floral) y "Días a la floración" (primera flor masculina abierta), se contabilizaron desde la siembra. La "Altura de planta al panojamiento" se registró en centímetros desde el cuello de la raíz hasta el ápice final.

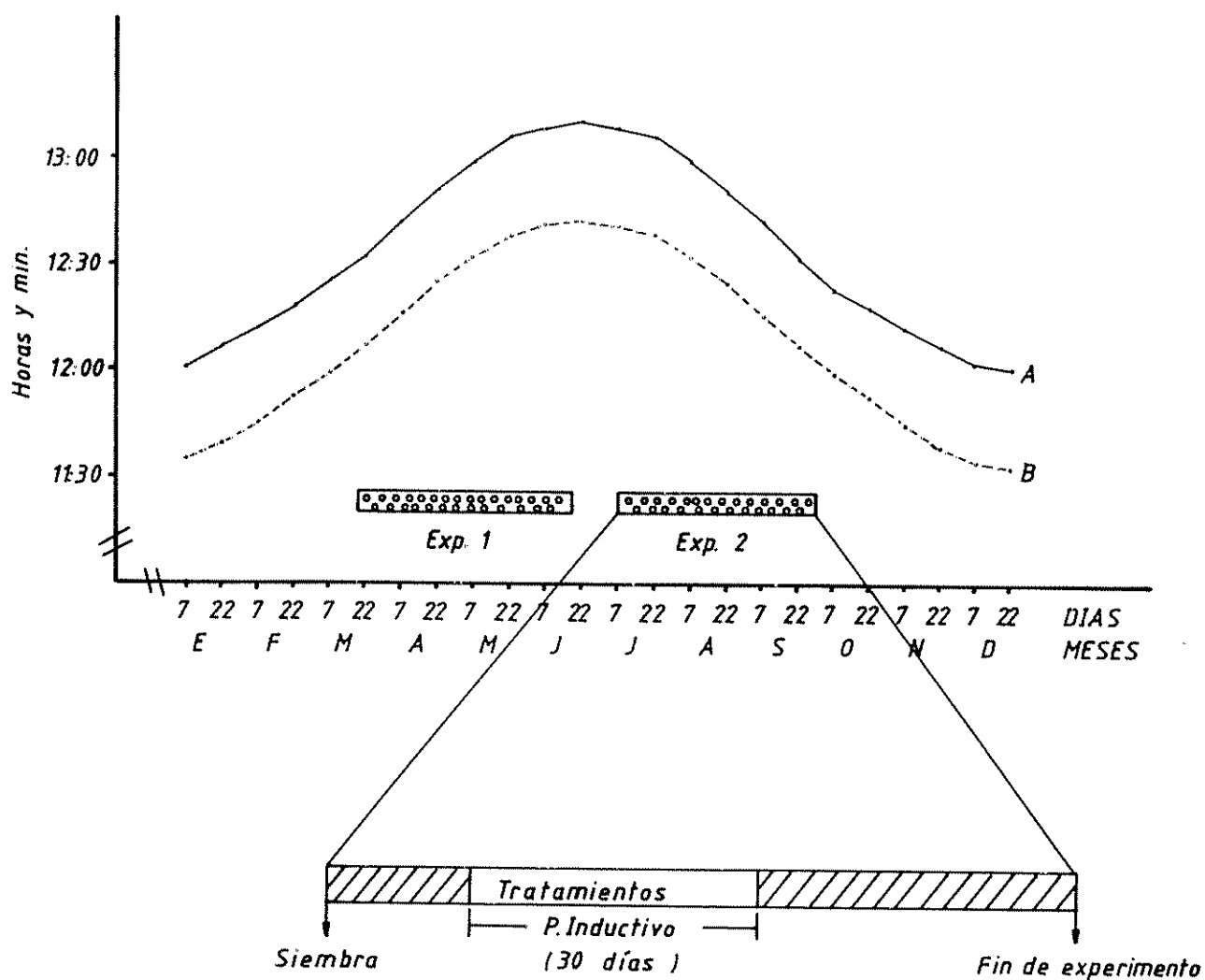


Figura 3. Variaciones del fotoperíodo natural durante un año para Costa Rica (10° Lat. N.). A= fotoperíodo a partir de 21.5 lux de iluminación. B= fotoperíodo entre salida y puesta del sol (38).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Experimento 1: Análisis del Crecimiento

4.1.1. Observaciones generales del cultivo

De acuerdo al promedio mensual de precipitación para Turrialba, (Cuadro 1), se esperaba que a partir del mes de marzo, existiera una buena dotación de lluvias, pero el tiempo durante el ciclo del cultivo (19 de marzo - 18 de junio/85), fue totalmente diferente del promedio esperado. Durante los primeros 65 días hubo déficit hídrico, temperaturas elevadas y alta radiación (Cuadro 1, Figura 1). Esta situación, podría haber sido favorable para el cultivo de Amaranthus ya que por ser especies de tipo C4* la alta temperatura y alta radiación favorecieron su crecimiento, aunque fue necesario proporcionar algunos riegos suplementarios.

La germinación se produjo entre el segundo y tercer día de la siembra para los 4 genotipos estudiados. El principal problema fue la presencia de enfermedades, así, en las primeras etapas del ciclo, se observaron pudriciones de la raíz y tallo (Damping off). En el laboratorio de Fitopatología del CATIE se identificaron a los géneros Phytium phythophthora y Rizoctonia como los agentes causales de esta enfermedad. Posteriormente, entre los 40 y 50 días del ciclo, se presentaron síntomas de marchitez foliar, seguidos por coloraciones blanquecinas en los ápices de las hojas y finalmente, muerte de tejidos. Se encontró que el agente causal fue Curvularia spp. Esta enfermedad se presentó sólo en los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) y no fue necesario aplicar ningún método de combate.

A partir de los 60 días, hubo problemas de volcamiento de plantas por acción del viento, lo que se atribuye al exceso de crecimiento del tallo y al rápido aumento de tamaño de la panoja, lo que hizo que el tallo se doble a media altura o se incline por falta de soporte de las raíces.

A partir de los 65 días del cultivo, se presentó un período con abundantes lluvias (Figura 1), lo que provocó en los genotipos 3 y 4 (A. caudatus), un rebrote de yemas axilares, dando lugar a pequeñas ramificaciones con tejidos nue-

* Metabolismo fotosintético cuyo primer producto es Acido oxalacético (C4).

vos, a pesar de que las plantas se encontraban en su período de maduración. Los genotipos 1 y 2 (A. cruentus), casi no respondieron a esta condición climática. Otro efecto notorio de este período de lluvias tardías, fue la dificultad de cosecha, puesto que a pesar de que las panojas alcanzaron su completa madurez, el alto contenido de humedad impidió ser cortadas y trilladas, por lo que fue necesario secarlas bajo techo.

4.1.2. Características biológicas y agronómicas

a) Altura de planta (AP)

Los valores promedios para genotipos por época de muestreo se presentan en el Cuadro 3 y la representación gráfica por genotipos de la misma especie en la Figura 4. Del análisis de variancia (Cuadro 3A), se observó diferencias no significativas para el efecto de genotipos y para la interacción genotipos por épocas de muestreo, a pesar de que el efecto de éste último factor fue altamente significativo. En el Cuadro 4, se presentan los valores promedios para genotipos y para épocas de muestreo, y por medio de la prueba de Duncan, se comprobó que las diferencias de altura de planta para los 4 genotipos estudiados no fueron significativas, no así para épocas de muestreo, en donde cada genotipo difiere significativamente de los demás. A pesar de que el promedio general por genotipos osciló entre 159 y 165 cm (Cuadro 4), sin embargo los valores registrados a partir de los 60 días del ciclo, superaron los 2 m, para todos los genotipos (Cuadro 3, Figura 4). Este crecimiento fue muy superior a los datos reportados en otras localidades, así Medina (45), registró alturas de planta a la cosecha, entre 106 y 161 cm para A. hypochondriacus en 4 localidades de México. En Santa Catalina, Ecuador, a 3000 m de altitud se registraron alturas de planta a la cosecha, entre 88 y 102 cm para los mismos 4 genotipos utilizados en este estudio (31). La densidad utilizada en este experimento, (133 333 plantas/ha), podría ser uno de los factores que ocasionó este alargamiento exagerado de tallos.

b) Diámetro de tallo (DT)

En el Cuadro 3, se presentan los promedios para genotipos por época de muestreo. Del análisis de variancia (Cuadro 3A), se notan di-

Cuadro 3. Algunas características biológicas de 4 genotipos de Amaranthus, en 5 épocas de muestreo. Datos promedios de 3 repeticiones.
- Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo	Muestreo	AP [*] (cm)	DT (mm)	LPa (cm)	AF (dm ² /pl)
G1	0 - 25 días	27,2	7,1	----	3,3
	26 - 40 "	107,3	16,5	2,1	21,5
	41 - 60 "	212,8	16,3	46,7	37,4
	61 - 75 "	222,2	16,7	57,2	30,5
	76 - 83 "	225,5	15,6	61,2	25,5
G2	0 - 25 "	29,4	7,2	----	3,5
	26 - 40 "	97,6	14,8	----	17,0
	41 - 60 "	212,6	16,5	41,2	34,1
	61 - 75 "	229,6	16,3	28,7	56,2
	76 - 83 "	234,0	15,2	61,2	27,9
G3	0 - 25 "	25,9	5,9	----	2,8
	26 - 40 "	91,2	14,6	3,0	17,5
	41 - 60 "	210,3	15,9	39,9	29,9
	61 - 75 "	226,4	15,4	51,1	22,4
	76 - 88 "	249,0	15,3	62,5	23,2
G4	0 - 25 "	24,30	4,6	----	1,8
	26 - 40 "	102,6	15,0	7,0	18,9
	41 - 60 "	213,1	15,0	50,9	24,8
	61 - 75 "	236,7	15,2	59,3	23,2
	76 - 88 "	251,6	15,0	63,5	20,9

* AP: Altura de planta
DT: Diámetro de tallo
Lpa: Largo de Panoja
AF: Area foliar

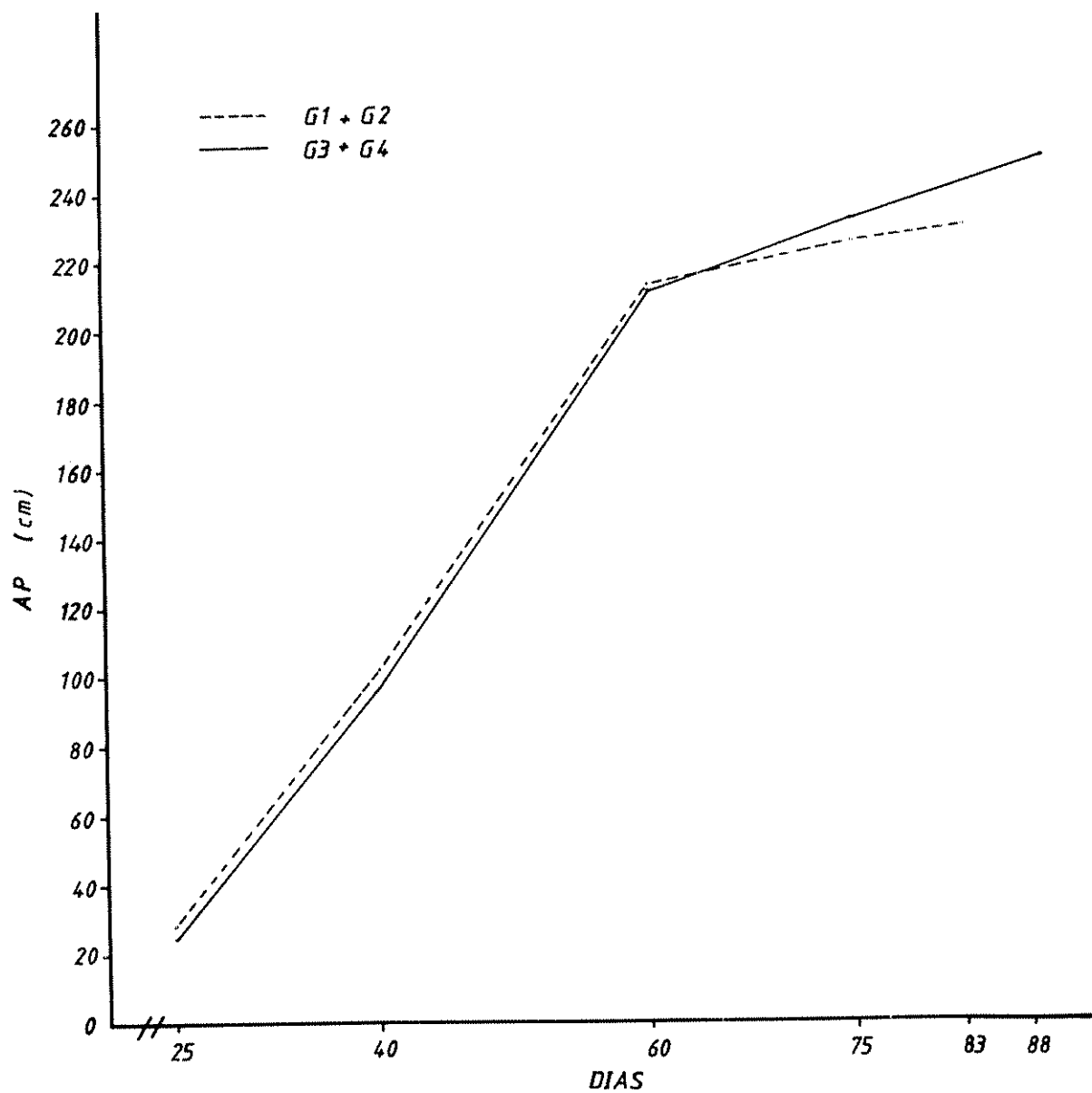


Figura 4. Variaciones de altura de planta (AP), con el tiempo para cuatro genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

ferencias altamente significativas para los efectos de genotipos y épocas de muestreo, y diferencias no significativas para el efecto de su interacción. Por otro lado, se observa que el genotipo 1 (A. cruentus) presentó el mayor diámetro promedio de tallo (14,4 mm), mientras que el genotipo 4 (A. caudatus) fue el de menor diámetro (13 mm) y en cuanto a épocas de muestreo, se observó que únicamente la diferencia del promedio a los 25 días fue significativo estadísticamente (Cuadro 4). Las tendencias de las curvas de la Figura 5, explican mejor este comportamiento, es decir que el aumento del grosor del tallo sucedió entre los primeros 40 días de edad de la planta, luego se observó una estabilización hasta la cosecha, e incluso cierta disminución para los genotipos 1 y 2 (A. cruentus), a partir de los 75 días, lo que se explicaría por el menor contenido de agua que la planta almacena en sus tejidos al acercarse la cosecha.

Cuadro 4. Promedios de algunas características biológicas, por genotipos y épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo y	AP [*] (cm)	DT (mm)	LPa (cm)	AF (dm ² /pl)
\bar{X} G1	159,0 a ^{**}	14,4 a	55,1 a	23,67 a
\bar{X} G2	160,7 a	14,0 ab	52,9 a	22,25 a
\bar{X} G3	160,6 a	13,4 b	50,8 a	19,16 b
\bar{X} G4	165,6 a	13,0 c	58,9 a	17,92 b
\bar{X} 25 días	26,7 e	6,19 b	---	2,85 d
\bar{X} 40 "	99,7 d	15,23 a	---	18,73 c
\bar{X} 60 "	212,2 c	15,93 a	44,4 b	31,56 a
\bar{X} 75 "	228,8 b	15,90 a	56,0 ab	26,25 b
\bar{X} cosecha	240,0 a	15,32 a	62,9 a	24,37 b

* AP : Altura de planta

DT : Diámetro de tallo

LPa: Largo de panoja

AF : Area foliar

** Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan, $P < 0,05$).

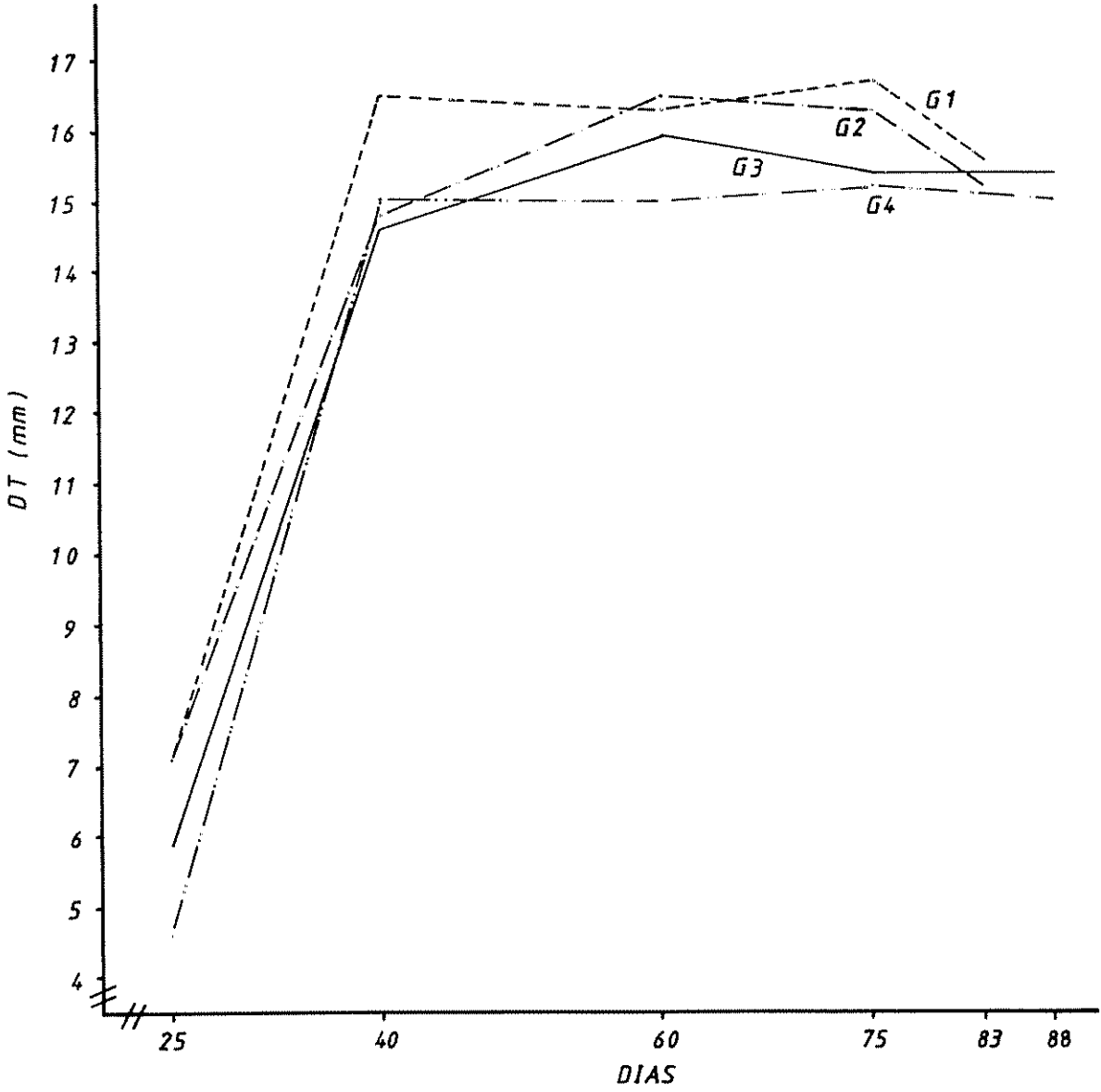


Figura 5. Variaciones del diámetro de tallo (DT) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

c) Largo de panoja (LPa)

En el Cuadro 3 se presentan los valores promedios para genotipos por épocas de muestreo para esta variable. De los resultados del análisis de variancia (Cuadro 3A), se observó diferencias significativas para el efecto de genotipos y altamente significativas para el efecto de épocas de muestreo, mientras que el efecto de la interacción no fue significativo. No se detectaron diferencias significativas para promedios de genotipos (Cuadro 4), a pesar de que según el análisis de variancia su efecto fue significativo; sin embargo se nota la superioridad del genotipo 4 (A. caudatus) que alcanzó un promedio de 58.9 cm de largo de panojas. En cuanto a los promedios de épocas de muestreo, sobresalió el largo de panojas a la cosecha con 62,9 cm, aunque estadísticamente no fue diferente del promedio registrado a los 75 días (56 cm). De la observación de los datos del Cuadro 3, también se nota la superioridad del genotipo 4, a partir de los 60 días y, en cuanto a los valores alcanzados a la cosecha, se observa cierta superioridad de los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) sobre los genotipos 1 y 2 (A. cruentus)

d) Area foliar (AF)

En el Cuadro 3, se presentan los promedios de área foliar para genotipos por épocas de muestreo. Por el análisis de variancia (Cuadro 3A), se detectaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos, épocas de muestreo y su interacción. Sin embargo se observó que los promedios de genotipos dentro de especies son similares entre si (Cuadro 4), es decir, que las diferencias estadísticas detectadas aparentemente se deben al efecto de especies y no de genotipos dentro de especies. En la Figura 16, se observan las tendencias de las curvas que representan el área foliar con respecto al tiempo, se notó que la época de mayor área foliar, para los genotipos de las dos especies ($35 \text{ dm}^2/\text{planta}$ para A. cruentus y $27 \text{ dm}^2/\text{planta}$ para A. caudatus), fue a los 60 días de edad. La tendencia general de las curvas fue similar a la registrada en muchos otros cultivos (3, 19), es decir se observó un rápido incremento en las primeras etapas del ciclo, luego un estancamiento y en muchos casos una disminución del área foliar, debido a la progresiva caída de hojas a medida que la planta entra a la senectud.

La representación de la variación del área foliar, intercalando con las tendencias de la tasa de asimilación neta (Figura 16), permite observar que en los 4 genotipos estudiados, las hojas son más eficientes fotosintéticamente,

durante los primeros 40 días del ciclo. Pues se observa que a pesar de que a los 60 días se registraron los máximos valores de área foliar, las tasas de asimilación neta son decrecientes, lo que significa que las hojas han entrado en un período de inactividad.

e) Días al panojamiento (DPa)

Este parámetro se registró como el tiempo que tardó en aparecer el primordio floral desde la siembra. En el Cuadro 5 se presenta los promedios por genotipos para esta característica. Se observó que sus diferencias son significativas y que sobresalen los genotipos 4 y 3 de A. caudatus como los más precoces con 31,7 y 36,3 días respectivamente; mientras que los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) se comportaron como tardíos con 38,3 y 45 días al panojamiento respectivamente. En la Figura 6, se representan estas diferencias. El comportamiento de los genotipos 1 y 2, se podría interpretar como que esas plantas no cambian a la fase reproductiva, hasta no tener acumulada una cantidad mínima de biomasa vegetativa o hasta que no haya transcurrido un tiempo mínimo desde la siembra.

f) Días a la floración (DF)

De la observación de los datos del Cuadro 4A, se nota que existieron diferencias altamente significativas para el efecto de genotipos en cuanto a esta variable, y observando sus promedios (Cuadro 5), se encontró que sus diferencias alcanzaron significación estadística. En esta característica se observó la misma tendencia que en la variable "Días al panojamiento" (Figura 6), esto es que los genotipos de A. caudatus fueron más precoces para florecer que los de A. cruentus, según esto el tiempo entre panojamiento y floración debería ser similar para los 4 genotipos, lo cual se cumplió para los genotipos 1, 3 y 4 que presentaron 12, 12 y 13 días respectivamente para este intervalo, mientras que para el genotipo 2, este lapso fué apenas de 7 días. Los resultados de esta variable son totalmente diferentes a los registrados en Santa Catalina, Ecuador, a 3000 m de altitud (31), en esta localidad se registraron 102 y 104 días a la floración para los genotipos de A. caudatus y A. cruentus respectivamente. Esto podría ser un efecto de la mayor temperatura y radiación registradas en Turrialba.

Cuadro 5. Valores promedios para algunas características biológicas en cuatro genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Características	G 1	G 2	G 3	G 4
D.P. (Días) *	38,3 c **	45,0 d	36,3 b	31,7 a
D.F. (Días)	50,0 c	52,3 d	47,8 b	45,0 a
D.C. (Días)	82,7 a	83,3 a	88,3 b	88,3 b
R G 1 (Kg/ha)	5012,0 a	3520,0 b	684,0 d	1536,0 c
R G 2 (Kg/ha)	5864,0 a	4316,0 b	2064,0 c	2872,0 c
P.G. (%)	19,3 a	18,4 a	16,5 a	15,1 a

* D.P. : Días al panojamiento

D.F. : Días a la floración

D.C. : Días a la cosecha

R G 1 : Rendimiento de grano a los 75 días

R G 2 : Rendimiento de grano a la cosecha

P.G. : Concentración de proteína en el grano

** Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan $P < 0.05$).

g) Días a la cosecha (DC)

Las diferencias significativas, observadas para los promedios de genotipos en esta variable (Cuadro 5 y Cuadro 4A), sin duda son el efecto de especies, pues los promedios de los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) son similares entre si, y diferentes estadísticamente de los de los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) que a su vez también son similares entre si. En la Figura 6, se presenta gráficamente el comportamiento de los 4 genotipos en cuanto al ciclo vegetativo total, en comparación con las épocas de panojamiento y floración. Aquí se nota que los genotipos 3 y 4 (A. caudatus), presentan un lapso más largo entre la floración y cosecha, (Aproximadamente 42 días), mientras que en los de A. cruentus este lapso es de alrededor de 32 días, lo que incide

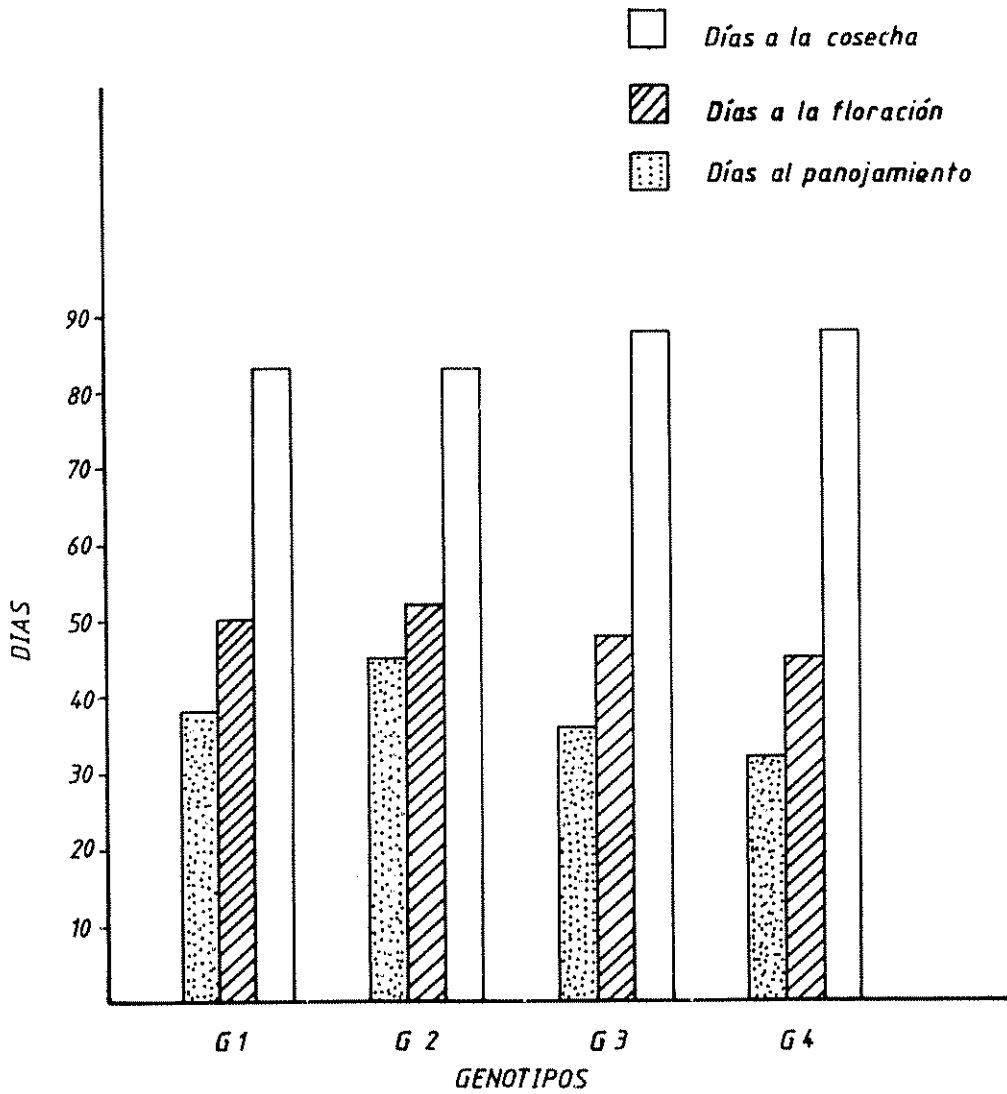


Figura 6. Fenología de 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

en la mayor precocidad final. Es importante resaltar que estos mismos genotipos, completaron su ciclo en 205 días (A. cruentus) y en 190 días (A. caudatus), en Santa Catalina, Ecuador, a 3000 m de altitud (31). Esta gran diferencia en la duración del ciclo vegetativo podría explicarse por la mayor acumulación de grados térmicos (grados día), que las plantas pueden lograr en Turrialba (600 m de altitud y 22°C), en comparación con Santa Catalina (3000 m de altitud y $\pm 12^\circ\text{C}$).

h) Rendimiento de grano (RG1 y RG2)

Esta variable fue evaluada en dos épocas: a los 75 días y a la cosecha. En el Cuadro 5 se presentan los promedios de rendimiento por genotipo y en el Cuadro 4A, el resultado del análisis de variancia. Se observaron diferencias altamente significativas para el efecto de genotipos tanto a los 75 días como a la cosecha. El genotipo 1 (A. cruentus) fue el de más alto rendimiento, con 5012, y 5864 kg/ha a los 75 y 83 días respectivamente, mientras que el genotipo 3 (A. caudatus), presentó los más bajos rendimientos, 684 y 2064 kg/ha, a los 75 y 88 días respectivamente.

En la Figura 7 se representa el rendimiento de grano para los 4 genotipos estudiados. Es de destacar que mientras en los genotipos 1 y 2 el incremento de rendimiento entre los 75 días y la cosecha fue de 15 y 19% del total (± 850 y 798 kg/ha), en los genotipos 3 y 4, el incremento fue de 67 y 47% (± 1379 y 1335 kg/ha); esto sugiere que en C. cruentus, la etapa crítica de formación y llenado de granos está antes de los 75 días, mientras que en A. caudatus, este período crítico parece estar en los últimos días del ciclo vegetativo.

El rendimiento de grano registrado para el genotipo 1, (5864 kg/ha), supera a los encontrados en la literatura, así, Bresani (9), informó hasta 4091 kg/ha en Amaranthus spp., Medina (45) encontró hasta 4409 kg/ha en A. hypochondriacus, mientras que los rendimientos de los 3 genotipos restantes pueden considerarse equiparables a la mayoría de resultados informados en la literatura.

El efecto más importante de los resultados de este experimento, fue el hecho de que se hayan logrado estos rendimientos en un período vegetativo tan corto (83 y 88 días), es decir si la comparación se hiciera en rendimiento por hectárea y por tiempo, las diferencias serían muy notables. Así en Santa Catalina, Ecuador (31), se alcanzaron 2260 kg/ha con el genotipo 3, pero el ciclo vegetativo fue de 190 días, es decir aproximadamente 11,9 kg/ha/día; mientras

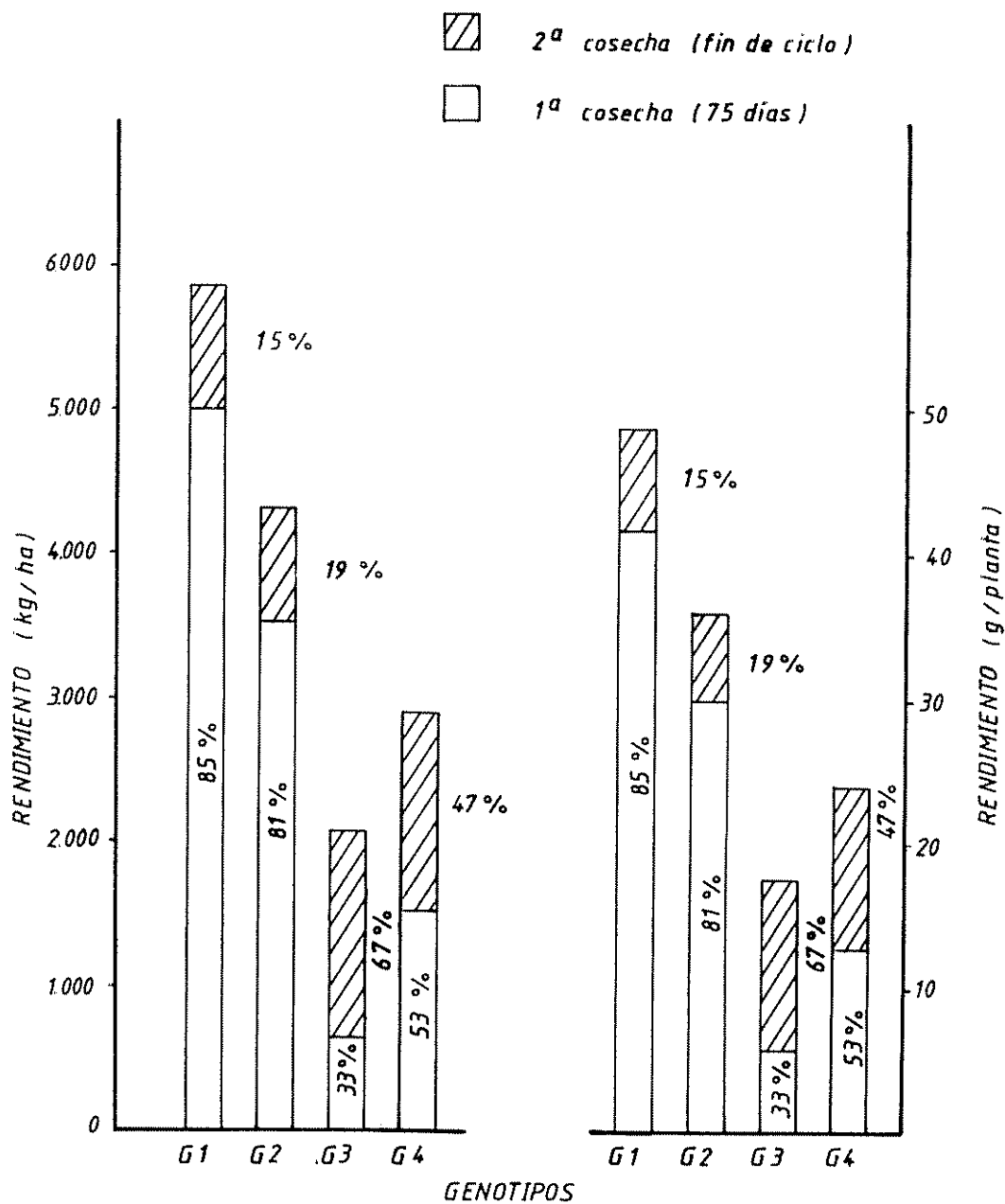


Figura 7. Rendimiento de grano de 4 genotipos de *Amaranthus*. Los porcentajes son con respecto al rendimiento final. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

que en Turrialba se obtuvo con este mismo genotipo 2064 kg/ha, pero en sólo 88 días, es decir unos 23 kg/ha/día.

i) Contenido de proteína en el grano (PG)

La concentración de proteína en los granos se presenta para cada genotipo en el Cuadro 5 y los resultados del análisis de variancia en el Cuadro 4A. No se detectaron diferencias significativas para el efecto de genotipos, sin embargo se observaron considerables diferencias sobre todo entre genotipos de diferente especie, así, mientras el promedio para los genotipos de A. cruentus fue de 18,9% para A. caudatus fue solamente de 15,78% de proteína (Cuadro 5).

La superioridad de A. cruentus sobre A. caudatus en lo que se refiere al contenido de proteína en el grano concuerda con los datos de otros investigadores, por ejemplo se han encontrado promedios de 17,8% para A. cruentus y 15,8% para A. caudatus (49, 69).

j) Peso seco de hojas (PSH)

Los promedios para genotipos por época de muestreo para esta variable, se presentan en el Cuadro 6 y los resultados del análisis de variancia en el Cuadro 3A. Se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos, de épocas de muestreo y de su interacción, y al igual que en el caso de área foliar, las diferencias de los promedios para genotipos dentro de una misma especie, no fueron significativas (Cuadro 7). Los genotipos 1 y 2 presentaron promedios de PSH superiores a los de los genotipos 3 y 4, es decir un mayor aparato fotosintético, lo cual puede estar influyendo en la producción de biomasa total y en rendimiento de grano. En la Figura 8, se observan las tendencias de las curvas que expresan la variación del PSH con el tiempo. Los cuatro genotipos siguen una misma tendencia de aumento del peso foliar hasta los 40 días y, a los 60 días se alcanzan los máximos pesos de hojas, luego se observa una disminución hasta los 75 días, a partir de lo cual con excepción del genotipo 1, se observa un ligero incremento hasta la cosecha. Este comportamiento final de los genotipos 2, 3 y 4 podría explicarse como el resultado del desarrollo de yemas axilares, en respuesta a la aparición súbita de un período lluvioso aproximadamente a los 65 días del ciclo vegetativo

Cuadro 6. Algunas características biológicas de 4 genotipos de Amaranthus, en 5 épocas de muestreo. Datos promedios de 3 repeticiones. Experimento 1: Análisis de crecimiento.

Genotipo	Muestreo	PSH* (g/pl)	PSTa (g/pl)	PSPa (g/pl)	PSR (g/pl)	BSTo (tm/ha)	BFTo (tm/ha)	NPE (%)	PPE (%)
G1	25 días	1,04	0,55	-	0,15	0,19	2,20	5,23	30,33
	40 "	12,12	13,49	0,26	3,89	3,10	35,39	3,07	17,80
	60 "	19,95	41,64	22,38	7,69	10,07	79,57	2,36	13,69
	75 "	17,43	43,25	62,30	7,35	14,76	82,38	1,85	10,73
	83 "	16,26	40,19	68,49	6,84	14,84	69,89	1,80	10,44
G2	25 "	1,08	0,63	-	0,15	0,21	2,58	5,09	29,52
	40 "	8,85	10,14	-	3,08	2,28	25,76	3,25	18,85
	60 "	18,18	36,80	12,16	6,89	8,06	64,99	2,53	14,67
	75 "	16,87	40,34	45,90	7,36	12,37	72,75	2,20	12,76
	83 "	18,35	40,25	52,44	6,55	13,20	68,98	2,11	12,24
G3	25 "	0,83	0,50	-	0,11	0,16	1,97	5,09	29,52
	40 "	7,47	9,30	0,37	2,50	2,06	23,08	3,63	21,05
	60 "	13,82	32,93	7,30	5,16	6,49	59,19	2,81	16,30
	75 "	10,61	30,67	17,46	4,10	7,05	59,50	2,59	15,02
	88 "	12,35	45,31	34,68	5,86	10,90	74,28	2,44	14,15
G4	25 "	0,50	0,28	-	0,07	0,10	1,12	5,07	29,41
	40 "	7,84	10,52	0,55	2,93	2,27	28,54	3,45	20,01
	60 "	10,99	27,56	10,38	3,98	5,87	52,70	2,91	16,88
	75 "	11,44	34,24	26,76	4,73	8,69	62,32	2,30	13,34
	88 "	11,46	38,90	45,90	4,82	11,14	63,20	2,23	12,93

*PSH : Peso seco de hojas
PSTa: Peso seco de tallos
PSPa: Peso seco de panojas
PSR : Peso seco de raíz
BSTo: Biomasa seca total
BFTo: Biomasa fresca total
NPE : Nitrógeno en planta entera
PPE : Proteína en planta entera

Cuadro 7. Promedios de algunas características biológicas por genotipos y épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo y Muestreo	PSH* (g/pl)	PSTA (g/pl)	PSPa (g/pl)	PSR (g/pl)	BSTo (tm/ha)	BFTo (tm/ha)	NPE (%)	PPE (%)
\bar{X} G1	13,36a	27,82a	51,06a	5,18a	8,59a	53,9a	2,86c	16,63c
\bar{X} G2	12,67a	25,63ab	36,83b	4,81a	7,22b	47,0b	3,04bc	17,60bc
\bar{X} G3	9,02b	23,74ab	19,81d	3,55b	5,33c	43,6b	3,31a	19,20a
\bar{X} G4	8,45b	22,30b	27,61c	3,31b	5,61c	41,6b	3,19ab	18,51ab
\bar{X} 25 días	0,85d	0,49d	-	0,12c	0,17e	1,97c	5,12a	29,70a
\bar{X} 40 días	9,07c	10,86c	-	3,10b	2,43d	28,19b	3,35b	19,43b
\bar{X} 60 días	15,74a	34,73b	13,06c	5,93a	7,62c	64,14a	2,65c	15,38c
\bar{X} 75 días	14,09b	37,13ab	38,10b	5,89a	10,72b	69,24a	2,24d	13,97d
\bar{X} Cosecha	14,61ab	41,16a	50,32a	6,22a	12,52a	69,09a	2,15d	12,44d

*PSH : Peso seco de hojas

PSTo: Peso seco de tallos

PSPa: Peso seco de panojas

PSR : Peso seco de raíces

BSTo: Biomasa seca total

BFTo: Biomasa fresca total

NPE : Nitrógeno en planta entera

PEE : Proteína en planta entera

** Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$).

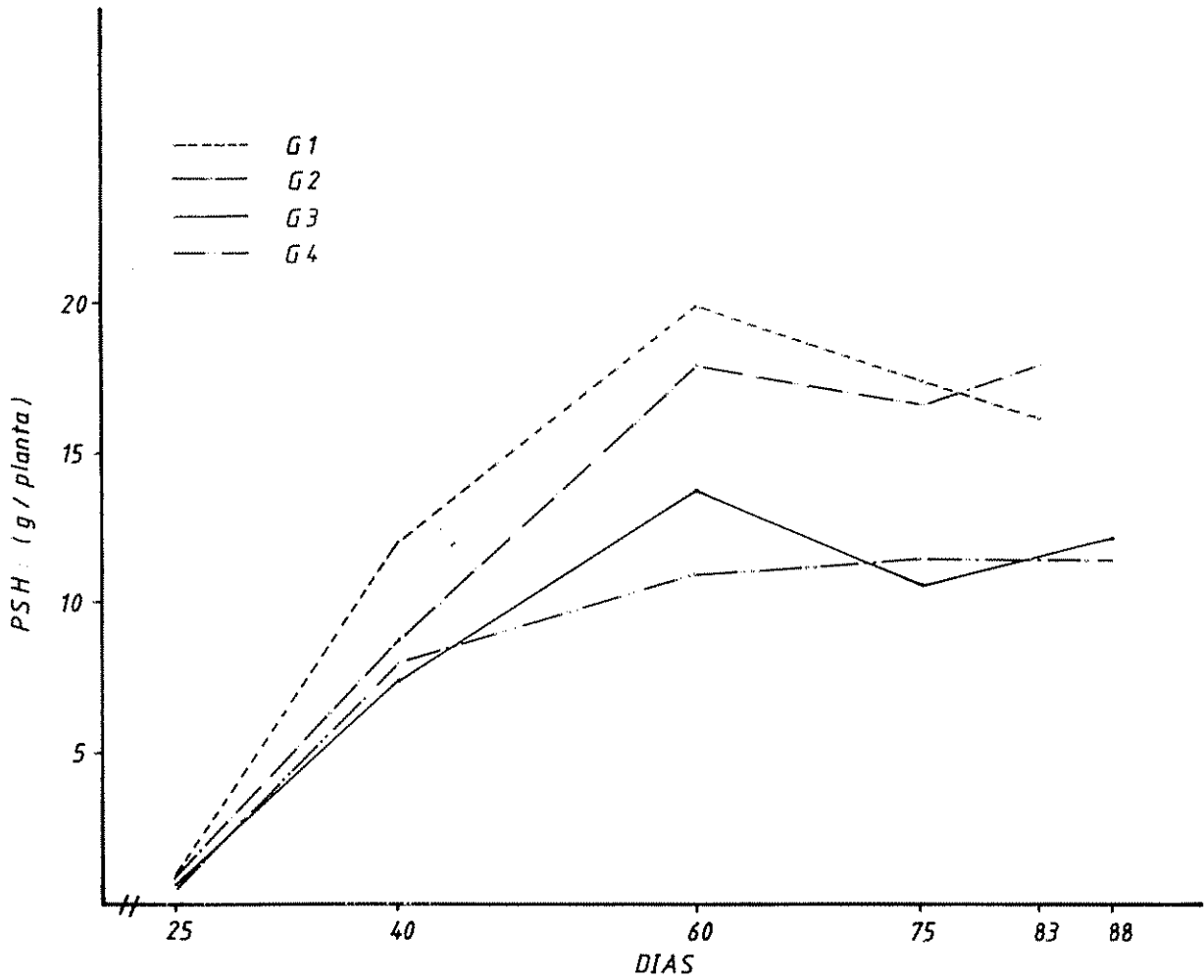


Figura 8. Variaciones del peso seco de hojas (PSH) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

(Figura 1), y quizá sea la causa principal de la significación estadística de los efectos de la interacción "genotipos por períodos de muestreo".

k) Peso seco de tallos (PSTa)

Los valores promedios para genotipos por período de muestreo para esta variable, se muestran en el Cuadro 6. De los resultados del análisis de variancia (Cuadro 3A), no se observaron diferencias estadísticas para el efecto de genotipos ni para el efecto de la interacción genotipos por épocas de muestreo, aunque el efecto de este último factor fue altamente significativo. Sin embargo los resultados de la prueba de Duncan aplicada a los promedios de genotipos (Cuadro 7), sugirieron dos grupos de medias, sobresaliendo en el primer grupo de genotipo 1 (A. cruentus), con 27,82 g/planta, mientras que en el segundo grupo quedó el genotipo 4 (A. caudatus) como el de menor peso promedio de tallos con 22,3 g/planta.

En la Figura 9, se encuentra la representación del peso de tallos, en relación con el tiempo, se observó una tendencia muy similar de rápido incremento, para los 4 genotipos, hasta los 60 días de edad, luego las tendencias son variables. A partir de los 75 días, los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) presentaron una pequeña disminución, lo que puede significar que en esta especie hubo cierta traslocación de carbohidratos desde los tallos, posiblemente hacia los tejidos de la panoja o a los granos, esto no se observó en los genotipos 3 y 4, (A. caudatus) cuyo peso seco de tallos se incrementó hasta la cosecha. El comportamiento del genotipo 3 entre los 60 y 75 días, podría explicarse también como el resultado de la traslocación de fotosintetizados desde el tallo hacia otros órganos de la planta o quizá sea un error de muestreo.

l) Peso seco de panoja (PSPa)

En el Cuadro 6, se reportan los valores promedios para genotipos por períodos de muestreo. En razón de que el genotipo 2 no llegó al panojamiento a los 40 días, los análisis estadísticos se realizaron únicamente con los datos tomados a los 60, 75 días y a la cosecha y cuyos resultados se muestran en Cuadro 3A. Se detectaron diferencias altamente significativas para el efecto de genotipos y épocas de muestreo, y diferencias significativas

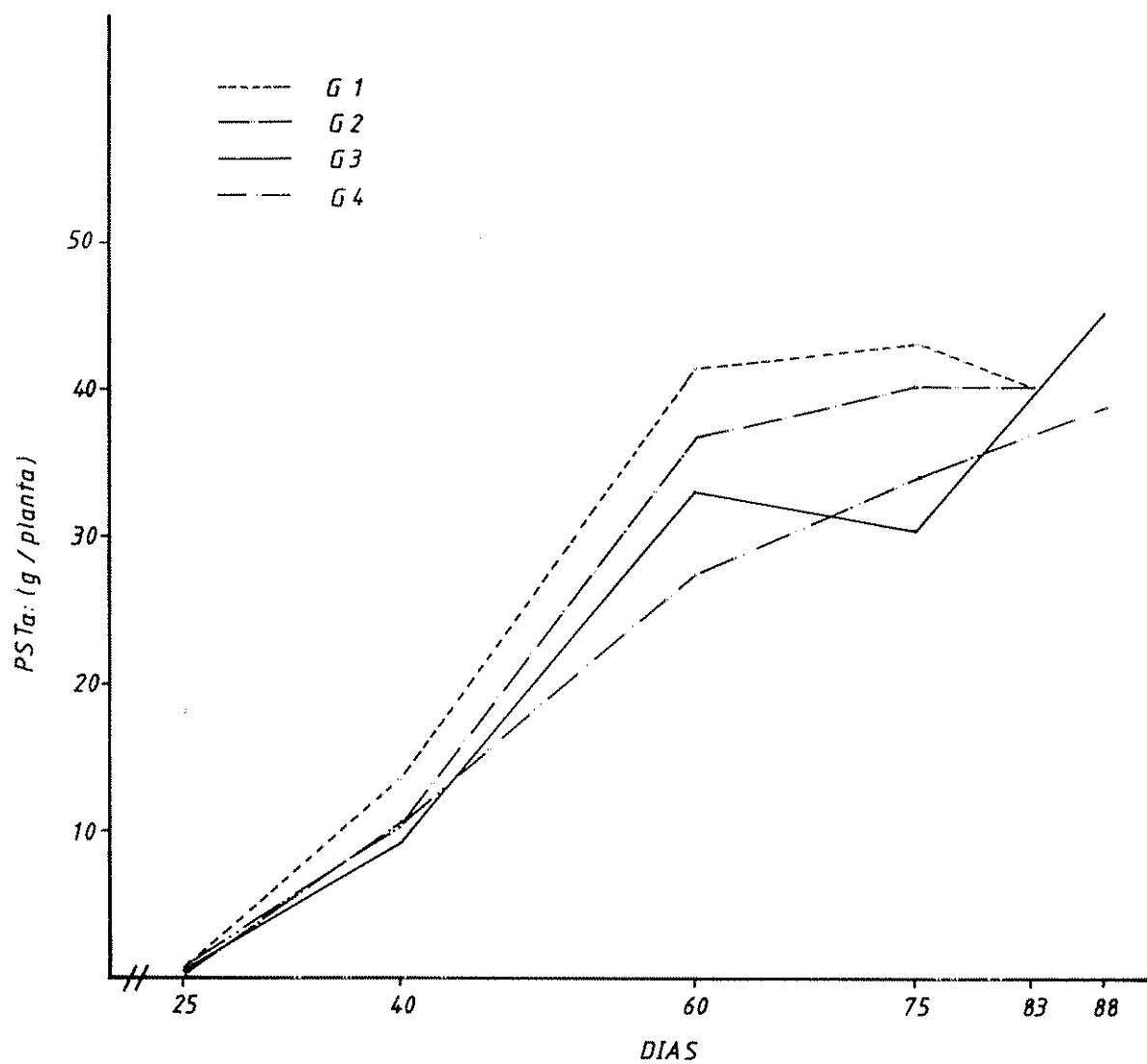


Figura 9. Variaciones del peso seco de tallos (PS_{Ta}) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

para el efecto de la interacción genotipos por períodos de muestreo. De la observación de los promedios (Cuadro 7), se notó que las diferencias de PSPa por genotipos, alcanzaron la significación estadística, sobresalió el genotipo 1 (A. cruentus) con un promedio de 51 g/panoja, mientras que el genotipo 3 (A. caudatus) presentó el menor peso promedio de panoja, 19,8 g.

En la Figura 11, se encuentran las tendencias de las curvas de esta variable con relación al tiempo. Se notó una similitud de tendencia entre genotipos de la misma especie, además se observó que en los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) el crecimiento de panoja fue muy acelerado entre los 60 y 75 días, luego fue más lento, mientras que en los genotipos 3 y 4 (A. caudatus), el crecimiento fue menos intenso pero aproximadamente al mismo ritmo desde los 60 días hasta la cosecha.

m) Peso seco de raíces (PSR)

Los promedios para genotipos por época de muestreo se presentan en el Cuadro 6, mientras que los resultados del análisis de variancia, se encuentran en el Cuadro 3A, de cuya observación se notaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos, de épocas de muestreo y de su interacción. Los resultados de la aplicación de la prueba de Duncan (Cuadro 7), indicaron que no hay diferencias significativas entre genotipos de la misma especie, pero las diferencias entre especies si fue significativa. El incremento de peso seco de raíces por genotipo en relación al tiempo, se presenta en la Figura 10. En general se observó una tendencia muy similar al aumento de biomasa aérea para todos los genotipos en estudio sin embargo los máximos pesos de raíces (7,7 y 7,4 g/planta), se obtuvieron a los 60 y 75 días para los genotipos 1 y 2 (A. cruentus), mientras que los genotipos 3 y 4, (A. caudatus) presentaron el máximo peso radical (5,9 y 4,8 g/planta) a la cosecha. La disminución de PSR en el genotipo 1 a partir de los 60 días y en el genotipo 2 a partir de los 75 días, sugiere una ligera traslocación de carbohidratos desde las raíces, posiblemente hacia la panoja. El comportamiento del genotipo 3, también sugiere una cierta traslocación de fotosintetizados, en el período comprendido entre 60 y 75 días, sin embargo esta misma tendencia se observa en las variables peso seco de tallo y peso seco de hojas, por lo que no se descarta la posibilidad de que se trate de un error de muestreo.

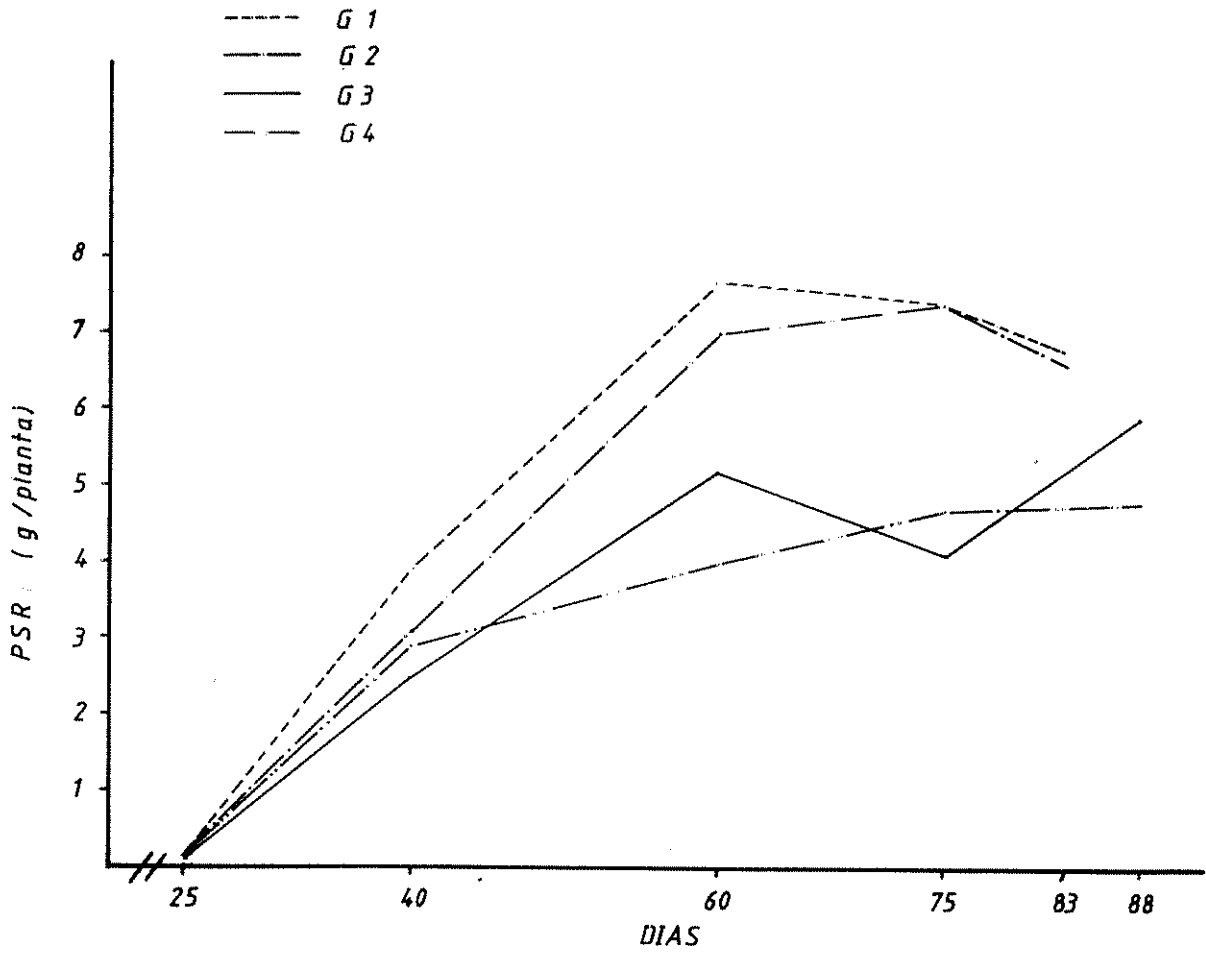


Figura 10. Variaciones del peso seco de raíces (PSR) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

n) Biomasa aérea seca total (BSTo)

Analizando la representación de los rendimientos de biomasa en relación al tiempo (Figura 11), se observa: que todos los genotipos en estudio presentaron la máxima producción de biomasa a la cosecha, que la producción de biomasa del genotipo 1 superó a los 3 restantes, a través de todo el ciclo y que el genotipo 3 presentó dos períodos de alto incremento de biomasa, entre los 40 y 60 días y entre los 75 días y la cosecha.

Los valores promedios para genotipos por época de muestreo, se presentan en el Cuadro 6, mientras que los resultados del análisis de variancia se muestran en el Cuadro 3A. Se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos, de épocas de muestreo y de su interacción. Los resultados de la prueba de Duncan, aplicado a los promedios de genotipos (Cuadro 7), indicaron 3 grupos de medias, destacándose en el primero el genotipo 1 con 8,59 tm de biomasa/ha, seguido por el genotipo 2 con 7,22 tm, mientras que los genotipos 3 y 4, formaron un solo grupo con 5,33 y 5,61 tm/ha respectivamente.

La alta significación de los efectos de la interacción "genotipos por épocas de muestreo" se puede explicar en parte por el comportamiento del genotipo 3 (A. caudatus) (Figura 11), que pareciera haber llegado a la etapa de senectud a los 60 días, sin embargo, a partir de los 75 días, presentó un incremento significativo de su biomasa. Esto podría ser una respuesta al período de lluvias tardías que se presentó durante el ciclo (Figura 1).

En general los rendimientos de biomasa fueron muy superiores a los encontrados en la literatura, así, Medina (45) informó en A. hypochondriacus, rendimientos entre 2,1 a 6,5 tm/ha a los 90 días, Schmidt (63) registró 5,1 tm/ha en A. cruentus a los 120 días mientras que en este experimento se lograron hasta 14,8 tm/ha a los 83 días para A. cruentus y hasta 11,1 tm/ha a los 88 días para A. caudatus (Cuadro 6, Figura 11).

o) Biomasa fresca total (BFTo)

En el Cuadro 6, se presentan los valores promedios para genotipos por épocas de muestreo. De los resultados del análisis de variancia (Cuadro 3A), se detectaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos y épocas de muestreo, y diferencias significativas para el efecto de su interacción, sin embargo, según la prueba de Duncan (Cuadro 7), las diferencias de los promedios de los genotipos 2, 3 y 4 no fueron significa-

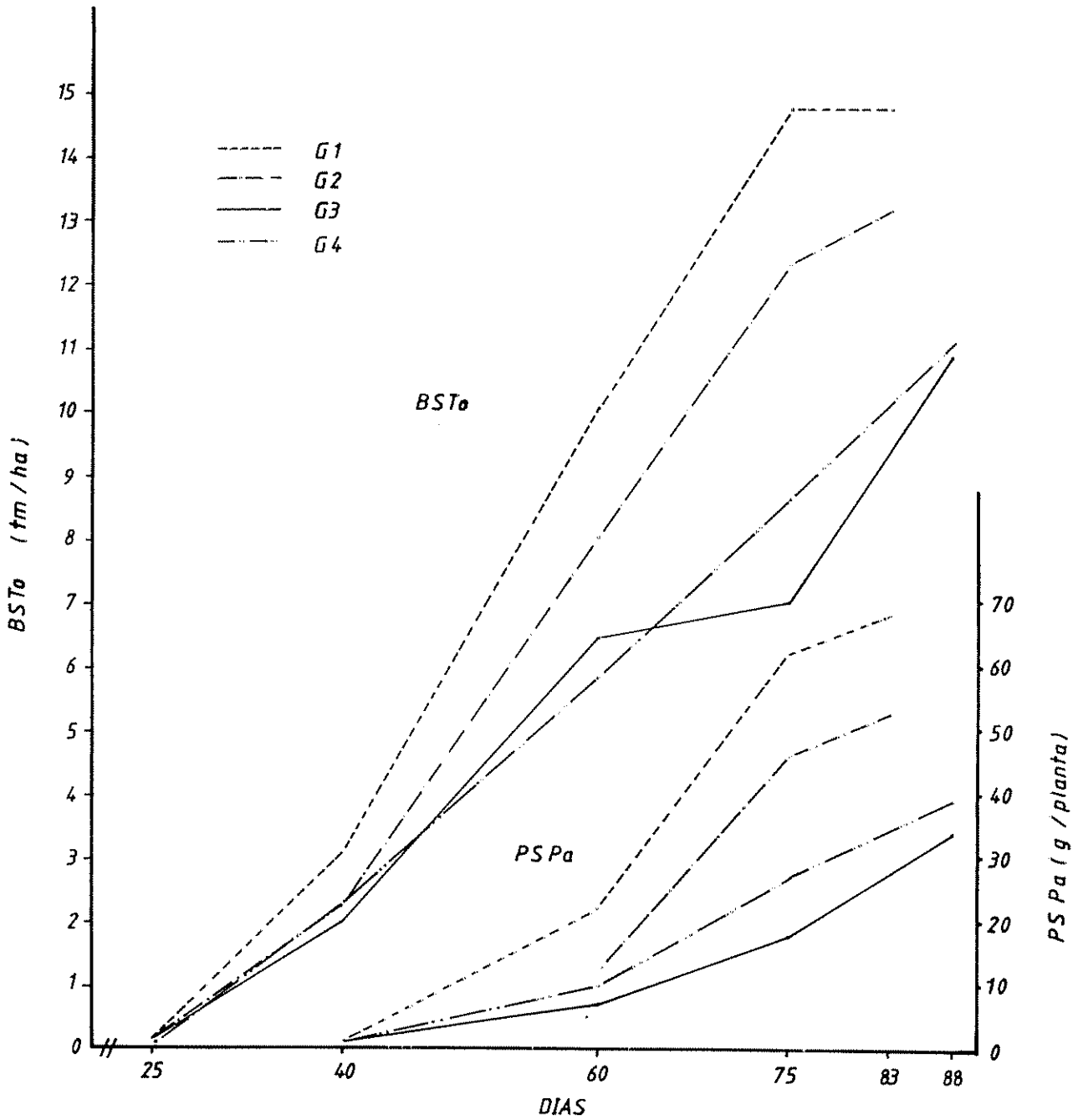


Figura 11. Variaciones de la biomasa seca total (BSTo) y el peso seco de panojas (PSPa) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

tivas estadísticamente, mientras que el promedio del genotipo 1 sobresalió con 53,9 tm/ha. En cuanto a los promedios por época de muestreo, se observó que no hubo diferencias estadísticas entre los rendimientos de biomasa fresca obtenidos a los 60, 75 días y la cosecha, lo que significa que en los 4 genotipos estudiados, el incremento de biomasa fresca fue significativo únicamente hasta los 60 días de edad del cultivo.

En la Figura 12 se presentan las tendencias de la producción de biomasa fresca, en relación con el tiempo, para los 4 genotipos en estudio. Se observó que el genotipo 1 superó en rendimiento a los 3 restantes, a través de todo el ciclo alcanzando su máxima producción (82 tm/ha) a los 75 días. Los incrementos decrecientes que se observaron en los genotipos 1 y 2, fueron el resultado de la pérdida de agua que sufrieron las plantas al acercarse la cosecha, puesto que el rendimiento de biomasa seca no declinó hasta el final del ciclo (Figura 11).

Teniendo en cuenta el uso potencial de las dos especies como verdura, se observó que en una época apropiada para el consumo (40 días), se pudo alcanzar entre 25 y 35 tm/ha de materia fresca, con A. cruentus y entre 23 y 28 tm/ha con A. caudatus (Cuadro 6), estos promedios superaron los datos encontrados por algunos investigadores así, Camphell y Abbott (11), encontraron promedios de 12 y 15 tm/ha de materia fresca a los 35 días en A. cruentus, Deutsch (16), registró hasta 20 tm/ha de materia fresca a la floración en Amaranthus spp., mientras que Makus (43) informó hasta 18,3 tm/ha en A. tricolor, a los 43 días desde la siembra.

p) Concentración de nitrógeno en planta entera (NPE)

Los valores promedios para genotipos por época de muestreo se presentan en el Cuadro 6. Los resultados del análisis de variancia para esta característica (Cuadro 3A), revelaron diferencias altamente significativas para el efecto de genotipos y épocas de muestreo, mientras que el efecto de la interacción no fue significativo. Observando los datos del Cuadro 7, se encontró que los promedios de los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) fueron superiores estadísticamente a los promedios de los genotipos 1 y 2; aunque sobresalió únicamente el genotipo 3 con 3,31% de N. Según la tendencia de las curvas de la Figura 13, y los datos del Cuadro 6, se concluyó que: la época en que las plantas acumularon el mayor contenido de nitrógeno (>5%) fue a los

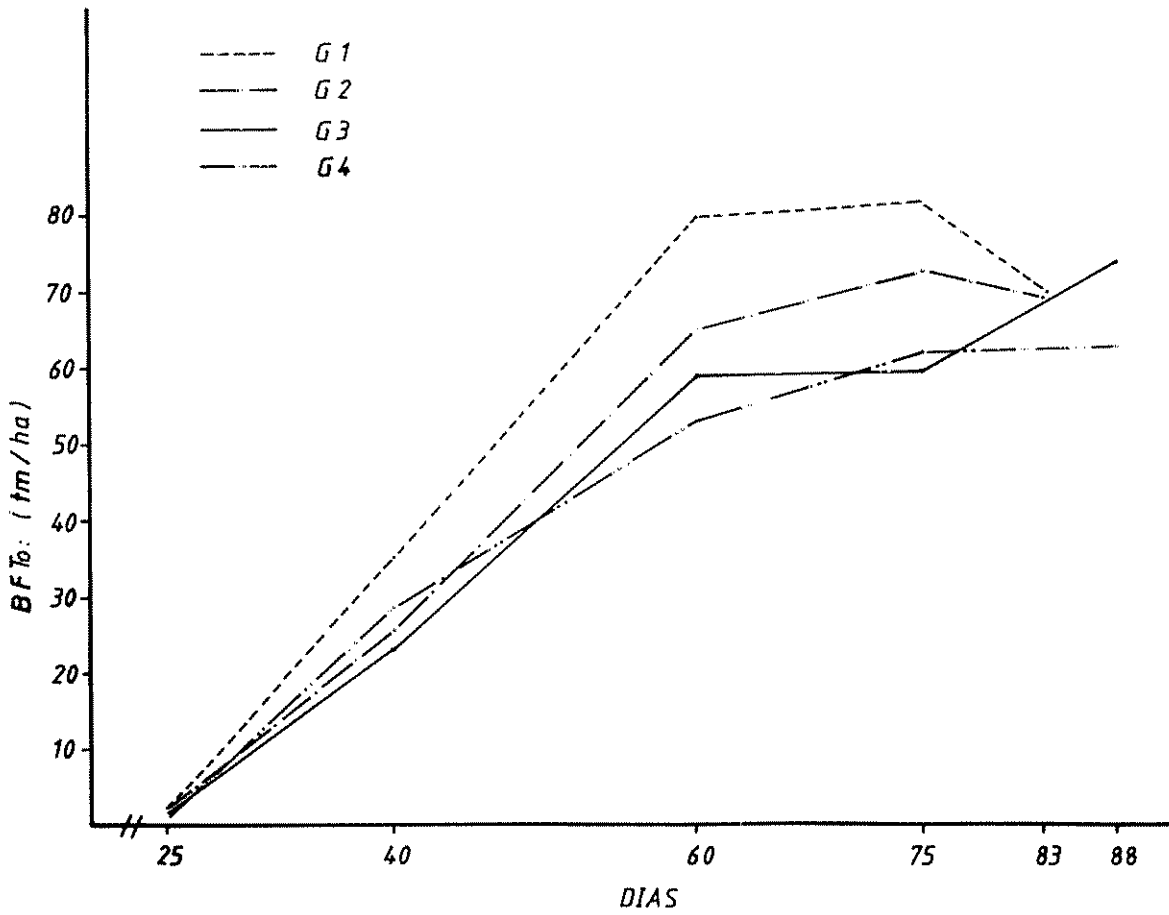


Figura 12. Variaciones de la biomasa fresca total (BFTo) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

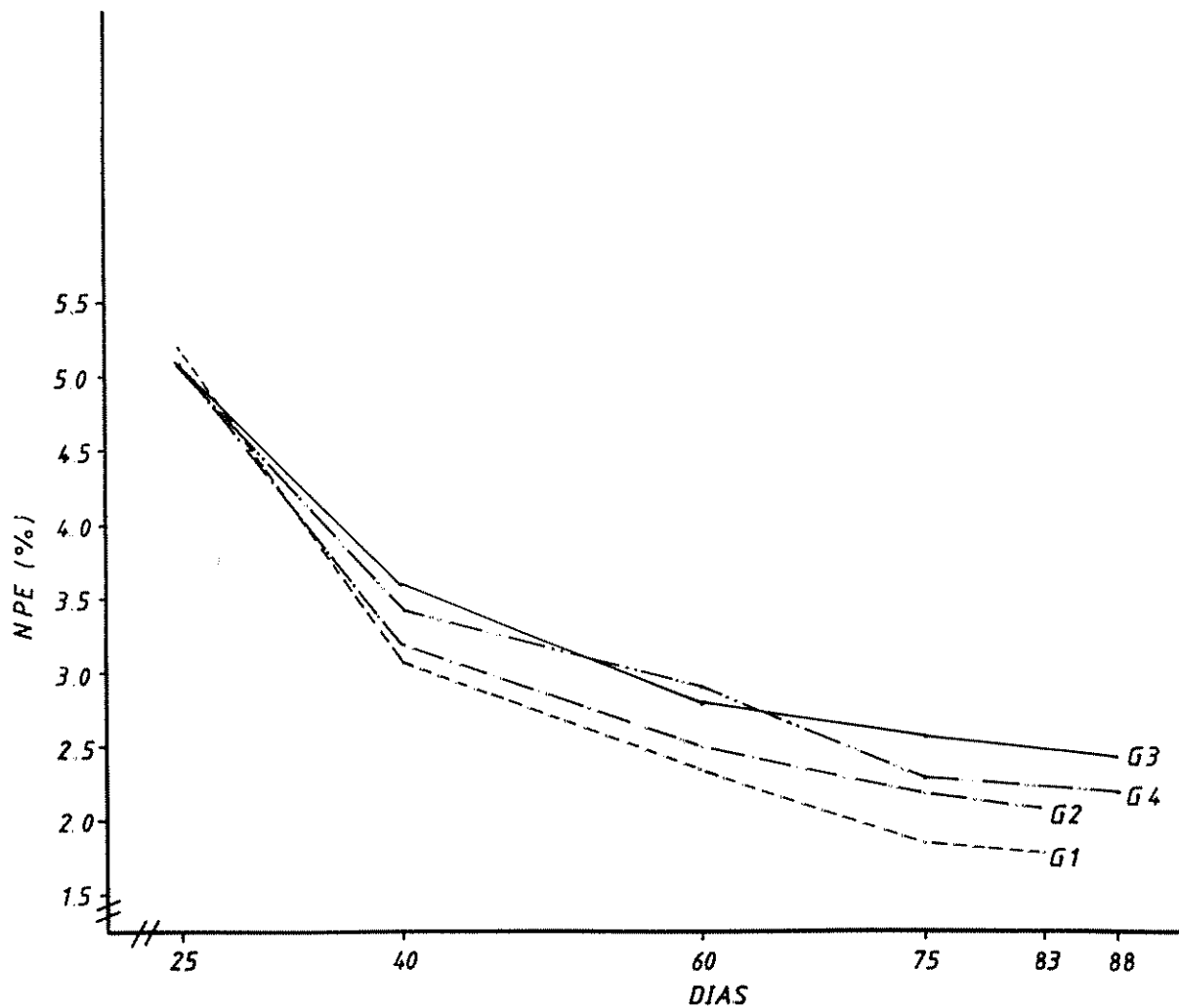


Figura 13. Variaciones del porcentaje de nitrógeno en la planta entera (NPE) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

25 días después de la siembra, a partir de la cual se notó una disminución progresiva hasta la cosecha.

Esta tendencia decreciente en el contenido de nitrógeno con el tiempo, coincidió con lo observado por otros autores como Olufolaki y Tayo (53), quienes informaron una disminución en el contenido de nitrógeno en la planta entera, desde 3,4% a los 35 días hasta 0,5% a los 91 días, en 3 cultivares de Amaranthus spp. Medina (45), encontró que en A. hypochondriacus el contenido de nitrógeno disminuyó de 3,29% a los 70 días a 0,97% a los 164 días. Este comportamiento, posiblemente se debe a que la planta transforma los compuestos nitrogenados en carbohidratos y otros compuestos más complejos como lignina o fibra, a medida que la planta llega a su madurez (4).

q) Porcentaje de proteína en planta entera (PPE)

Puesto que el contenido de proteína se obtuvo del porcentaje de nitrógeno multiplicado por una constante, los análisis estadísticos. (Cuadros 3A y 7), presentaron los mismos resultados, que en el caso de la variable anterior (Concentración de nitrógeno). También la tendencia de las curvas que representan el porcentaje de proteína en relación al tiempo (Figura 14), fue la misma que para la variación de nitrógeno. Sin embargo, es importante recalcar que los porcentajes de proteína fueron bastante elevados (17 a 30%), en el período apto para consumo como verdura, entre los 25 y 40 días (Cuadro 6).

La concentración de nitrógeno y por lo tanto la de proteína en la biomasa, sigue un patrón similar decreciente, para los 4 genotipos, a través del tiempo (Figuras 13 y 14) lo que explica la ausencia de significación para los efectos de la interacción "genotipos por épocas de muestreo".

4.1.3. Índices fisiológicos del crecimiento.

a) Tasa de crecimiento relativo (TCR)

Las variaciones de la TCR observadas para genotipos de la misma especie, fueron mínimas (Cuadro 8), por lo que la representación de las tendencias a través del tiempo, se prefirió hacer para promedios por especie (Figura 15). Se observó que los 4 genotipos en estudio siguen la misma

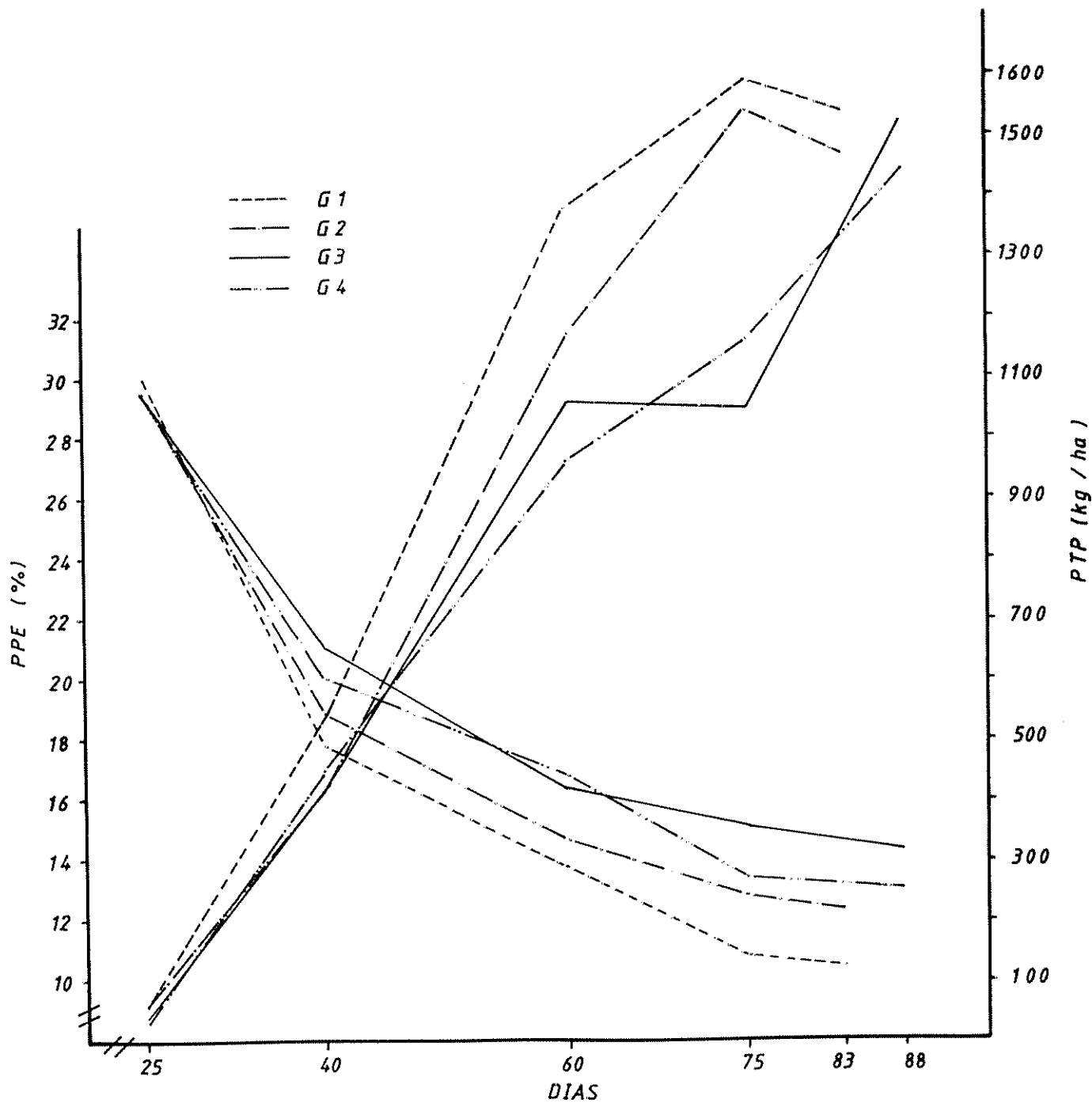


Figura 14. Variaciones del porcentaje de proteína en planta entera (PPE) y de la producción total de proteína (PTP) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Cuadro 8. Indices de crecimiento para 4 genotipos de Amaranthus, bajo 5 épocas de muestreo. Datos promedio de 3 repeticiones. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo Muestreo	FISIOLOGICOS					MORFOLOGICOS					AGRONOMICOS		
	TCR*	TCRF	TAN	IAF	RPF	RPTa	RPR	AFE	TPMS	PPT			
G1	0-25 días	2,07	2,27	1,10	0,39	65,00	35,20	0,09	3,17	0,77	58,0		
	26-46 "	1,29	0,87	1,17	2,58	46,80	52,00	0,15	1,77	19,42	537,4		
	41-60 "	0,41	0,19	0,71	4,49	23,70	49,20	0,10	1,87	34,86	1382,5		
	61-75 "	0,18	-0,09	0,54	3,66	14,20	39,10	0,06	1,76	31,20	1586,1		
	76-83 "	0,01	-0,16	0,06	3,06	13,00	32,20	0,05	1,57	2,85	1537,5		
G2	0-25 días	2,09	2,28	1,13	0,42	62,40	37,80	0,09	3,24	0,84	60,5		
	26-40 "	1,13	0,74	0,94	2,04	46,60	52,90	0,16	1,92	13,84	416,7		
	41-60 "	0,44	0,24	0,68	4,09	27,00	55,10	0,10	1,88	28,86	1175,3		
	61-75 "	0,20	-0,01	0,54	3,44	16,40	38,90	0,07	1,70	28,80	1538,7		
	76-83 "	0,06	-0,01	0,24	3,35	16,50	35,80	0,06	1,52	11,85	1465,8		
G3	0-25 días	2,01	2,22	1,05	0,34	61,00	38,90	0,08	3,37	0,64	47,2		
	26-40 "	1,20	0,85	0,92	2,10	43,60	53,70	0,15	2,34	12,64	421,5		
	41-60 "	0,40	0,10	0,56	3,59	25,50	61,00	0,09	2,16	22,20	1063,7		
	61-75 "	0,04	-0,13	0,08	2,69	18,10	52,60	0,07	2,11	3,68	1049,2		
	76-88 "	0,24	0,02	0,79	2,78	13,40	48,10	0,06	1,88	31,01	1502,1		
G4	0-25 días	1,88	2,10	0,97	0,22	59,00	42,00	0,09	3,67	0,40	29,0		
	26-40 "	1,46	1,10	1,16	2,27	41,40	55,30	0,15	2,41	14,48	449,1		
	41-60 "	0,33	0,09	0,48	2,98	22,40	55,90	0,08	2,26	18,00	967,8		
	61-75 "	0,18	-0,03	0,46	2,78	15,80	47,40	0,06	2,03	18,80	1160,1		
	76-88 "	0,15	-0,04	0,58	2,51	11,90	41,60	0,05	1,82	21,78	1139,4		

Densidad: 120 000 planta/ha

- *TCR : Tasa de crecimiento relativo, en g/g/semana
 TCRF : Tasa de crecimiento relativo foliar, en dm²/dm²/semana
 TAN : Tasa de asimilación Neta, en g/dm²/semana
 IAF : Índice de área foliar en dm² hoja/dm² suelo (área de suelo/pl=75 dm²)
 RPF : Razón peso foliar, en %
 RPTa : Razón peso de tallos, en %
 RPR : Razón peso de raíz, en g de raíz/q biomasa aérea
 AFE : Área foliar específica, en dm²/g hoja
 TPMS : Tasa de producción de materia seca, en g/m²/día
 PTF : Producción total de proteína, en kg/ha

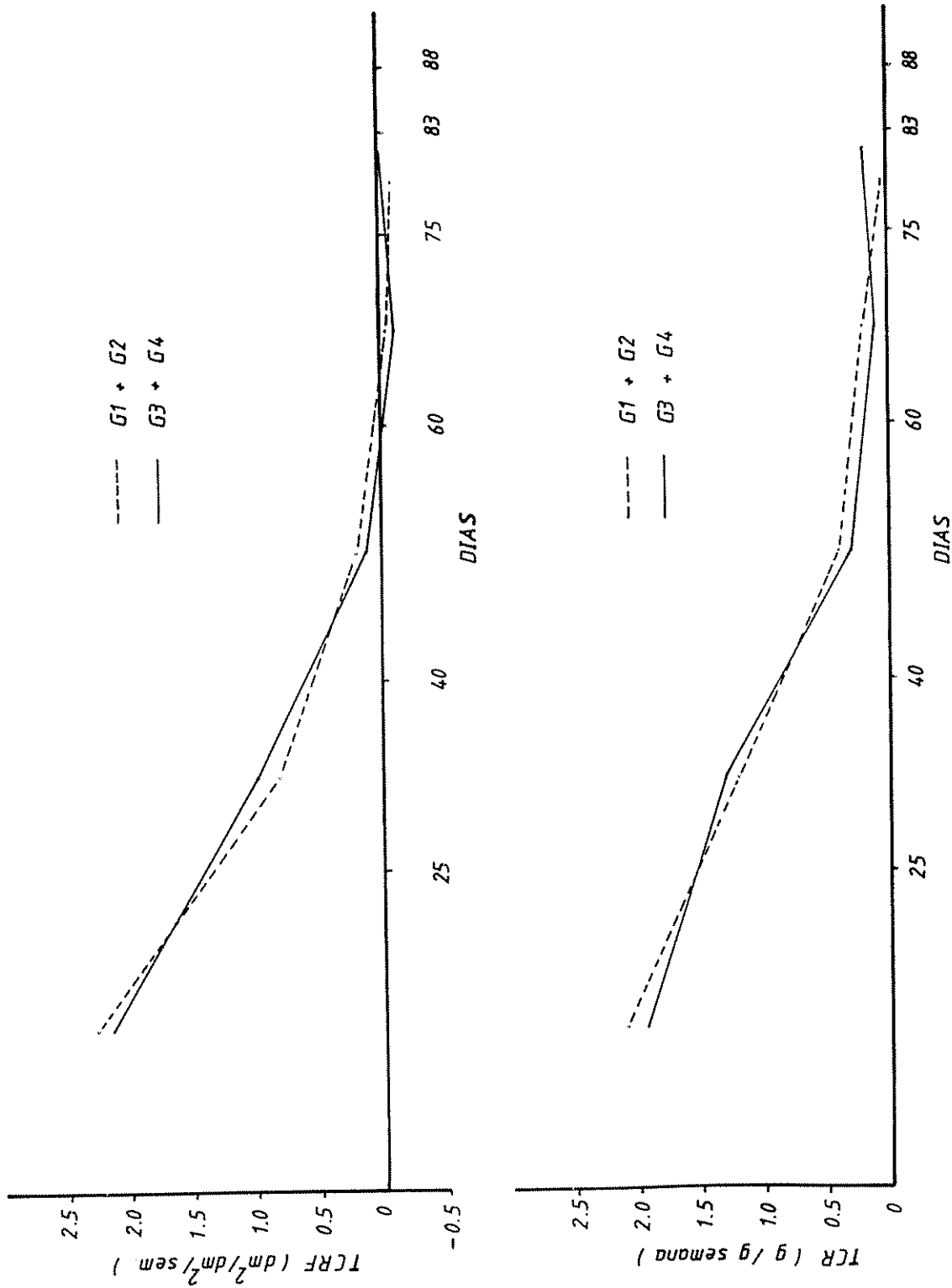


Figura 15. Variaciones de la tasa de crecimiento relativo foliar (TCRF) y de la tasa de crecimiento relativo (TCR) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

tendencia, es decir el máximo incremento de materia seca por unidad de materia seca inicial se presentó en el período de 0 a 25 días, a partir del cual hay un decrecimiento casi lineal hasta el tercer período (40 a 60 días), luego siguió un período de decrecimiento más lento hasta la cosecha. Sin embargo en el genotipo 3 (A. caudatus) se observó un ligero incremento en el período final, 75 a 88 días.

Asumiendo que la variación en el índice de crecimiento relativo es continua a través del tiempo (57), se procedió a calcular promedios por especies y a probar la bondad de ajuste de las curvas. Se aplicó la prueba de Ji-cuadrado ($P < 0.05$) y se encontró que las diferencias entre tendencias no fueron significativas, es decir la tendencia de la TCR a través de tiempo fue similar para los 4 genotipos estudiados.

b) Tasa de crecimiento relativo del área foliar (TCRF)

Los promedios de genotipos por épocas de muestreo se presentan en el Cuadro 8, y la representación de la variación de esta característica con el tiempo para genotipos de la misma especie, en la Figura 15. Se observó que el incremento de área foliar por unidad de área foliar inicial y por unidad de tiempo (semana), disminuyó con la edad de la planta a partir del período inicial (0 a 25 días), en donde se alcanzaron los máximos valores de TCRF (2,27 y 2,15 $\text{dm}^2/\text{dm}^2/\text{semana}$), en promedio para A. cruentus y A. caudatus respectivamente. Se observó además, que en los genotipos 1, 2 y 4 la TCRF fue negativa a partir de los 60 días, hasta la cosecha, lo que sugiere que las plantas entraron en un período de caída de hojas. Realizada la prueba de Ji-cuadrado ($P < 0.05$), para observar si las tendencias de las curvas de genotipos, son diferentes estadísticamente o se ajustan a un modelo único, se encontró que todos los genotipos siguieron la misma tendencia, es decir el incremento de área foliar por unidad de área foliar inicial y por tiempo fue similar para los 4 genotipos estudiados (Figura 15).

c) Tasa de asimilación neta (TAN)

Este índice es considerado como el más importante dentro de un análisis de crecimiento puesto que expresa el incremento de biomasa por unidad de área foliar (aparato fotosintético) y por unidad de tiempo, es decir,

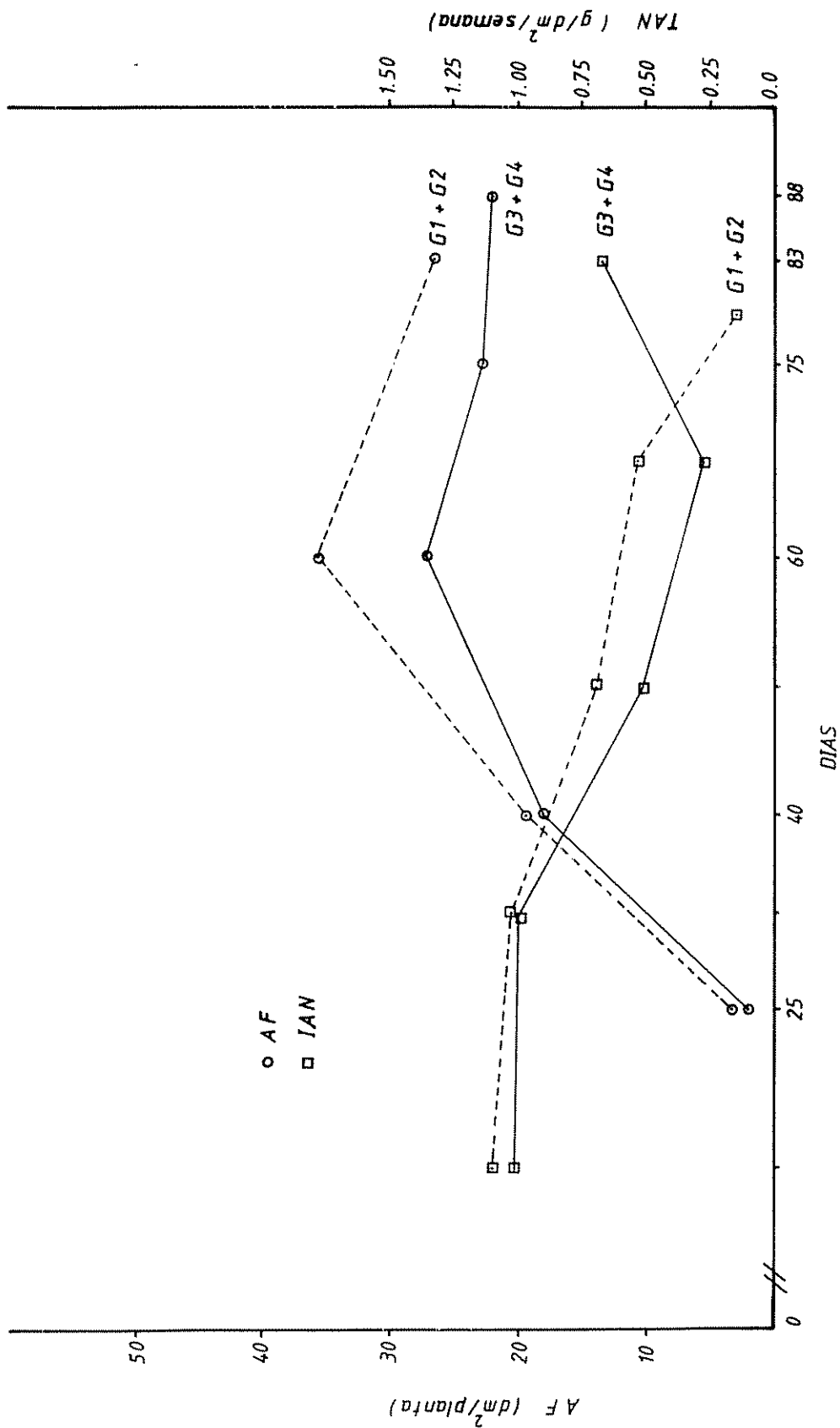


Figura 16. Variaciones del área foliar (AF) y de la tasa de asimilación neta (TAN) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento I: Análisis del crecimiento.

la TAN, revela la eficiencia fotosintética de una planta o cultivo a través de su ciclo de vida (19).

Bajo la suposición de que los incrementos de área foliar y biomasa varían en forma continua a través del tiempo, y que a su vez están relacionadas entre si en forma lineal, dentro del intervalo de tiempo considerado (57), se procedió a calcular promedios para genotipos y a encontrar sus diferencias estadísticas. Se aplicó la prueba de Ji-cuadrado ($P < 0.05$) para probar la bondad de ajuste de las curvas (Figura 16), pero no se encontró diferencias significativas lo que quiere decir que los cuatro genotipos estudiados (dos especies) siguen un mismo modelo de incremento de biomasa, por unidad de área foliar y por unidad de tiempo, durante todo el ciclo. De la observación de las curvas de las TAN por especies (Figura 16) y de los datos del Cuadro 8, se podría decir que ambas mantuvieron un índice de eficiencia fotosintética alto (> 1 g/dm²/semana) y más o menos estable hasta los primeros 40 días del ciclo, luego, al pasar de 40 a 60 días, presentaron una disminución de aproximadamente el 50% en su eficiencia fotosintética inicial y siguió la tendencia decreciente, aunque menos pronunciada, hasta los 75 días. A partir de este punto, las tendencias fueron opuestas, mientras en los genotipos 1 y 2 (A. cruentus), la TAN siguió decreciendo hasta la cosecha, en los genotipos 3 y 4 (A. caudatus), se observó un súbito incremento. Este comportamiento en una etapa muy cercana a la cosecha, es quizá la evidencia más clara del brotamiento de yemas axilares y formación de tejido foliar nuevo observado en A. caudatus, como respuesta a la aparición tardía de un período lluvioso (Figura 1).

En la Figura 16 se observa además, que A. cruentus fue fotosintéticamente más eficiente que A. caudatus durante los primeros 75 días del cultivo, lo que explicaría en parte la superioridad en producción de biomasa y producción de grano observada en los dos genotipos de la primera especie.

4.1.4. Índices morfológicos del crecimiento

a) Índice de área foliar (IAF)

Considerando que el índice de área foliar, se obtiene de dividir el área foliar por planta, para una constante (la superficie de suelo que ocupa cada planta), los resultados de los análisis estadísticos realizados para la variable área foliar, (Cuadros 3A y 4), se pueden aplicar para

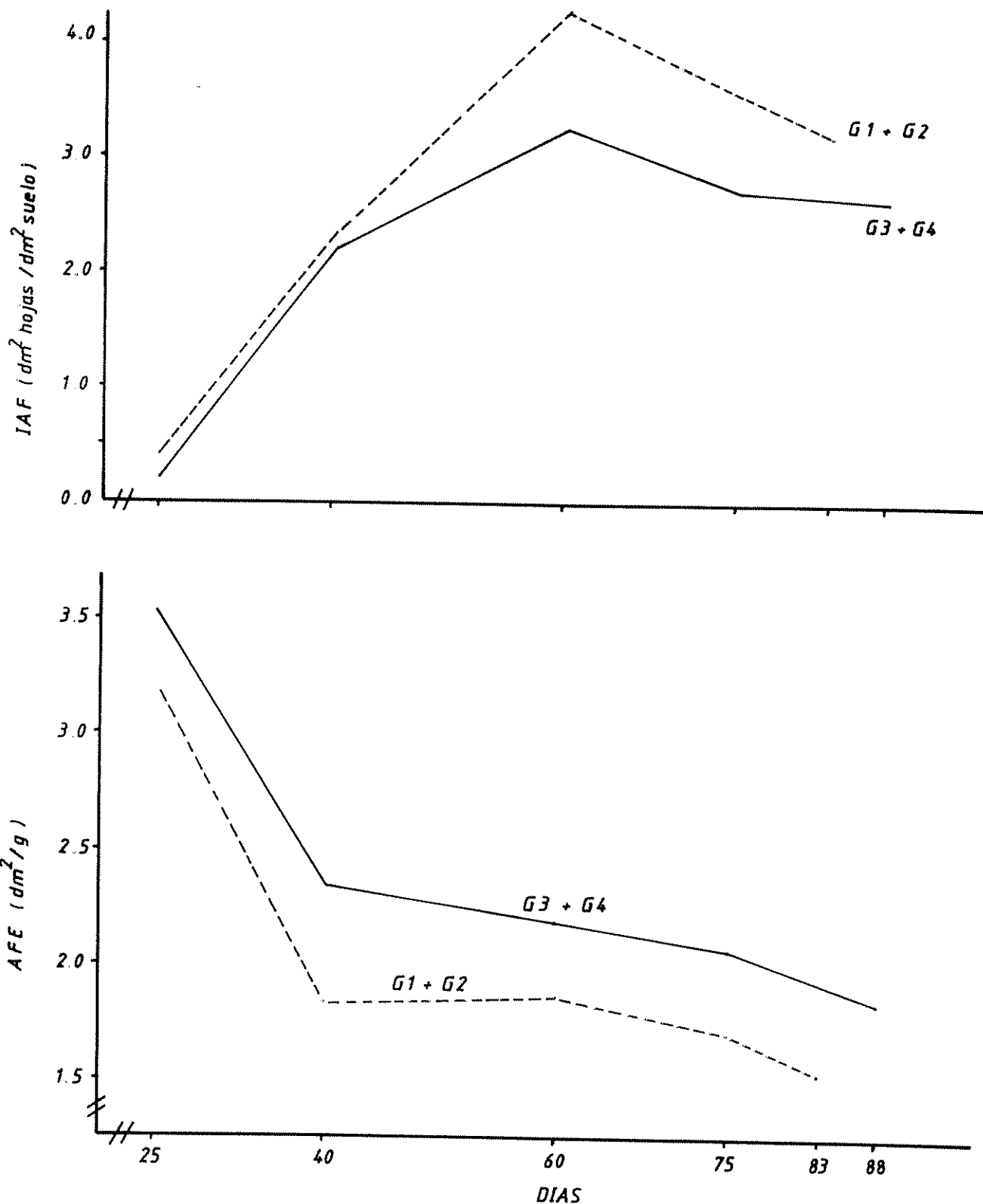


Figura 17. Variaciones del índice de área foliar (IAF) y del área foliar específica (AFE) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

evaluar el comportamiento de los genotipos en cuanto al IAF. De esta forma se puede decir que los efectos de genotipos, de épocas de muestreo y de su interacción fueron altamente significativas en la variable IAF y además que las diferencias de promedios por genotipos dentro de la misma especie no fueron significativas pero que entre especies si hubo diferencias significativas. La variación del índice de área foliar con el tiempo en promedio por especies, se presenta en la Figura 17. Se observó la misma tendencia que en el caso de área foliar (Figura 16), es decir, que el IAF aumentó casi en forma lineal hasta los 60 días del ciclo, época en que se alcanzó los máximos valores de IAF: 4,25 y 3,25 dm² de hojas/dm² de suelo, en promedio para los genotipos de A. cruentus y A. caudatus respectivamente; luego se presentó un descenso paulatino hasta la cosecha. Se observó además, que durante todo el ciclo de IAF fue superior en A. cruentus, es decir que esta especie tiene más área foliar por área de suelo, lo que se suma a la mayor eficiencia fotosintética observada en esta misma especie, para explicar la mayor producción de biomasa y grano registrado en sus genotipos.

b) Area foliar específica (AFE)

En el Cuadro 8, se encuentran los datos promedios de AFE para genotipos por cada período de muestreo. De los resultados del análisis de variancia (Cuadro 3A), se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos y épocas de muestreo, mientras que el efecto de una interacción no fue significativo. Observando los datos del Cuadro 9, se nota que no hubo diferencias estadísticas entre promedios por genotipos de la misma especie, es decir que la cantidad de área foliar por gramo de hoja fue diferente para las dos especies estudiadas. En la Figura 17 se presentan las tendencias de AFE por especie en relación con el tiempo. A. cruentus tuvo hojas más gruesas que A. caudatus, puesto que presentó menos área foliar por unidad de peso foliar, mientras que A. caudatus, al presentar mayor expansión foliar por unidad de peso, tuvo hojas más delgadas. La ausencia de significación para el efecto de la interacción "genotipo por épocas de muestreo", se podría explicar por el paralelismo que siguen las tendencias de las curvas de AFE (Figura 17).

Cuadro 9. Promedios de algunos índices morfológicos y agronómicos del crecimiento, para 4 genotipos de Amaranthus y 5 épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo y muestreo	AFE* (dm ² /g)	RPF %	RPTa %	PTP (kg/ha)
\bar{X} G1	2,03 b**	33,0 a	41,6 b	1020,3 a
\bar{X} G2	2,05 b	34,0 a	44,1 b	931,4 ab
\bar{X} G3	2,37 a	33,0 a	50,3 a	816,7 b
\bar{X} G4	2,44 a	30,0 b	48,1 a	809,1 b
\bar{X} 25 días	3,36 a	62,0 a	38,6 c	48,7 e
\bar{X} 40 días	2,11 b	45,0 b	53,5 ab	456,2 d
\bar{X} 60 días	2,04 b	25,0 c	55,3 a	1147,3 c
\bar{X} 75 días	1,90 bc	16,0 d	44,5 b	1333,5 b
\bar{X} Cosecha	1,69 c	14,0 e	39,2 c	1486,2 a

* AFE : Area foliar específica

RPF : Razón peso foliar

RPTa: Razón peso de tallos

PTP : Producción total de proteína

** Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan ($P < 0,05$)).

c) Razón peso foliar (RPF)

La proporción de la planta que correspondió a hojas, a través del tiempo para los 4 genotipos estudiados se presenta en el Cuadro 8, y en la Figura 18 se presentan las tendencias de esta variable, en promedio para genotipos de la misma especie. Se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos y de épocas de muestreo, pero el efecto de su interacción no fue significativo (Cuadro 3A). Dentro de los promedios por genotipos, se observaron dos grupos, encontrándose en el primero los genotipos

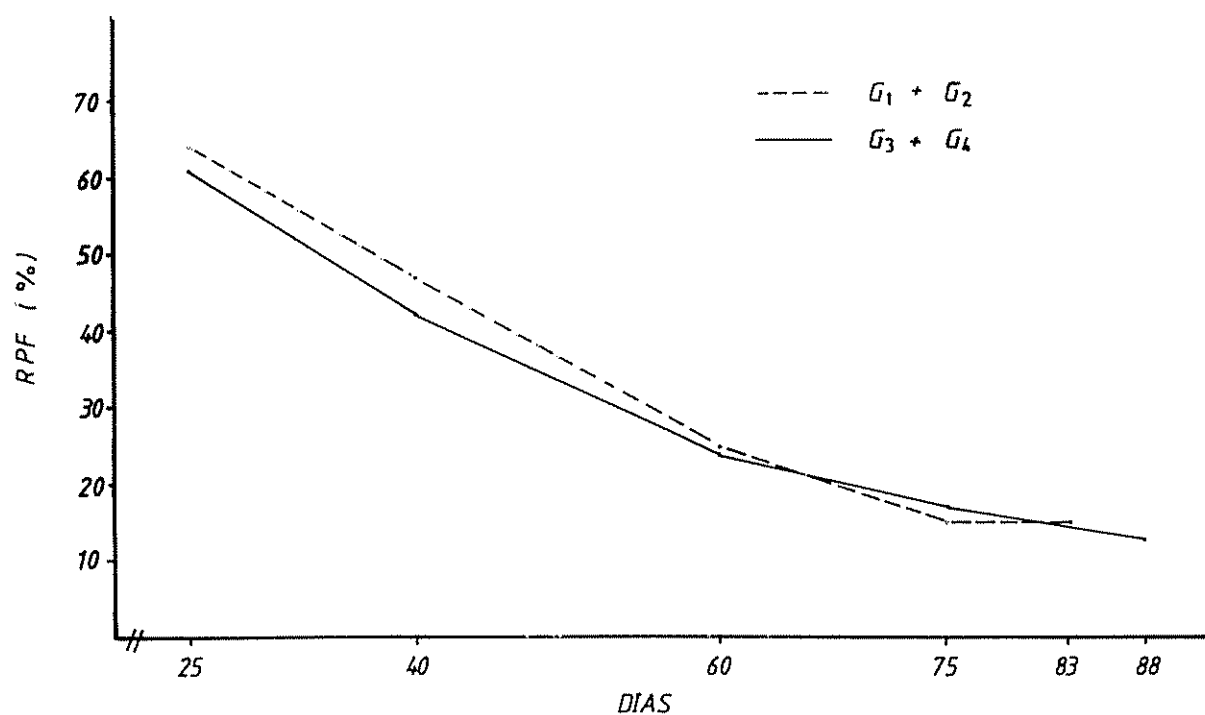
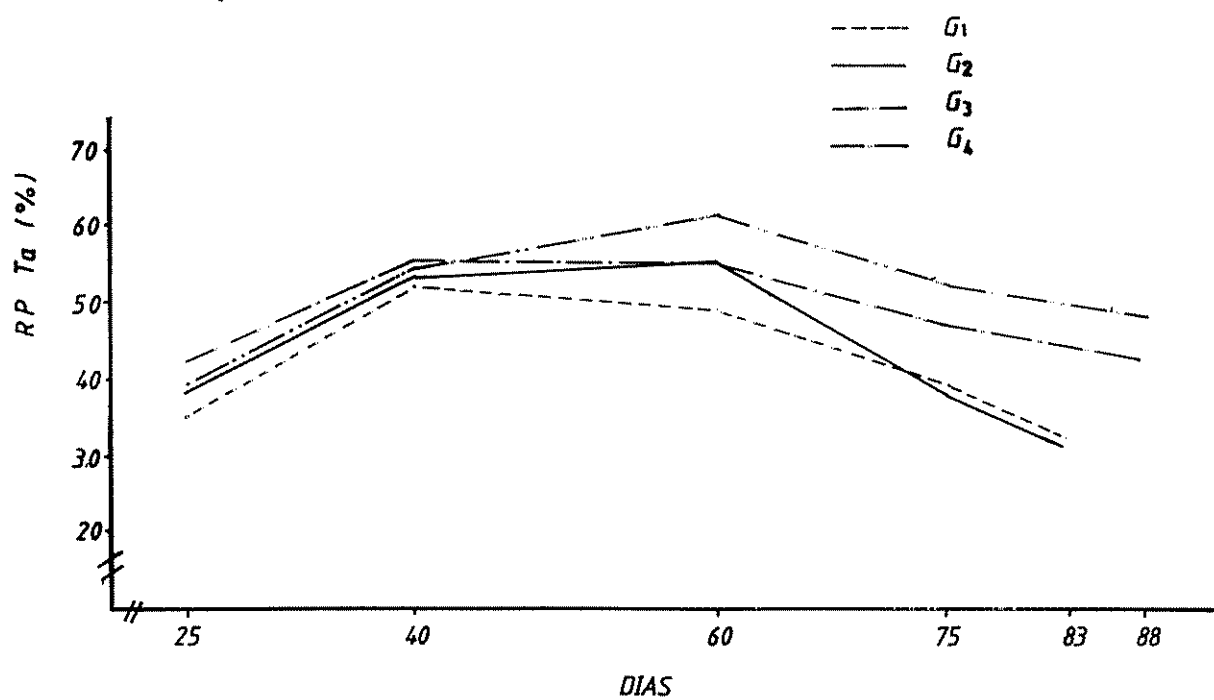


Figura 18. Variaciones de la razón peso de tallos (RPTa) y de la razón peso foliar (RPF) con el tiempo, para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

1, 2 y 3 con 33, 34 y 33% respectivamente, mientras que el genotipo 4, con una RPF de 30% fue diferente estadísticamente de los demás (Cuadro 9). Según la tendencia de las curvas de la Figura 18, se observó que A. cruentus, invirtió un porcentaje superior de su biomasa en hojas que A. caudatus durante los primeros 60 días, aunque la diferencia no fue significativa. Además se observó que ambas especies invirtieron el mayor porcentaje de biomasa en hojas ($\pm 60\%$), a los 25 días de su ciclo, luego, destinaron cada vez menos biomasa a hojas, hasta que al llegar a la cosecha, apenas entre el 13 y 15% de su biomasa fue hojas. Por otro lado es importante anotar que el potencial de las dos especies como verdura es muy alto, puesto que la parte utilizable (hojas), fue superior al 40% de la biomasa total en la época propicia de consumo, antes de los 40 días.

d) Razón peso de tallos (RPTa)

Del análisis de la variación de la proporción del peso de tallos por planta para los genotipos estudiados, se detectó alta significación para los efectos de genotipos y de épocas de muestreo y ninguna significación estadística para los efectos de su interacción (Cuadro 3A). De los resultados de la prueba de Duncan aplicada a los promedios de genotipos y épocas de muestreo, (Cuadro 9), se observó que los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) superaron estadísticamente a los genotipos 1 y 2 (A. cruentus). La mayor inversión de biomasa en tallos se observó en el genotipo 3, con 50.3% mientras que el genotipo 1 apenas invirtió en un 41.6%, pero no se observaron diferencias estadísticas entre genotipos de una misma especie. En la Figura 18 se muestran las tendencias de esta característica con el tiempo. Se observó que los genotipos de las dos especies, incrementaron la proporción de tallos con respecto a su biomasa total hasta los 60 días de su ciclo, luego una disminución paulatina hasta la cosecha. Se observó, además que los 4 genotipos siguen una tendencia casi paralela, lo que comprueba la ausencia de significación estadística para el efecto de la interacción genotipos por épocas de muestreo.

e) Razón peso radical (RPR)

Los datos de esta variable, deben ser considerados como reserva, ya que en condiciones de campo es muy difícil extraer todo el volumen

radical por planta. En el Cuadro 8 se presentan los valores promedios de razón peso radical para genotipos por épocas de muestreo, mientras que en la Figura 19 se representa las variaciones de RPR por especies, a través del tiempo. Se observa que los genotipos de las dos especies presentaron la mayor proporción de peso radical por peso total ($\pm 15\%$) a los 40 días del ciclo, luego la tendencia fue decreciente hasta que en la época de cosecha la proporción de peso radical fue menor de 6%. Este comportamiento podría considerarse como una limitante del cultivo, puesto que a medida que la planta aumenta de tamaño y peso, debería también mejorar su sistema de soporte, pero en este caso se observó que a partir de los 40 días del ciclo las plantas disminuyeron su proporción de peso radical con relación a la biomasa total, esta podría ser la razón principal del volcamiento de plantas, sobre todo en sitios con suelos sueltos o con afluencia de vientos. La razón peso radical podría usarse como parámetro de selección para mejorar la resistencia de las plantas al volcamiento.

4.1.5. Índices agronómicos del crecimiento

a) Tasa de producción de materia seca (TPMS)

La producción de materia seca por metro cuadrado y por día, para los 4 genotipos en estudio, por época de muestreo se presenta en el Cuadro 8, mientras que la variación de la TPMS por especie se representa en la Figura 19. Se observó que durante los primeros 75 días del ciclo, los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) presentaron tasas de producción de biomasa superiores a los alcanzados por los genotipos 3 y 4 (A. caudatus). Se observó también que ambas especies incrementaron su materia seca por unidad de superficie, casi en forma lineal hasta los 60 días de edad, luego, en A. cruentus el incremento fue decreciente, hasta la cosecha y en A. caudatus hasta los 75 días. Esta última especie presentó la máxima producción de materia seca (27 g/m²/día) en el último período de crecimiento (75 a 88 días), mientras que en A. cruentus su máxima TPMS (34 g/m²/día) se observó entre los 40 y 60 días. El incremento final observado en los genotipos 3 y 4, no sólo fue en biomasa vegetativa, sino fundamentalmente en producción de grano, así, en la Figura 7 se puede ver que mientras en los genotipos 1 y 2 el incremento de grano entre los 75 días y la cosecha fue de apenas 15 a 19%, en los genotipos 3 y 4 este incremento fue del 47

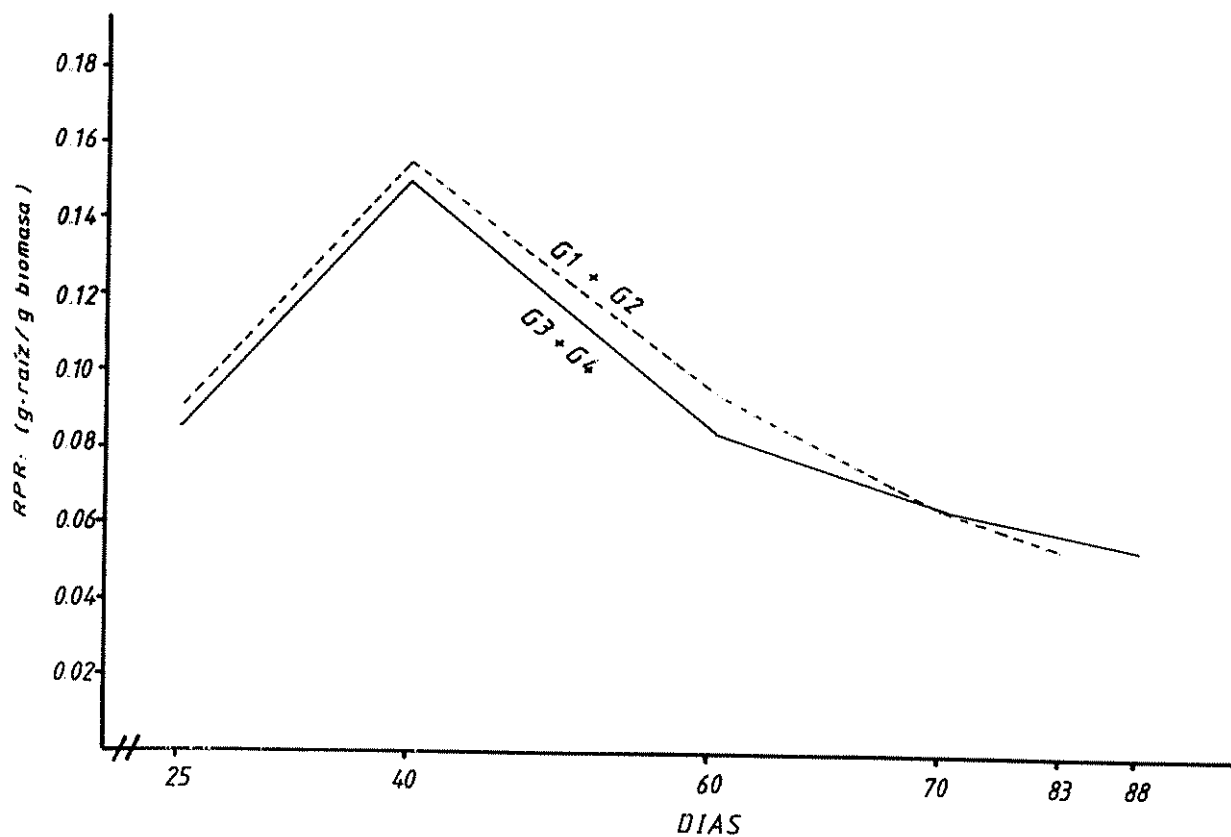
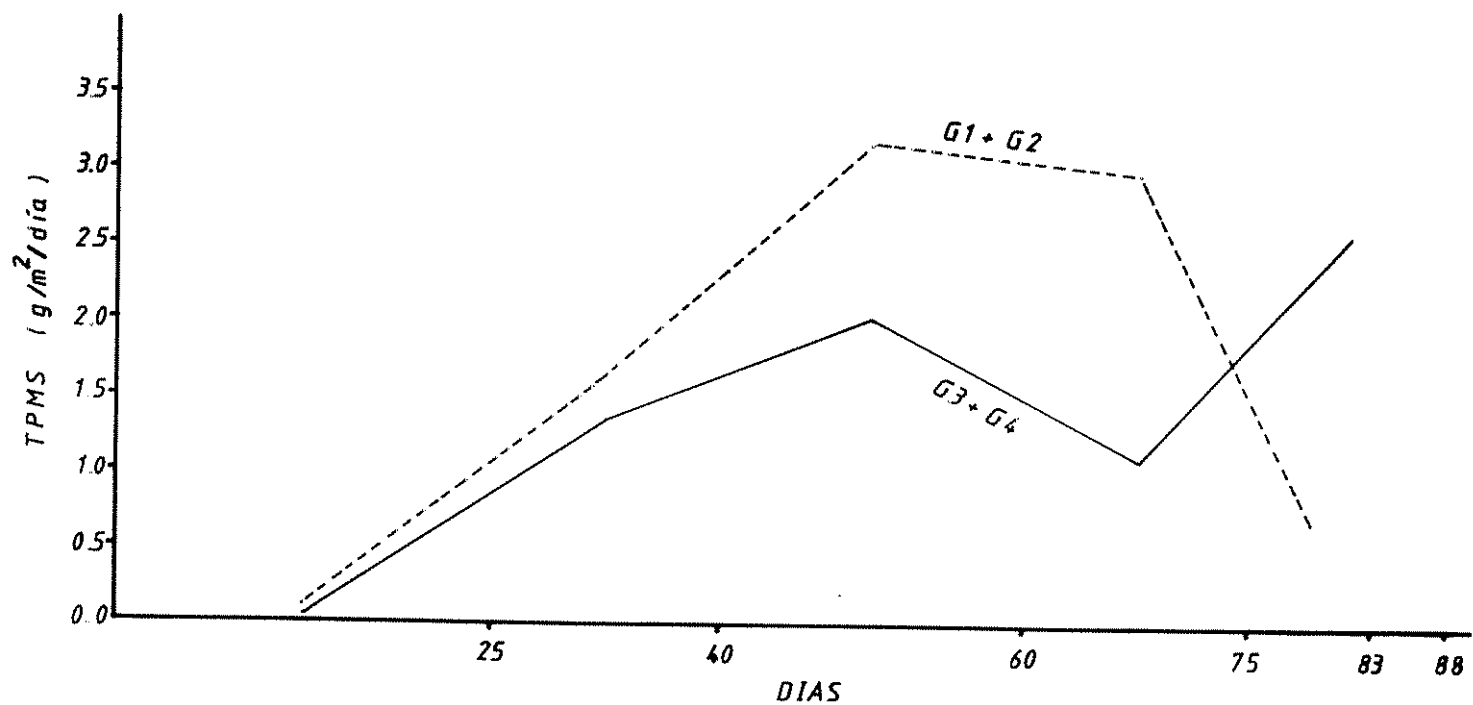


Figura 19. Variaciones de la tasa de producción de materia seca (TPMS) y de la razón peso radical (RPR) con el tiempo para 4 genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

al 67%.

b) Producción total de proteína (PTP)

La producción total de proteína en kg/ha, se calculó multiplicando el rendimiento de biomasa total por el porcentaje de proteína en cada muestra. En el Cuadro 8, se presentan los valores promedios para genotipos por período de muestreo, mientras que en el Cuadro 3A, se presentan los resultados del análisis de variancia para esta característica. Se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de genotipos y épocas de muestreo y ninguna significación para el efecto de su interacción. En cuanto a la producción promedio, se encontró que los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) fueron los que presentaron mayor producción de proteína por hectárea, aunque sobresalió únicamente el genotipo 1 con 1020 kg/ha en promedio (Cuadro 9). Las tendencias de la producción de proteína en relación al tiempo se presentan en la Figura 14, se observa la superioridad de los genotipos 1 y 2 a través de todo el ciclo, lo que contrastó con la tendencia de las curvas que representan el porcentaje de proteína por planta (Figura 14), es decir mientras que los genotipos de A. caudatus presentaron mayor porcentaje de proteína que los de A. cruentus, estos últimos superaron significativamente a los primeros en producción de proteína por hectárea. Esto sugiere que es más ventajoso seleccionar por producción de biomasa total, para lograr en forma indirecta un mejor potencial de producción de proteína por hectárea aunque los valores en porcentaje sean más bajos.

c) Índice de cosecha (K)

La proporción de producción de grano, en relación a la producción de biomasa total, se calculó para cada genotipo a los 75 días y a la cosecha (Cuadro 10). Se observó que los genotipos 1 y 2 (A. cruentus) alcanzaron a los 75 días índices de cosecha superiores al 80% de los índices finales mientras que los genotipos 3 y 4 (A. caudatus), lograron a los 75 días apenas el 52 y 56% del índice final respectivamente. Esto quiere decir que A. cruentus tiene más potencial para transformar biomasa vegetativa en grano en menos tiempo que A. caudatus.

Realizando el análisis estadístico para esta característica a la cosecha

(Cuadro 4A), se detectó que el efecto de genotipos fue significativo, mientras que, entre los promedios por genotipos se destacó el genotipo 1 con 39% de grano y en el último lugar, quedó únicamente el genotipo 3 con un índice de cosecha de apenas 19% (Cuadro 10). Esta superioridad de A. cruentus sobre A. caudatus sugiere que la primera especie, invierte una mayor proporción de su biomasa en grano.

Cuadro 10. Índices de cosecha (K) y de eficiencia energética (EE), para 4 genotipos de Amaranthus en dos épocas de cosecha. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo	Especie	K(%)		EE(%)	
		75 días	Cosecha *	75 días	Cosecha *
G1	<u>A. cruentus</u>	34	39 a **	2,3	2,2 a
G2	<u>A. cruentus</u>	28	33 ab	1,9	1,9 b
G3	<u>A. caudatus</u>	10	19 c	1,0	1,4 c
G4	<u>A. caudatus</u>	14	25 bc	1,3	1,5 c

* 83 días para A. cruentus, 88 días para A. caudatus.

** Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan $P < 0,05$).

d) Eficiencia energética (EE)

El porcentaje de energía solar (Radiación fotosintéticamente activa) que la planta transforma en energía bioquímica, se calculó a los 75 días y a la cosecha. Los valores promedios de EE se presentan en el Cuadro 10. Se observa, que según el análisis estadístico para los datos de esta, variable a la cosecha, sobresale el genotipo 1 como el más eficiente, con 2.2%, seguido por el genotipo 2 con 1.9%, ambos pertenecientes a A. cruentus, mientras que los genotipos 3 y 4 (A. caudatus) presentaron eficiencias energéticas de 1.4 y 1.5% respectivamente y no fueron diferentes estadísticamente entre sí.

Por otro lado se observó que el genotipo 1 alcanzó más eficiencia energética a los 75 días que a la cosecha, (Cuadro 10), lo que sugiere que en este

genotipo las hojas perdieron su capacidad fotosintetizante a partir de esta edad, es decir las plantas habían entrado a su período de senectud, mientras que en los 3 genotipos restantes el aparato fotosintético siguió activo hasta la cosecha.

4.1.6. Correlación entre algunas características del crecimiento

En el Cuadro 5A, se presentan los valores de correlación para 23 características del crecimiento. Se observó que la variable más importante desde el punto de vista agronómico, el rendimiento de grano (X16), estuvo correlacionada positivamente con: diámetro de tallo a los 25 días, área foliar a los 60 días y a la cosecha, peso seco de hojas a los 60 días y a la cosecha, peso seco de tallos a los 60 días, peso seco de panojas a la cosecha, biomasa seca total a la cosecha, eficiencia energética e índice de cosecha. Por otra parte, presentó una correlación negativa con: contenido de nitrógeno en planta entera, días a la cosecha y área foliar específica. La correlación entre largo de panoja (inflorescencia) y el rendimiento de grano no fue significativa, pero en cambio, el coeficiente de correlación con peso seco de panojas (0,90) fue altamente significativo. Esto significa que como componentes del rendimiento podrían ser más importantes: el diámetro o la densidad de la panoja que su longitud.

La correlación negativa, observada entre el rendimiento de grano y el contenido de proteína en la planta entera significa que aquellos genotipos con mayor contenido de nitrógeno en su biomasa tienden a producir menos grano. Esto quizá se podría interpretar como una menor capacidad de las plantas para traslocar compuestos nitrogenados para la formación de granos puesto que las plantas con menor rendimiento de grano también presentaron menor contenido de nitrógeno en sus semillas (Cuadro 5). Las correlaciones entre diámetro de tallo a los 25 días y peso seco de hojas con el rendimiento, coincidieron con los resultados de Mohideen Y Muthukrishman (47). Esto significa que las plantas con hojas más pesadas, presentaron mayor rendimiento de grano, lo que se comprobó con la correlación negativa observada entre área foliar específica y rendimiento de grano. De acuerdo a esto, se podría interpretar como que en Amaranthus es más importante el peso foliar que su área, como factor del rendimiento.

Entre otras características importantes se observó la eficiencia energética

(X 15) estuvo relacionada positivamente con: diámetro de tallo a los 25 días, área foliar a los 60 días y a la cosecha, y peso seco de hojas a los 60 días y a la cosecha. Esto parece lógico puesto que la eficiencia de la planta para captar y transformar la luz solar, depende del aparato fotosintético (hojas).

4.1.7. Discusión general

El interés por promocionar el cultivo de Amaranthus se justifica por su factibilidad de ser consumido como verdura en fresco y utilizar su grano como cereal. Los resultados obtenidos en este experimento confirman esa potencialidad.

De acuerdo a la producción de biomasa y a la concentración de proteína en la misma (Cuadro 6), se puede considerar a los 4 genotipos estudiados y especialmente los de A. cruentus como una alternativa en la producción de hortaliza o forraje para zonas con climas semejantes a los de Turrialba.

De la observación de la distribución de la biomasa por órganos a través del tiempo (Cuadro 11), se deduce que ambas, especies presentaron proporciones de hojas (parte utilizable como verdura) superiores al 40%, en una época apropiada para su consumo (40 días); mientras que en la época ideal para este uso (25 días) las proporciones de hojas son de alrededor del 60%, aunque la producción de biomasa en esta edad fue baja (Cuadro 6).

La concentración de proteína en la biomasa a los 25 días del ciclo fue muy alta ($> 29\%$), en los 4 genotipos evaluados comparada con los datos encontrados en la literatura, pero la producción por hectárea fue baja, debido a la escasa producción de biomasa en esta época. Sin embargo hay que tener en cuenta que la densidad de siembra utilizada en este experimento (120000 plantas/ha), no es la recomendable para cultivar Amaranthus con fines de explotación como verdura, en este caso se podría aumentar la densidad hasta 3 o 4 veces. Los dos genotipos de A. cruentus presentaron contenidos de proteína en el grano mayores a los de los genotipos de A. caudatus pero, estos superaron a los primeros en el contenido de proteína de la planta entera, (Cuadros 5 y 6 y Figura 14) lo que sugiere que A. caudatus podría tener más potencial para ser utilizado como planta forrajera, desde el punto de vista nutritivo.

En cuanto a la producción de grano, hay que considerar no solamente los altos rendimientos (Cuadro 5 y Figura 7), sino el tiempo relativamente corto en que se alcanzan estos rendimientos (menos de 90 días).

Estas consideraciones hacen que los genotipos estudiados constituyan una opción para ser utilizados como componente de sistemas de explotación de pequeñas fincas en muchas áreas tropicales. Se podrían probar como cultivos asociados, con otros cereales o leguminosas o quizá mejor como cultivos de relevo debido al corto tiempo que tardan hasta la cosecha (25 a 40 días para verdura y menos de 90 días para grano). Por otro lado, existe la posibilidad de probarlos como cultivos de doble propósito, esto es, sembrar una densidad muy alta y, en las primeras etapas del ciclo realizar raleos para utilizar el exceso de plantas como hortaliza y dejar una densidad apropiada para llegar hasta la cosecha y utilizar el grano.

Desde el punto de vista fisiológico es importante resaltar, las altas tasas de asimilación neta que presentaron los 4 genotipos al comienzo del ciclo vegetativo (Cuadro 8), lo que es un indicador de la alta eficiencia fotosintética de las hojas jóvenes (Figuras 8 y 16). Se pudo observar que a los 25 días, a pesar de que los promedios de peso y área foliar eran bajos, las tasas de asimilación neta fueron máximas, mientras que a los 60 días se alcanzó el peso y área foliar máximos pero la eficiencia fotosintética (TAN) disminuyó; esto indica que aparentemente en los 4 genotipos las hojas perdieron su eficiencia muy rápidamente con la edad, lo que podría ser el resultado del autosombriamiento foliar.

Una alternativa para contrarrestar este fenómeno sería el raleo o cosecha sistemática de hojas a medida que la planta va creciendo, las mismas que podrían ser utilizadas como hortalizas o forraje. Esto se traduciría probablemente en una mayor eficiencia fotosintética de la planta y por lo tanto en una mayor producción de materia seca.

Los altos índices de eficiencia energética, observados para los genotipos de A. cruentus (Cuadro 10), son indicadores del potencial de adaptación de esta especie, cuyo metabolismo es C4 y que por lo tanto hace un uso muy eficiente de la radiación solar y del agua disponible en el suelo cuando ésta escasea.

4.2. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo

4.2.1. Observaciones generales del cultivo

El experimento se realizó entre el 7 de julio y 30 de septiembre de 1985. Los principales factores ambientales se registraron tanto

Cuadro 11. Distribución de la biomasa de cuatro genotipos de Amaranthus por órganos, a través del tiempo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Genotipo	Epoca Días	Raíces [*]	Hojas	Tallos	Panojas
G1 + G2	25	9,0	63,7	36,7	-
	40	15,5	46,7	52,4	0,9
	60	13,0	24,6	52,2	23,2
	75	8,0	15,3	39,0	45,7
	83	5,5	14,8	34,0	51,2
G3 + G4	25	8,5	60,0	40,0	-
	40	15,0	42,5	54,5	3,2
	60	8,5	24,0	58,4	17,6
	75	6,5	17,0	50,0	33,0
	88	5,5	12,7	44,9	42,4

* Porcentaje de la biomasa aérea.

dentro de las cámaras de crecimiento como fuera de ellas y se presentan en forma resumida en el Cuadro 2. Se observó que no hubo grandes diferencias entre la temperatura y la humedad relativa registradas en el interior de las cámaras de crecimiento y las registradas a nivel del invernadero (fuera de las cámaras). Esto indica que hay baja probabilidad de que los efectos de los tratamientos (fotoperíodos) hayan sido alterados por la interacción de otro factor ambiental.

El promedio de radiación (182 cal/cm²/día) recibido por las plantas a nivel de invernadero (fuera del horario de fotoperíodos), se puede considerar bajo, comparado con la radiación promedio que llegó fuera del invernadero (400 cal/cm²/día)*. Esto posiblemente haya originado una baja eficiencia fotosinté-

* Promedio en la estación meteorológica del CATIE.

tica y como consecuencia un crecimiento restringido, pero el efecto fue general para todas las plantas el experimento.

La dosis de días con fotoperíodo inductivo (tratamientos) fue de 30 días entre el 22 de julio y 22 de agosto, por lo que el fotoperíodo natural recibido por el cultivo antes de la aplicación de los tratamientos fue de 13h. 10' a 13 h. 05', mientras que el recibido después de los tratamientos fue de 12 h. 40' a 12 h. 25' (Figura 3). Esto significa que el experimento se realizó en una época en que los días se van acortando progresivamente.

Aunque las variables de respuesta fueron días al panojamiento, días a la floración y altura de planta al panojamiento, se evaluaron otras manifestaciones morfológicas o fisiológicas que pudieran ser también respuesta a los tratamientos de fotoperíodo. En los genotipos 26 al 30 (A. quitensis), se observaron ciertas deformaciones foliares, las hojas jóvenes tomaron forma de concha, con la parte cóncava hacia abajo, además sus inflorescencias fueron poco desarrolladas y en forma de roseta. Esto ocurrió en las plantas que recibieron 12 y 17 horas de luz. El genotipo 4 (A. hybridus) y el genotipo 31 (A. caudatus) presentaron varias hojas con doble limbo (bilobuladas), en las plantas bajo 17 h. de luz.

Los genotipos 9 (A. cruentus) y 17 (A. caudatus) presentaron pérdida de la dominancia apical en las plantas bajo 17 horas de luz. En el genotipo 11 (A. caudatus) apareció una deformación general de sus hojas y tallos, presentando una sintomatología semejante al ataque de un virus, esto se observó en las plantas bajo los 3 fotoperíodos estudiados, por lo que se cree que no fue efecto de los tratamientos.

En todos los genotipos evaluados, se observó ciertos movimientos foliares, principalmente las hojas apicales se ponían verticales, con el haz hacia adentro al comenzar el período oscuro y se volvían horizontales durante el período iluminado. Esto concuerda con lo propuesto por Satter (60), quien indicó que en soya hay relación entre los movimientos nictinásticos y la sensibilidad al fotoperíodo y, que las variedades que requieren de día corto para florecer, tienen movimientos foliares pronunciados mientras que las de día neutro presentan movimientos débiles.

4.2.2. Días al panojamiento

Esta es la variable de respuesta más importante ya que signi

fica la aparición macroscópica de la panoja (inflorescencia), es decir el signo visible de que la planta ha pasado del estado vegetativo al reproductivo. De la observación de los resultados del análisis de variancia (Cuadro 12), se notó alta significación estadística para los efectos de fotoperíodos, de genotipos y de su interacción, lo que quiere decir que los genotipos responden en forma distinta de acuerdo al fotoperíodo al que están sometidos. Las diferencias de los promedios por fotoperíodo, fueron estadísticamente significativos (Cuadro 12). Se observó que con 8 horas de luz (día corto), el panojamiento se produce en apenas 32,6 días, con 12 horas de luz (día intermedio) en 39,8 días, mientras que con 17 horas (día largo) esta característica se presenta en 53,6 días. Según esto, se podría decir que los 31 genotipos evaluados, responden en promedio en forma cuantitativa al día corto.

En cuanto a los promedios por genotipos (Cuadro 13), se detectaron 11 grupos estadísticamente diferentes, sobresalió como el más sensible al fotoperíodo el genotipo 4 (A. hybridus), mientras que el genotipo 31 (A. caudatus), fue el que menos respondió al fotoperíodo.

Estos resultados concuerdan con los encontrados en la literatura, en el sentido de que Amaranthus florece cuando los días comienzan a acortarse (69), en condiciones de día corto o intermedio (56) o sólo en condiciones de día corto (24, 34), sin embargo, de la observación de las tendencias de la respuesta de los genotipos en relación a los fotoperíodos (Figuras 20 a 27) se notó que a pesar de que todos respondieron a día corto, existieron algunos que lo hacen en forma cualitativa y otros que responden en forma cuantitativa, además, se pudo identificar por lo menos dos fotoperíodos críticos (Cuadro 14).

4.2.3. Días a la floración

Esta variable se registró para completar la evaluación de la respuesta fotoperiódica de los genotipos y para determinar si algún genotipo presentaba reversibilidad o estancamiento del proceso reproductivo, es decir, se trató de detectar si algún genotipo inició el crecimiento de la inflorescencia, y no llegó a formar flores, pero se observó que todos presentaron floración, aunque en diferentes edades e intensidades, según el tratamiento fotoperiódico. En el Cuadro 12, se encuentran los resultados del análisis de variancia, se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de fotoperíodos, de genotipos y de su interacción. Esto quiere decir que la época

Cuadro 12. Análisis estadístico para 3 variables de respuesta de 31 genotipos de Amaranthus, bajo 3 fotoperíodos y prueba de Duncan para promedios de fotoperíodos. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

F. de V. y Estadísticos	A Días al Panojamiento	B Días a la Flo ración	C Altura de Planta al Panojamiento	Correlación (R ²)
Fotoperíodos	1880,89 ^{**1/}	3708,43 ^{**}	227,27 ^{**}	
Genotipos	55,73 ^{**}	87,92 ^{**}	32,87 ^{**}	
Fotop. x Genot.	8,92 ^{**}	17,94 ^{**}	3,34 ^{**}	
$\bar{X}..$	41,99	55,57	42,18	
S (b)	2,75	2,75	7,21	
C V (b)	6,5	4,6	17,1	
A vs. C				0,99
B vs. C				0,99
\bar{X} . 8h. luz	32,6 ^{c^{2/}}	43,4 c	25,0 c	
\bar{X} . 12h. luz	39,8 b	53,3 b	39,0 b	
\bar{X} . 17h. luz	53,6 a	70,0 a	62,6 a	

1/ Valores de F, ** significativo ($P < 0,01$).

2/ Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan $P < 0,05$).

Cuadro 13. Promedios de tres variables de respuesta en 31 genotipos de Amaranthus, bajo 3 fotoperíodos. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

Días al Panojamiento			Días a la Floración			Altura de Planta al Panojamiento		
$G^{1/}$	$\bar{X}^{2/}$	Grupos	G.	\bar{X}	Grupos	G	\bar{X}	Grupos
G 31	53,7	a ^{3/}	G 30	68,0	a	G 24	64,0	a
G 12	50,7	b	G 31	67,2	a	G 12	62,0	ab
G 16*	50,2	b	G 29	63,3	b	G 16*	61,7	ab
G 24	48,9	bc	G 26	63,0	b	G 22	60,3	ab
G 09	48,2	bc	G 24	62,6	bc	G 31	60,2	ab
G 07*	47,9	bc	G 27	61,4	bcd	G 07*	58,4	ab
G 22	47,7	bc	G 09	61,2	bcd	G 01	56,6	bc
G 01	47,6	bc	G 12	61,0	bcd	G 09	56,2	bc
G 23	45,6	cd	G 22	59,9	cde	G 18	50,5	c
G 26	45,2	cd	G 16*	59,2	def	G 08	43,5	d
G 30	45,2	cd	G 23	58,6	def	G 15	41,4	d
G 11	44,2	de	G 18	58,5	def	G 28	41,4	d
G 27	44,0	de	G 28	57,9	ef	G 27	41,1	d
G 29	43,4	def	G 05	57,7	ef	G 29	40,2	de
G 18	43,4	def	G 08	57,6	ef	G 26	39,9	de
G 08	42,4	defg	G 07*	57,0	ef	G 30	39,9	de
G 28	42,0	efg	G 01	56,9	efg	G 03	39,2	e
G 05	41,2	efg	G 14	56,9	efg	G 20*	35,9	e
G 14	40,3	fgh	G 11	56,7	fg	G 02	35,6	e
G 15	39,6	gh	G 06	56,2	fg	G 17*	35,4	e
G 06	39,6	gh	G 15	54,1	gh	G 14	35,1	e
G 20*	37,8	hi	G 20*	49,4	hi	G 23	34,7	e
G 03	36,2	ij	G 10	49,0	i	G 05	34,6	e
G 19	36,1	ij	G 19	48,6	i	G 19	34,1	ef
G 21	35,8	ij	G 02	47,7	ij	G 13	32,2	efg
G 13	35,7	ij	G 03	47,5	ij	G 25	31,3	efg
G 10	35,2	ij	G 13	47,4	ij	G 10	31,1	efg
G 02	35,2	ij	G 17*	46,9	ijk	G 06	30,9	efg
G 17*	35,0	ij	G 21	45,1	jk	G 21	27,1	fg
G 25	33,4	j	G 25	44,2	kl	G 11	26,3	g
G 04	30,0	k	G 04	41,6	l	G 04	25,9	g

1/ G : Genotipos.

2/ \bar{X} : Promedio de 3 fotoperíodos y 4 repeticiones.

3/ Letras iguales expresan diferencias no significativas entre promedios ($P < 0.01$).

* Genotipos utilizados en Experimento 1: Análisis del crecimiento.

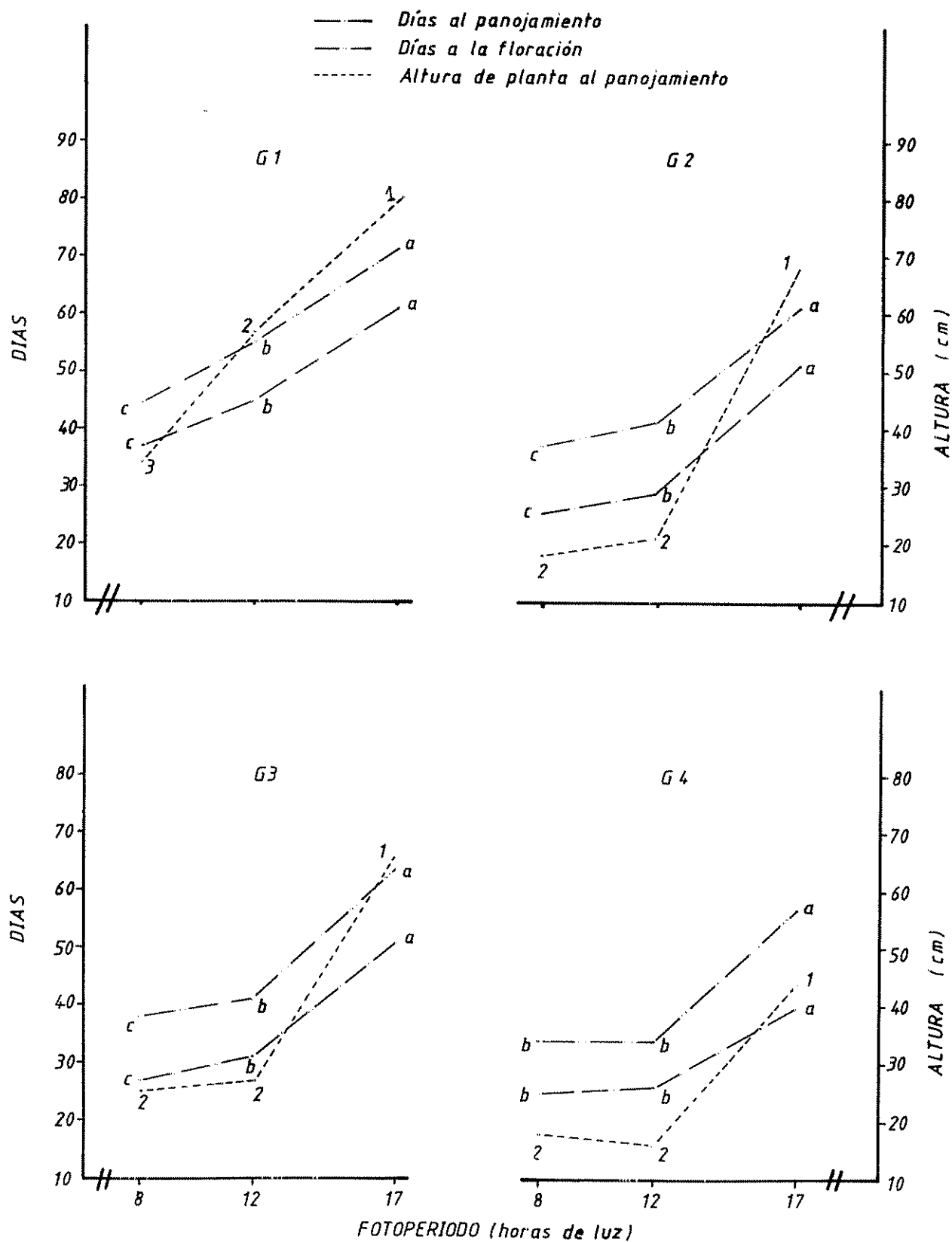


Figura 20. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G1, G2, G3 y G4) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

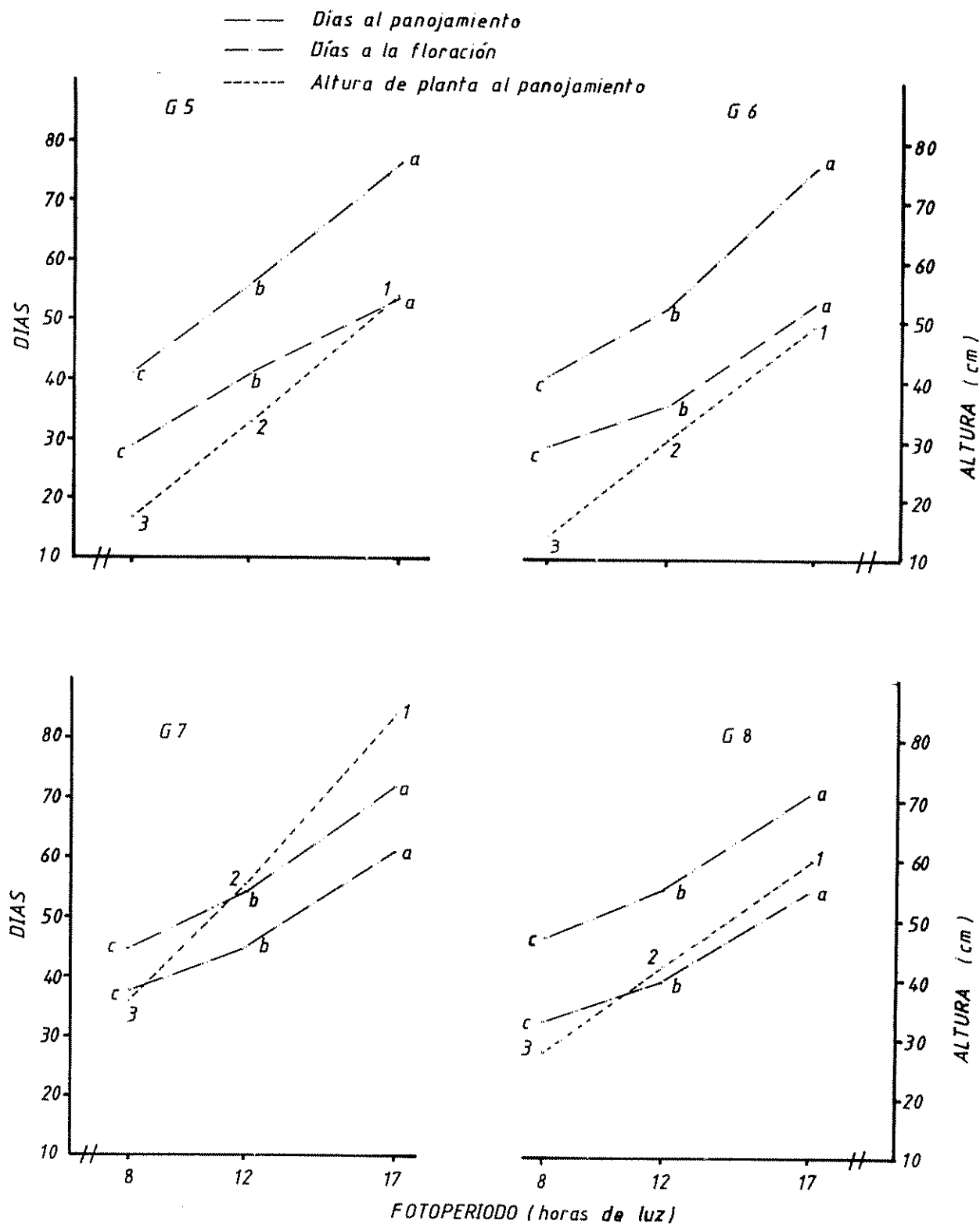


Figura 21. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G5, G6, G7 y G8) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

— Días al panojamiento
 — Días a la floración
 - - - Altura de planta al panojamiento

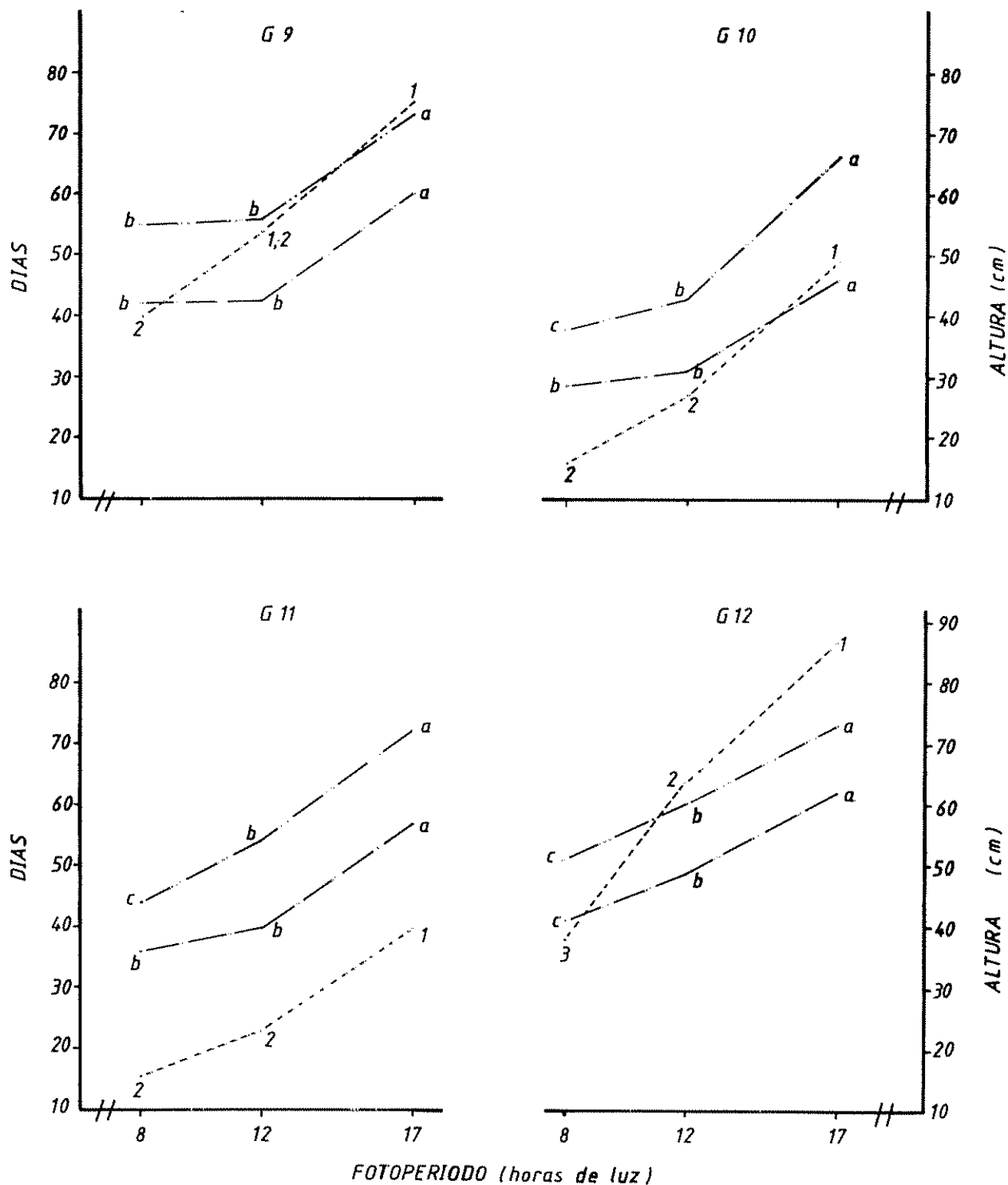


Figura 22. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G9, G10, G11 y G12) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

— Días al panojamiento
 - - - Días a la floración
 - - - Altura de planta al panojamiento

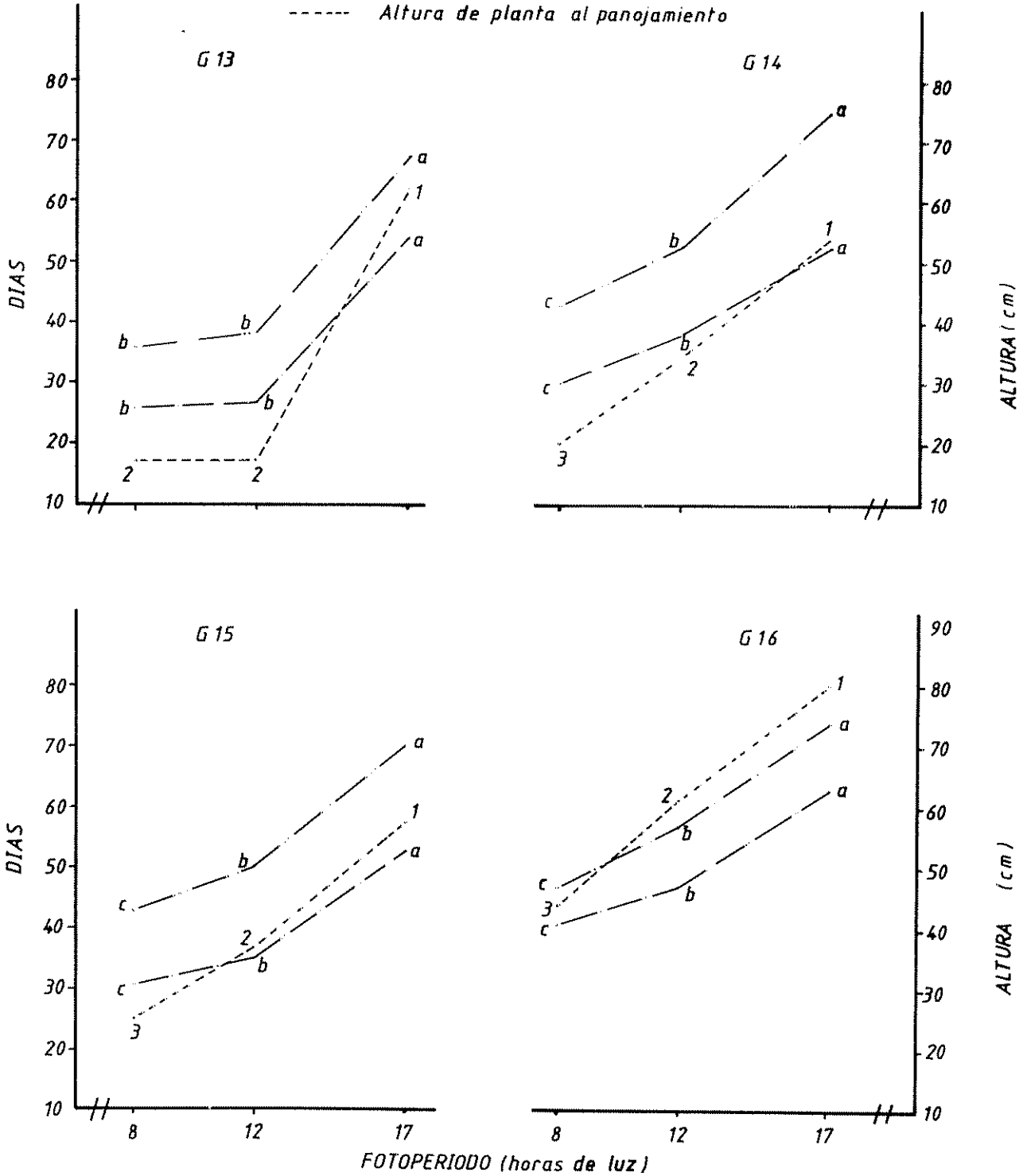


Figura 23. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G13, G14, G15 y G16) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

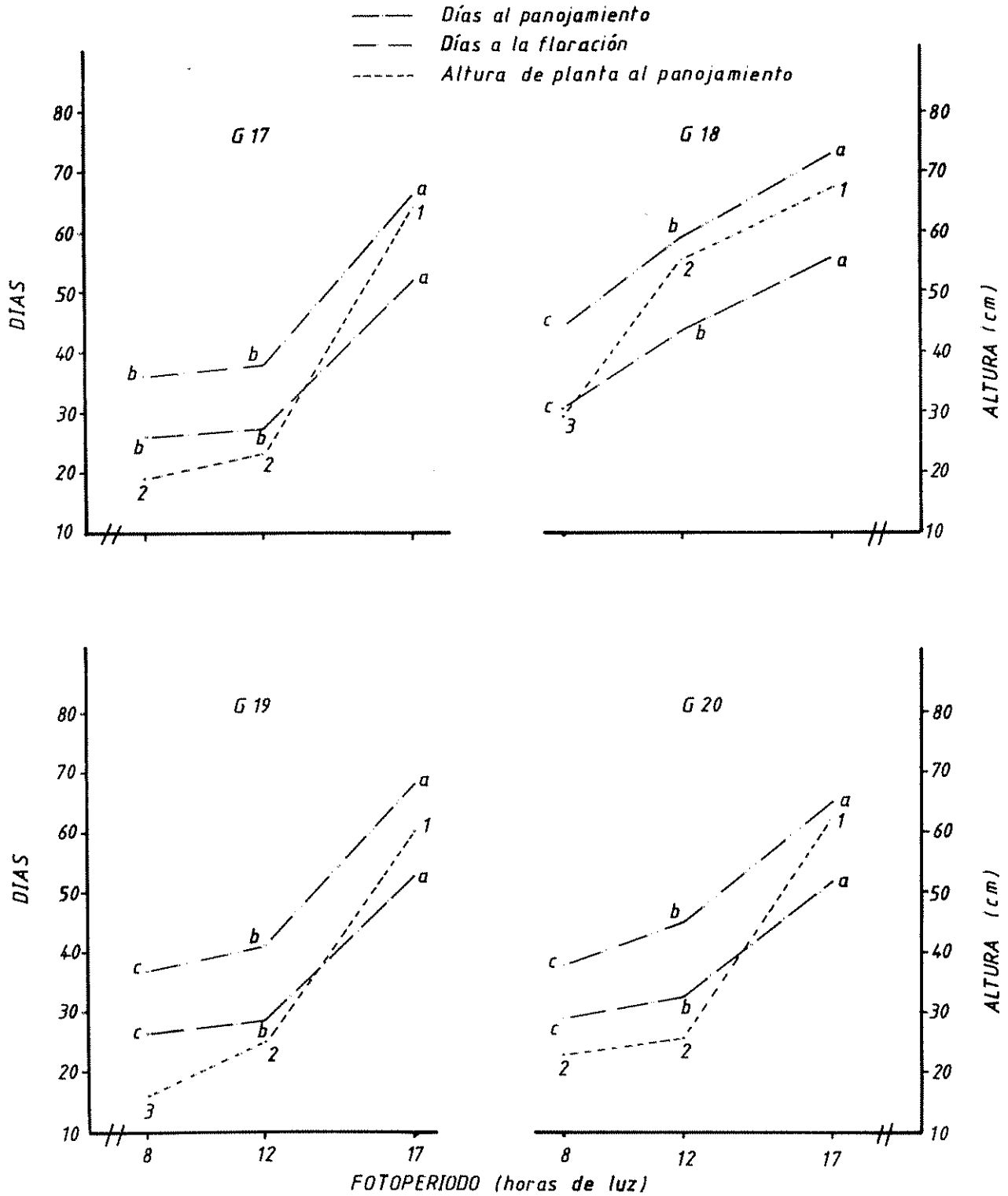


Figura 24. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G17, G18, G19 y G20) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

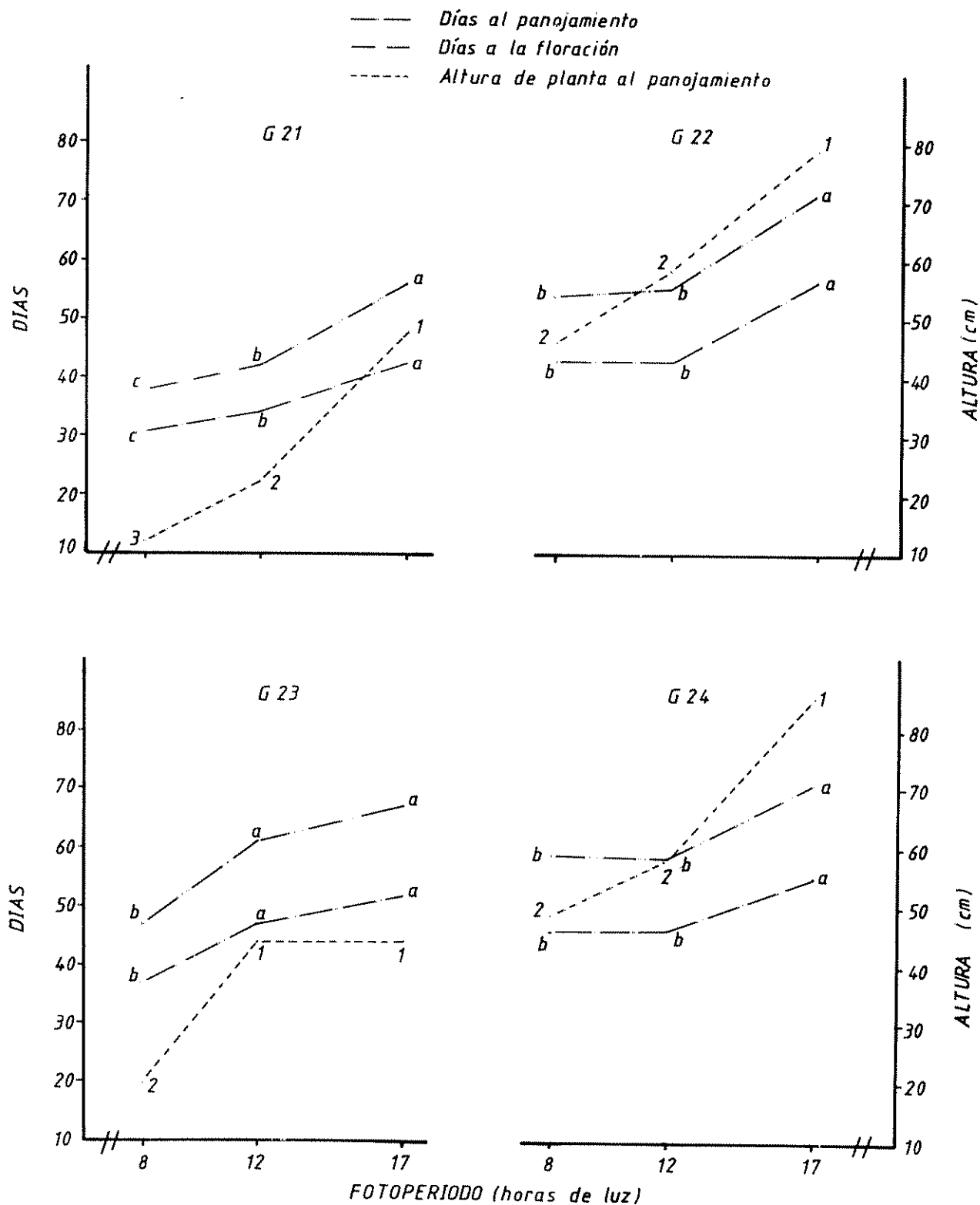


Figura 25. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G21, G22, G23 y G24) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

— Días al panojamiento
 - - - Días a la floración
 - · - · - Altura de planta al panojamiento

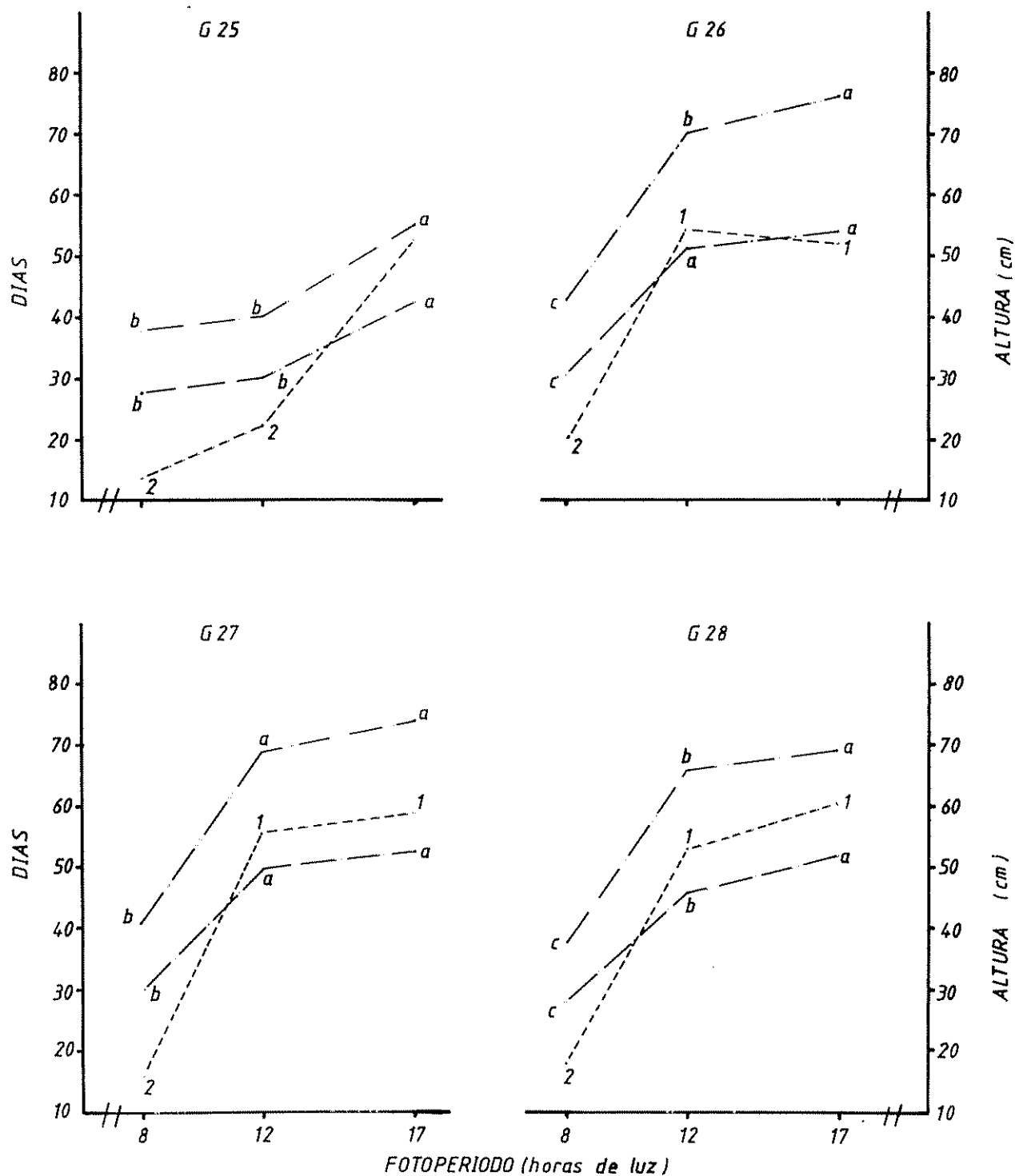


Figura 26. Respuesta de 4 genotipos de *Amaranthus* (G25, G26, G27 y G28) a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

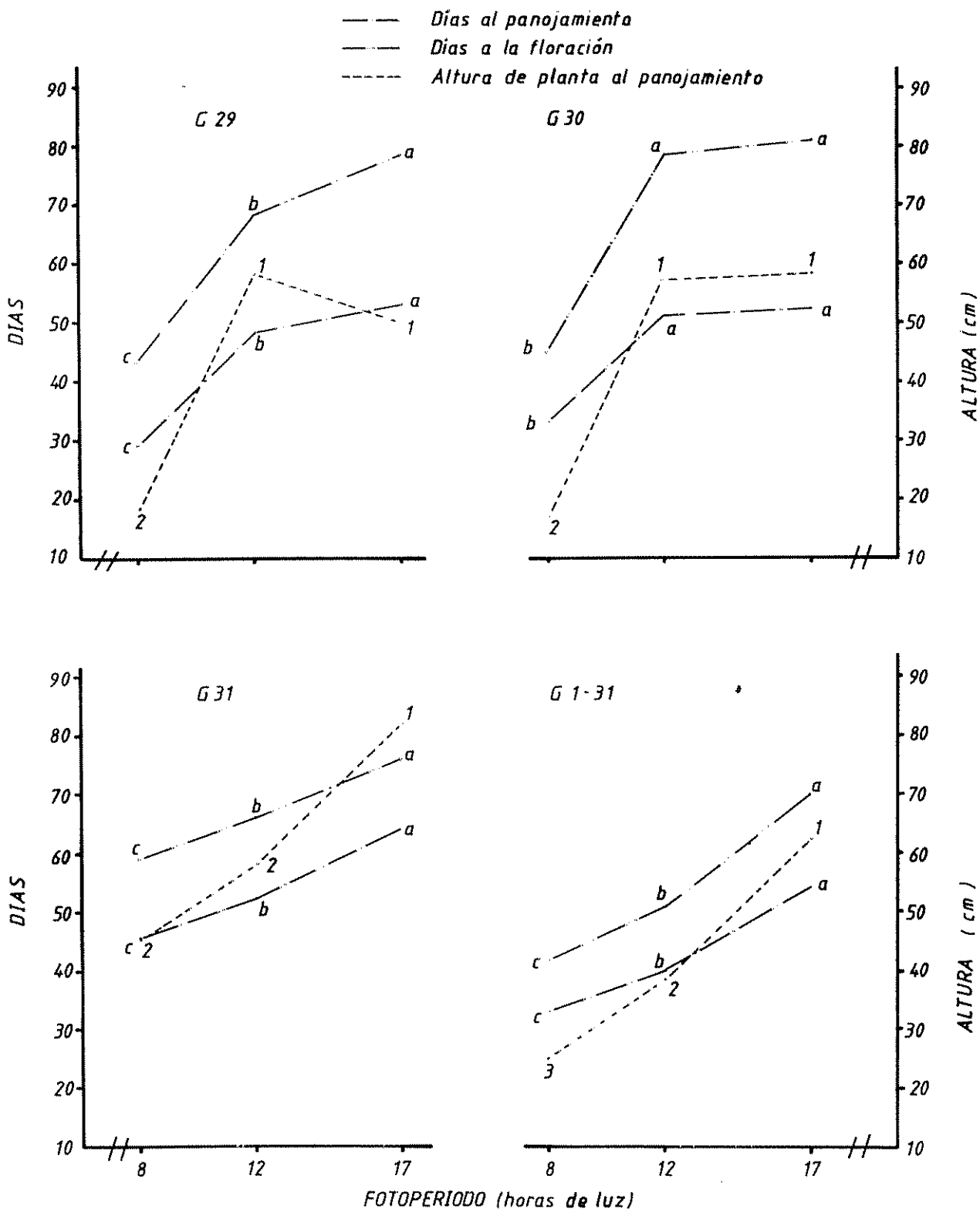


Figura 27. Respuesta de 3 genotipos de *Amaranthus* (G29, G30 y G31) y respuesta promedio de 31 genotipos (G1 a G31), a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento (DP), días a la floración (DF) y altura al panojamiento (AP). Letras o números iguales en una misma línea representan diferencias no significativas entre los promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

de floración estuvo determinada tanto por la constitución genética de los genotipos, como por la influencia del fotoperíodo y que además hubo acción complementaria o interactiva de los dos factores. Los promedios para fotoperíodos se presentan en el Cuadro 12, se observó que sus diferencias fueron estadísticamente significativas, además, se notó la misma tendencia que en el caso de la variable "días al panojamiento", esto indicó que hubo un aceleramiento en la floración con el tratamiento de 8 horas de luz, mientras que a medida que el día fue más largo la floración se atrazó significativamente esto corresponde con la observación de que los 31 genotipos evaluados, en promedio, tuvieron una respuesta cuantitativa al día corto.

En cuanto a los promedios por genotipo (Cuadro 13), se observaron 12 grupos diferentes estadísticamente, entre los que sobresalieron los genotipos 4 y 25 (A. hybridus), como los primeros en responder al fotoperíodo, mientras que los genotipos 31 (A. caudatus) y 30 (A. quitensis), fueron los que más tardamente respondieron.

4.2.4. Altura de planta al panojamiento

La evaluación de altura de planta permite determinar si la respuesta de las otras variables (panojamiento y floración), están relacionadas con el crecimiento de las plantas. En el Cuadro 12, se presentan los resultados del análisis de variancia para altura de planta. Se observaron diferencias altamente significativas para los efectos de fotoperíodos, de genotipos y de su interacción. De la observación de los promedios por fotoperíodos (Cuadro 12), se notó que sus diferencias son estadísticamente significativas, sobresalió el promedio alcanzado bajo 17 h. de luz con 62,6 cm. seguido por 39 cm bajo 12 horas de luz y en el último lugar el promedio bajo 8 h. de luz con apenas 25 cm de altura de planta. Esto significa que en día corto, la formación de panojas se produjo con alturas de planta muy pequeñas, pero a medida que se aplicaron fotoperíodos de días más largos el panojamiento se produce en plantas más altas independientemente de la edad fisiológica de las plantas.

En el Cuadro 13 se presentan los promedios por genotipos, los que estadísticamente se diferenciaron en 7 grupos sobresaliendo en el primero el genotipo 24 (A. cruentus) como el de mayor altura de planta con 64 cm. mientras que en el último grupo sobresalieron los genotipos 11 (A. caudatus) y 4 (A. hybridus) con 26,3 y 25,9 cm respectivamente.

Es importante notar que los genotipos 4 y 25 fueron los que más rápidamente respondieron al fotoperíodo y también los que presentaron la menor altura de planta, mientras que el genotipo 31 (A. caudatus) respondió tardíamente a los tratamientos de fotoperíodo y presentó la mayor altura de planta (Cuadro 13). Esto justifica la alta correlación encontrada entre las variables días al panojamiento y a la floración con altura de planta al panojamiento (Cuadro 12).

4.2.5. Clasificación de los genotipos de acuerdo a su respuesta fotoperiódica

De la observación global del comportamiento de los 31 genotipos de Amaranthus bajo la influencia de los 3 fotoperíodos (Cuadros 12 y 13 y Figuras 20 a 27), se pudieron generar 3 curvas modelos que resumen las respuestas, las que se representan gráficamente en la Figura 28. Teniendo en cuenta que una planta de día corto es aquella que florece cuando la duración del día es igual o menor que cierto número de horas de luz, (4, 44, 70) y que las respuestas pueden ser cualitativas, cuando la floración ocurre sólo en condiciones inductivas ó cuantitativas, cuando la floración ocurre en cualquier condición de fotoperíodo pero la condición inductiva estimula la floración (6, 44, 52), se puede dar una definición en términos de respuesta fotoperiódica a los tres modelos de tendencias observadas en este experimento (Figura 28); así:

Modelo A. Corresponde a genotipos con requerimiento fotoperiódico de día corto, con respuesta cualitativa cuyo fotoperíodo crítico se encontró entre 8 y 12 horas de luz.

Modelo B. Se presentó en genotipos cuyo requerimiento fotoperiódico fue el día corto, su respuesta es de tipo cualitativo y su fotoperíodo crítico se encontró entre 12 y 17 horas de luz.

Modelo C. Este comportamiento correspondió también a genotipos con requerimiento fotoperiódico de día corto, pero su respuesta fue de tipo cuantitativo bajo los tres fotoperíodos estudiados.

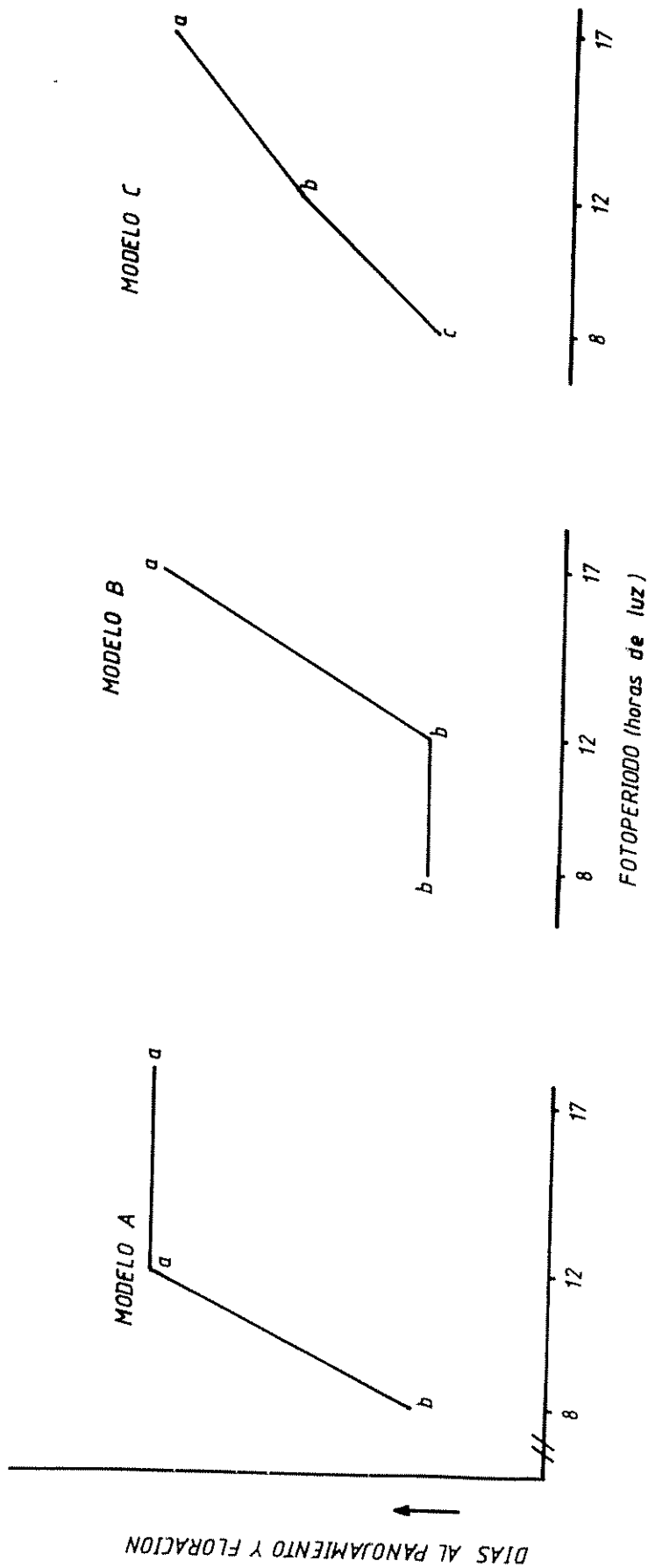


Figura 28. Tres curvas modelos que resumen las tendencias de las respuestas de 31 genotipos de *Amaranthus* a 3 fotoperíodos, en cuanto a días al panajamiento y días a la floración. Letras iguales representan diferencias no significativas entre promedios (Prueba de Duncan, $P < 0.05$). Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

De acuerdo a estas observaciones se procedió a clasificar a los 31 genotipos evaluados en este experimento (Cuadro 14). Se observó que las respuestas en días al panojamiento y floración de 3 genotipos (2 de A. quitensis y 1 de A. dubius) se ajustaron al modelo A; las respuestas de 8 genotipos (2 de A. hypochondriacus, 2 de A. cruentus, 3 de A. hybridus y 1 de A. caudatus), se ajustaron al modelo B; los de 17 genotipos (10 de A. caudatus, 4 de A. cruentus, 2 de A. quitensis y 1 de A. hybridus) se ajustaron al modelo C; mientras que las respuestas de los 3 genotipos restantes (2 de A. caudatus y 1 de A. quitensis), no fueron consistentes es decir que la respuesta en días al panojamiento se ajustó a un modelo y la respuesta en días a la floración a otro.

Cuadro 14. Resumen de la respuesta de 31 genotipos de *Amaranthus* a 3 fotoperíodos, en días al panojamiento y días a la floración. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

Genotipo	Especie	Días Panojamiento			Días Floración		
		A*	B*	C*	A	B	C
G 01	<u>A. cruentus</u>			XX			XX
G 02	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 03	<u>A. hypochondriacus</u>		XX			XX	
G 04	<u>A. hybridus</u>		XX			XX	
G 05	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 06	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 07**	<u>A. cruentus</u>			XX			XX
G 08	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 09	<u>A. cruentus</u>		XX			XX	
G 10	<u>A. caudatus</u>		XX				XX
G 11	<u>A. caudatus</u>		XX				XX
G 12	<u>A. cruentus</u>			XX			XX
G 13	<u>A. hypochondriacus</u>		XX			XX	
G 14	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 15	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 16**	<u>A. cruentus</u>			XX			XX
G 17**	<u>A. caudatus</u>		XX			XX	
G 18	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 19	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 20**	<u>A. caudatus</u>			XX			XX
G 21	<u>A. hybridus</u>			XX			XX
G 22	<u>A. hybridus</u>		XX			XX	
G 23	<u>A. dubius</u>	XX			XX		
G 24	<u>A. cruentus</u>		XX			XX	
G 25	<u>A. hybridus</u>		XX			XX	
G 26	<u>A. quitensis</u>	XX					XX
G 27	<u>A. quitensis</u>	XX			XX		
G 28	<u>A. quitensis</u>			XX			XX
G 29	<u>A. quitensis</u>			XX			XX
G 30	<u>A. quitensis</u>	XX			XX		
G 31	<u>A. caudatus</u>			XX			XX

* A y B = respuesta cualitativa a días cortos con fotoperíodo crítico entre 8 a 12 horas y 12 a 17 horas respectivamente. C = respuesta cuantitativa a días cortos (ver Figura 28).

** Genotipos utilizados en el Experimento 1: Análisis del crecimiento.

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos de los dos experimentos y bajo condiciones ambientales y material genético que fue utilizado, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Experimento 1: Análisis del crecimiento

- 1.1. La tasa de producción de biomasa por metro cuadrado y por día es máxima entre los 40 y 60 días para los genotipos de A. cruentus y entre los 75 días y la cosecha para los de A. caudatus.
- 1.2. Los cuatro genotipos presentan la mayor tasa de crecimiento relativo durante los primeros 25 días y la mayor tasa de asimilación neta durante los primeros 40 días del ciclo.
- 1.3. Los cuatro genotipos presentan el panojamiento entre los 30 y 45 días desde la siembra y la floración entre los 45 y 52 días.
- 1.4. En los cuatro genotipos, la etapa crítica entre crecimiento vegetativo (inversión de productos de la fotosíntesis en hojas, tallos y raíces) y crecimiento reproductivo (inversión de productos de la fotosíntesis en panoja y granos), se encuentra entre los 40 y 50 días.
- 1.5. Los dos genotipos de A. cruentus son más eficientes en transformar la energía solar en energía química (biomasa), destinan un mayor porcentaje de su biomasa a el llenado de los granos, presentan un mayor potencial de producción de materia seca y grano y son más precoces que los de A. caudatus, por lo que se pueden considerar como los más promisorios para zonas con climas semejantes a los de Turrialba.
- 1.6. El diámetro de tallo a los 25 días, parece ser un buen parámetro para predecir el potencial de rendimiento, en los 4 genotipos evaluados.
- 1.7. La eficiencia fotosintética y por ende la producción de biomasa final depende tanto del área foliar por planta como del área foliar específica (grosor de las hojas).

2. Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo

- 2.1. Los 31 genotipos evaluados (6 especies), responden a los tratamientos de fotoperíodo, es decir son especies fotoperiódicamente sensitivas.
- 2.2. Hay alta correlación entre la respuesta al fotoperíodo en cuanto a días al panojamiento, y días a la floración y el crecimiento de la planta.
- 2.3. Se han indentificado 3 modelos de respuesta al fotoperíodo para las 6 especies evaluadas: A. Plantas con respuesta cuantitativa a Día Corto y cuyo fotoperíodo crítico está entre 8 y 12 h de luz, B. Plantas con respuesta cualitativa a Día Corto y cuyo fotoperíodo crítico está entre 12 y 17 h de luz, y C. Plantas con respuesta cuantitativa a Día Corto.
- 2.4. Los genotipos de A. caudatus presentan la mayor variabilidad en cuanto al tipo de respuesta fotoperiódica, seguido por los de A. cruentus y A. quitensis.

6. RECOMENDACIONES

1. Realizar investigación enfocada a identificar los componentes del rendimiento y a encontrar técnicas de manejo del cultivo en los genotipos de A. cruentus, que son los que mejor potencial de adaptación y rendimiento presentaron.
2. Evaluar y seleccionar germoplasma de Amaranthus, con tolerancia a enfermedades, especialmente a las producidas por hongos del suelo (Damping off).
3. En lo posible no hacer coincidir la cosecha con un período lluvioso para evitar los problemas de trilla y secado de grano.
4. Debido a las dificultades que se presentan al manejar las diminutas semillas de Amaranthus, al momento de la siembra, convendría estudiar sistemas que aglutinen varias semillas, como el aperdigonado, facilitando el uso de sembradores o la siembra manual.
5. Al realizar el traslado o intercambio de germoplasma, tener en cuenta que Amaranthus es un cultivo fotoperiódicamente sensible y que son plantas de día corto cuya respuesta es del tipo cualitativo o cuantitativo.
6. No sembrar Amaranthus (los genotipos evaluados en esta investigación), en la época de acortamiento del fotoperíodo, para evitar que las plantas florezcan antes de tener un desarrollo vegetativo suficiente para producir una cosecha normal.
7. Realizar investigación tendiente a encontrar formas de preparar y consumir el follaje como hortaliza y el grano como cereal, en armonía con las costumbres alimenticias locales para poder insentivar al consumidor y crear mercado.

7. LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P. DE T. Energía solar y producción agrícola. *Agronomía (Perú)* 29(2):115-126. 1962.
2. ARZE B., J. Factores que afectan a la producción agrícola. *In* Curso de Cultivos Andinos. Programa Andes Altos IICA. La Paz. 1977. pp. B1-B26. (Serie Informes de Conferencias, Cursos y Reuniones no. 17).
3. _____. Condiciones de radiación solar y otros factores microclimáticos dentro de un cultivo de maíz (*Zea mays*) a diferentes densidades y orientaciones de surcos. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 111 p.
4. BARCELO COLL, J., RODRIGO, G. N., GARCIA, B. S. y SANCHEZ, R. T. Fisiología Vegetal. Madrid, Pirámide, 1980. pp. 411-423 y 575-619.
5. BENIN, P., OCHOA, M. J. y ZARAGOZA, C. Contribución al estudio de la germinación en algunas especies de *Amaranthus* encontradas en la provincia de Zaragoza: Influencia de la temperatura y el fotoperíodo en la germinación. *Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (España)* N° 16:82-89. 1981.
6. BERNIER, G., KINET, J. M. y SACHS, R. M. The physiology of flowering. Florida, CRC, 1981. v. 2, 231 p.
7. BRESSANI, R. Calidad proteínica de la semilla de amaranto, cruda y procesada. *El amaranto y su potencial (Guatemala)* N° 3:1-3. 1983.
8. _____. y GONZALEZ, J. M. Uso potencial del residuo de la materia seca vegetativa del amaranto en la alimentación de rumiantes: Estudios preliminares. *El Amaranto y su potencial (Guatemala)* N° 4:3-4. 1984.
9. _____. GONZALEZ, J. M. y ELIAS, L. G. Estudio comparativo del comportamiento agronómico de catorce variedades de Amaranto de grano y su contenido proteico. *In* Reunión Anual del Programa Cooperativo para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, 30a., Managua, Nicaragua, 1984. Resúmenes. Managua, Nicaragua, Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria, 1984. p. 132.
10. BUCK, W. B. *et al.* Perirenal edema in swine: A disease caused by common weeds. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 148(12): 1525-1531. 1966.
11. CAMPBELL, T. A. y ABBOTT, J. A. Field evaluation of vegetable amaranth, *Amaranthus* spp. *HortScience* 17(3):407-409. 1982.
12. CONNOR, J. K., GARTNER, R. J. W., RUNGE, B. M. y AMOS, R. N. *Amaranthus edulis*: an ancient food source re-examined. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 20(103):156-161. 1980.

13. COVAS, G. Los géneros de Amarantaceas Argentinas. *Revista Argentina de Agronomía* 6(4):282-303. 1939.
14. CHEEKE, P. R., CARLSSON, R. y KOHLER, G. O. Nutritive value of leaf protein concentrates prepared from Amaranthus species. *Canadian Journal of Animal Science* 61(1):199-204. 1981.
15. CHI HUANG, P. A study of the taxonomy of edible Amaranth: An investigation of amaranth both of botanical and horticultural characteristics. In Amaranth Conference, 2do, Proceedings. Emaus, Pensilvania, Rodale Press Inc., 1979. pp. 123-128.
16. DEUTSCH, J. A. Genetic variation of yield and nutritional value in several Amaranthus species used as a leafy vegetable. *Dissertation Abstracts International B* 38(9):3969B. 1978.
17. EDWARDS, A. D. y VOLAK, B. Grain Amaranth: Optimization of field population density. In Amaranth Conference, 2da, Proceedings. Rodale Press Inc. 1979. pp. 91-94.
18. EL-SHARKAWY, M. K., LOOMIS, R. S. y WILLIAMS, W. A. Photosintetic and respiratory exchanges of carbon dioxide by leaves of the grain amaranth. *Journal of Applied Ecology* 5:243-251. 1968.
19. EVANS, G. C. The quantitative analysis of plant growth. Los Angeles, University of California Press, 1972. 734 p.
20. FARGAS, J. Conceptos básicos sobre análisis del crecimiento de las plantas. In Curso Investigación y Desarrollo de Tecnología para Sistemas de Producción, Turrialba, Costa Rica, 1984. [Trabajos presentados]. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1984. 11 p.
21. FAWUSI, M. O. A., ORMROD, D. P. y EASTHAM, A. M. Effects of levels of photosynthetically active radiation on the growth of Amaranthus hybridus and Celosia argentina. *Journal of Horticultural Science* 58(4):555-5559. 1983.
22. _____, ORMROD, D. P. y EASTHAM, A. M. Influence of temperature on growth of Solanum nigrum and Amaranthus hybridus. *Scientia Horticulturae* 18(4):305-311. 1982.
23. FRANCIS, C. A. Natural day lengths for photoperiod sensitive plants. Cali, Colombia, CIAT, 1972. 32 p. (Technical Bulletin N° 2).
24. FULLER, H. J. Photoperiodic responses of Ch. quinoa willd and A. caudatus L. *American Journal of Botany* 36:175-180. 1949.
25. GALSTON, A. W. y DAVIS, P. J. Control mechanisms in plant development. New Jersey, Foundations of Development Biology Series, 1970. pp. 2-37.
26. GIFFORD, R. M. A comparison of potential photosynthesis productivity and yield of plant species with different photosynthetic metabolism. *Australian Journal of Plant Physiology* 1(1):107-117. 1974.

27. GRUBBEN, G. J. H. y SLOTEN, D. H. VAN. Genetic resources of Amaranthus. A global plan of action. Rome, International Board for Plant Genetic Resources, 1981. 57 p.
28. GUPTA, V. K., KERMALI, I. y NGUGI, D. N. El amaranto, un nuevo cultivo para Kenia. El Amaranto y su Potencial (Guatemala) N° 2:3-4. 1984.
29. HAUPTLI, H. y JAIN, S. K. Genetic polymorphisms and yield components in a population of amaranth. The Journal of Heredity 71(4):290-292. 1980.
30. _____. y JAIN, S. K. Genetic structure of landrace populations of the new world grain Amaranthus. University of California. Department of Agronomy and Range Science, 1984. 26 p.
31. ECUADOR. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Evaluación preliminar de 11 líneas de Amaranthus spp. Quito, Estación Experimental Santa Catalina, 1983. s.p. (sin publicar).
32. ITURBIDE, A. G. y GOMEZ, F. L. Fertilización y densidad de población en amaranto, Amaranthus hypochondriacus. Chapingo, México (Nueva Epoca) Nos. 29-30:20-27. 1981.
33. KADER, M. M. et al. Evaluation of grain amaranth types at Coimbatore. South Indian Horticulture 2:11-14. 1982.
34. KADMAN, Z. A. y EPHRAT, E. Opposite response groups of short-day plants to the spectral composition of the main light period and to end-of-day red or far-red irradiations. Plant and Cell Physiology 15:693-695. 1974.
35. KAUFFMAN, C. S. et al. Amaranth grain production guide. New Crops Department, Rodale Research Center, Emaus, Pensilvania, Rodale Press Inc., 1984. pp. 3-6.
36. _____. Grain amaranth varietal improvement breeding program. Organic and Farming Research Center, Emaus, Rodale Press Inc., 1983. 5 p.
37. _____. y HAAS, P. W. Grain amaranth an overview of research and production methods. Rodale Research Center, Emaus, P.A. 1983. 13 p.
38. KENDRICK, R. E. y FRANKLAND, B. The in vivo properties of Amaranthus phytocromo. Planta 86(1):21-32. 1969.
39. KOHLI, R. K., SAWHNEY, N. y SAWHNEY, S. Photoinduced changes in proteins associated with floral induction in Amaranthus. Plant and Cell Physiology 21(8):1483-1498. 1980.
40. KOLLER, D., KIGEL, J. y OVADIA, S. The facultative photoperiodic response in the reproductive development of A. retroflexus L.: changes in the dose response during ontogeny. Planta 137:133-138. 1977.

41. LESTER, J. N. y GOLDSWOTHY, A. The occurrence of high CO₂ compensation points in Amaranthus species. *Journal of Experimental Botany* 24(83): 1031-1034. 1973.
42. LLOYD, J. L. The genus Amaranthus as a grain crop. *Weeds Today* 15(1): 1-2. 1984.
43. MAKUS, D. J. Evaluation of amaranth as a potential greens crop on the mid-south. *HortScience* 19(6):881-883. 1984.
44. MASTALERZ, J. W. *The greenhouse environment*. New York, John Wiley and Sons, 1977. pp. 223-235.
45. MEDINA, D. E. K. Estudio sobre densidades de siembra y fertilización con nitrógeno y fósforo en el cultivo de Amarantho (Amaranthus hypochondriacus L.). Tesis Mag. Sc. México, Colegio de Posgraduados, 1982. 164 p.
46. MELVIN, P. G. Photoperiodic compartments for undergraduate horticulture exercises. *HortScience* 14(1):73-74. 1979.
47. MOHIDEEN, M. K. y MUTHUKRISHNAN, C. R. Studies on correlations multiple regression and path analysis as related to yields of analysis of vegetable amaranth (Amaranthus tricolor L.). In *Amaranth Conference*, 2a. Proceedings. Pensilvania, Rodale Press Inc., 1979. pp. 74-78.
48. MUGERWA, J. S. y BWABYE, R. Yield composition and in-vitro digestibility of Amaranthus hybridus sub. incurvatus. *Tropical Grasslands* 8(1): 49-53. 1974.
49. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. *Amaranth, modern prospects for an ancient crop*. Washington, D. C., 1984. 80 p.
50. _____. *Undexploited tropical plants with promising economic value*. Washington, D. C., 1975. pp. 14-19.
51. NAUTIYAL, B. P. y PUROHIT, A. N. Morpho-physiology of C₃, C₄ and CAM species at different altitudes. *Indian Journal of Plant Physiology* 23(2):220-230. 1980.
52. NOGGLE, G. R. y FRITZ, G. J. *Introductory Plant Physiology*. 2 ed. New Jersey, Hall, 1983. pp. 515-566, 570-600.
53. OLUFOLAKE, A. O. y TAYO, T. O. Growth, development and mineral contents of three cultivars of amaranth. *Scientia Horticulturae* 13(2):181-189. 1980.
54. PAL, M. Evolution and improvement of cultivated Amaranthus I. Breeding system and inflorescence structure. *Proceedings of the Indian National Science Academy* 38B (1-2):28-36. 1973.
55. PANDEY, R. M. Genetic associations in Amaranthus. *The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 41(1):78-83. 1981.

56. PUROHIT, A. N. y TREGUNA, E. B. Carbon dióxide compensation and its association with the photoperiodic response of plants. *Canadian Journal of Botany* 53(5):1146-1148. 1974.
57. RADFORD, P. J. Growth analysis formulae their use and abuse. *Crop Science* 7(3):171-175. 1967.
58. RAMAMURTHY NAIDU, K. y U.S.R. DAS. Leaf anatomy in relation to photosynthetic characteres of C₃ and C₄ plants of Amaranthaceae. *Indian Journal of Plant Physiology* 24(4):335-344. 1981.
59. RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. *In* Steward, F. C., ed. *Plant physiology*. New York, Academic Press, 1969. v. 5A, pp. 3-75.
60. SATTER, R. L. Leaf movements and tendril curling. *In* Haupt, W. y M. E. Feinleib, eds. *Physiology of movements*. New York, Encyclopedia of Plant Physiology, 1979. v. 7, pp. 442-484. (New Series).
61. SAWER, J. D. The grain Amaranths and their relatives: A revised taxonomic and geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 54(2):103-137. 1967.
62. SAWNHEY, S., KOHLT, R. R. y SAWNHEY, N. Photoperiodic studies on Amaranthus. *Indian Journal of Plant Physiology* 23(2):103-111. 1980.
63. SCHMIDT, D. R. Comparative yields and compositions of eight tropical leafy vegetables growth at two soil fertility levels. *Agronomy Journal* 63(3):546-550. 1971.
64. SENFT, J. P. Protein quality of amaranth grain. *In* Amaranth Conference, 2a. Proceedings. Emaus, Pensilvania, Rodale Press Inc., 1979. pp. 43-47.
65. SHETTY, S. V. R., SIVAKUMAR, M. V. K. y RAM, S. A. Effect of shading on the growth of some common weeds of the semi-arid tropics. *Agronomic Journal* 74(6):1023-1032. 1982.
66. SUMAR K., L. Amaranthus caudatus: el pequeño gigante. *In* Congreso Internacional de Cultivos Andinos, 3er., La Paz, Bolivia, 1983. Memorias. pp. 311-313.
67. TAYLOR, O. A., FETUGA, B. L. y OYENUGA, V. A. Acumulation of mineral elements in five tropical leafy vegetables as influenced by nitrogen fertilization and age. *Scientia Horticulturae* 18(4):313-322. 1983.
68. _____., JEPSEN, N. M. y CHRISTELLER, J. T. Plants under climatic stress. III. Low temperature high light effects on photosynthetic products. *Plant Physiology* 49(5):798-802. 1972.
69. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Vegetables for the hot humid propics: Part 6, Amaranth and Celosia, Amaranthus adn Celosia. New Orleans, Agriculture Research, Science and Education Administration, 1979. 23 p.

70. VEEN VAR DER, R. y MEIJER, G. Light and plants growth. Netherlands, Philips Technical Library, 1959. pp. 41-65.
71. VIETMEYER, N. Nueva gloria del amaranto. Ceres 15(5):43-46. 1982.
72. WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy 4:101-145. 1952.
73. WATT, B. K. y MERRILL, A. L. Composition of food: raw, processed, prepared. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook no. 8. 1963. p. 6.
74. WILLIAMS, R. F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. Annals of Botany N. S. 10(37):41-72. 1946.
75. WU LEUNG, W. T. y FLORES, M. Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Guatemala, INCAP-IONND, 1961. 12 p.
76. ZABKA, G. G. Photoperiodism in Amaranthus caudatus. I. A re-examination of the photoperiodic response. American Journal of Botany 48(1): 21-28. 1961.

APENDICE

Cuadro 1A. Identificación del material experimental utilizado en el Experimento 1: Análisis del crecimiento y en el Experimento 2: Respuesta al fotoperíodo.

GENOTIPO	NUMERO CATIE	IDENTIFICACION SITIO DE ORIGEN	PAIS DE ORIGEN	ESPECIE *
G 01	17144	84 - W - 1011	México	<u>A. cruentus</u>
G 02	16190	Ecu - 00 - 0120	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 03	17143	84 - S - 1023	México	<u>A. hypochondriacus</u>
G 04	17147	82 - S - 1004	Pakistán	<u>A. hybridus</u>
G 05	16076	Ecu - 10 - 0006	Ecuador	<u>A. caudatus</u>
G 06	17149	Ecu - 17 - 0040	Ecuador	<u>A. caudatus</u>
G 07 **	16081 (B)	Ecu - 00 - 0011 (B)	México (?)	<u>A. cruentus</u>
G 08	16184	Ecu - 00 - 0114	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 09	17146	82 - S - 1034	Benin	<u>A. cruentus</u>
G 10	16185	Ecu - 00 - 0115	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 11	16091	Ecu - 00 - 0021	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 12	17142	83 - S - K - 112	USA	<u>A. cruentus</u>
G 13	17145	83 - S - SP - 130	México	<u>A. hypochondriacus</u>
G 14	16117	Ecu - 04 - 0047	Ecuador	<u>A. caudatus</u>
G 15	16082	Ecu - 00 - 0012	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 16 **	16081 (R)	Ecu - 00 - 0011 (R)	México (?)	<u>A. cruentus</u>
G 17 **	16183	Ecu - 00 - 0113	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 18	16187	Ecu - 00 - 0117	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 19	16186	Ecu - 00 - 0116	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 20 **	16084	Ecu - 00 - 0014	Perú	<u>A. caudatus</u>
G 21	16380	870 - RF - FAO - ARL	Guatemala	<u>A. hybridus</u>
G 22	16341	637 - RF - FAO - ARL	Guatemala	<u>A. hybridus</u>
G 23	16335	436 - RF - FAO - ARL	Guatemala	<u>A. dubius</u>
G 24	16348	747 - RF - FAO - ARL	Guatemala	<u>A. cruentus</u>
G 25	16358	856 - RF - FAO - ARL	Guatemala	<u>A. hybridus</u>
G 26	16150	Ecu - 01 - 0080	Ecuador	<u>A. quitensis</u>
G 27	16071	Ecu - 03 - 0001	Ecuador	<u>A. quitensis</u>
G 28	16114	Ecu - 04 - 0044	Ecuador	<u>A. quitensis</u>
G 29	16080	Ecu - 10 - 0010	Ecuador	<u>A. quitensis</u>
G 30	16193	Ecu - 11 - 0123	Ecuador	<u>A. quitensis</u>
G 31	17167	Turrialba 1	Costa Rica	<u>A. caudatus</u>

* Identificador: Dr. Luis Poveda, Museo Nacional de Costa Rica

** Material utilizado en el experimento 1: Análisis del crecimiento.
G07 = G1, G16 = G2, G17 = G4 y G20 = G3.

Cuadro 2A. Algunos parámetros o índices, utilizados en la evaluación del crecimiento de 4 genotipos de Ananthurus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Indice o Parámetro	Fórmula de Cálculo	Componentes	Unidad	Fuente
Tasa Absoluta de Crecimiento	$TC = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$	W = Peso seco t = tiempo	g/t	(20, 25, 72)
Tasa Relativa de Crecimiento	$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$	lnW = logaritmo natural de peso seco	g/g/t	(57, 59, 74)
Tasa de Asimilación Neta	$TAN = \frac{W_2 - W_1}{A_2 - A_1} \times \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$	A = Area foliar	$\frac{g}{dm^2/t}$	(24, 57, 74)
Tasa de Crecimiento Relativa Foliar	$TCRF = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{t_2 - t_1}$		$\frac{dm^2}{dm^2/t}$	(19, 20)
Indice Area Foliar	$IAF = \frac{A}{S}$	A = Area Foliar S = Area de Suelo por planta	$\frac{dm^2}{dm^2}$	(20, 57)
Razón Peso Foliar	$RPF = \frac{PSF}{PST}$	PSF = Peso seco foliar PST = peso seco total	%	(1, 19)
Razón Peso de Tallo	$RPTa = \frac{PSTa}{PST}$	PSTa = Peso seco de tallos	%	(19, 20)
Razón Peso Radical	$RPR = \frac{PSR}{PST}$	PSR = Peso seco radical	%	(1, 20)
Area Foliar Especifica	$AFE = \frac{A}{F}$		$\frac{dm^2}{g}$	(20, 57)
Tasa de Producción de Materia Seca	$TPSM = \frac{W_2 - W_1}{(t_2 - t_1) AS}$		$\frac{g}{m^2/t}$	(2, 19)
Indice de cosecha	$K = \frac{PSC}{PST}$	PSC = Peso seco comercial	%	(2, 20)
Eficiencia energética	$EE = \frac{EB}{ESFA}$	EB = Energía en la biomasa total ESFA = Energía solar fotosintéticamente activa por ciclo	%	(3, 19)

Cuadro 3A. Análisis de variancia y valores estadísticos para algunas características biológicas de cuatro genotipos de *Amaranthus*, en cinco épocas de muestreo. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Características	Fuentes de variación			Estadísticas		
	Genotipos	Muestreos	GxM ^{1/}	\bar{X}	S	C V
A P ^{2/}	0,8	664,2 **	0,9	161,4	12,60	7,8
D T	6,9 **	237,8 **	0,9	13,7	0,95	6,9
B F To	8,1 **	202,8 **	2,0 *	46,5	7,35	15,8
P S H	37,5 **	182,0 **	4,0 **	10,9	1,58	14,5
P S Ta	2,5	115,8 **	1,1	24,9	5,77	23,4
L P a	3,6 *	34,4 **	0,6	54,4	5,50	10,1
P S Pa	39,3 **	104,8 **	3,7*	33,8	6,43	19,0
B S To	29,7 **	288,1 **	5,1 **	6,7	1,08	16,1
P S R	18,8 **	119,3 **	2,9 **	4,2	0,82	19,6
A F	16,7 **	229,0 **	2,9 **	20,8	2,51	12,1
N P E	6,8 **	209,8 **	0,9	3,1	0,29	9,4
P P E	6,8 **	209,7 **	0,9	18,2	1,71	9,4
P T P	5,2 **	155,5 **	1,5	894,4	170,90	19,1
A F E	7,6 **	66,5 **	0,3	2,3	0,33	14,3
R P F	6,2 **	734,5 **	1,4	32,0	3,00	8,1
R P Ta	13,5 **	38,4 **	1,5	46,2	4,39	9,5

^{1/} Valores de F, *Significativo ($P < 0,05$), **Significativo ($P < 0,01$).

^{2/} AP : Altura de planta (cm)
DT : Diámetro de tallo (mm)
BFTo: Biomasa aérea fresca total (tm/ha)
PSH : Peso seco de hojas (g/planta)
PSTa: Peso seco de tallos (g/planta)
LPa : Largo de panoja (cm)
PSPa: Peso seco de panoja (g/planta)
BSTo: Biomasa aérea seca total (tm/ha)
PSR : Peso seco de raíz (g/planta)
AF : Area foliar (dm²/planta)
NPE : Nitrógeno en planta entera (%)
PPE : Proteína en planta entera (%)
PTP : Producción total, de proteína (kg/ha)
AFE : Area foliar específica (dm²/g de hoja)
RPF : Razón peso foliar (%)
RPTa: Razón peso de tallos (%)

Cuadro 4 A. Análisis de variancia y valores estadísticos para algunas características biológicas en cuatro genotipos de Amaranthus. Experimento 1: Análisis del crecimiento.

Características	Genotipos (Valores de F)	\bar{X}	S	C V
DP ^{1/}	194,59 **	37,83	0,68	1,8
DF	46,39 **	48,75	0,79	1,6
DC	337,21 **	85,67	0,29	0,3
RG1	143,33 **	2688,00	282,27	10,5
RG2	17,79 **	3779,00	687,20	18,2
PG	1,96	17,32	2,36	13,6
K	8,27 *	0,29	0,05	18,7
EE	23,07 **	1,76	0,13	7,5

1/ DP : Días al panojamiento

DF : Días a la floración

DC : Días a la cosecha

RG1 : Rendimiento de grano a los 75 días (kg/ha)

RG2 : Rendimiento de grano a la cosecha (kg/ha)

PG : Concentración de proteína en el grano (%)

K : Índice de cosecha (%)

EE : Eficiencia energética (%)

* Significativo ($P < 0.05$), ** Significativo ($P < 0.01$)

Cuadro 5 A. Matriz de correlación entre algunas características biológicas, morfológicas y agronómicas del crecimiento en 4 genotipos de *Ananthurus*. Experimento I: Análisis del crecimiento.

	X1	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
X23	-0,73**	0,68**	0,31	0,33	0,39	0,37	0,51	0,33	0,66*	0,06	0,31	-0,43	0,76**	0,88**	0,33	0,33	-0,78**	-0,78**
X22	0,51	-0,74**	-0,30	0,23	-0,29	-0,33	0,20	-0,43	-0,73**	-0,30	-0,50	0,75**	-0,71**	-0,72**	-0,08	0,02	0,64*	0,86**
X21	-0,54	0,50	0,29	0,30	0,31	0,32	-0,25	0,08	-0,10	0,06	-0,14	0,18	0,15	0,19	0,74**	0,79**	-0,44	-0,34
X20	0,58*	-0,85**	-0,46	-0,49	-0,56	-0,59*	0,16	-0,46	-0,71**	-0,42	-0,55	0,72**	-0,82**	-0,81**	0,49	-0,44	0,87**	
X19	0,52	-0,75**	-0,63*	-0,68*	-0,76**	-0,79**	0,12	-0,62	-0,79**	-0,48	-0,67*	-0,10	-0,90**	-0,89**	-0,67	-0,68*		
X18	-0,25	0,48	0,64*	0,65*	0,76**	0,71*	0,01	0,39	0,22	0,43	0,29	-0,10	0,41	0,37	0,95			
X17	-0,24	0,58*	0,74**	0,60*	0,81**	0,66*	0,01	0,42	0,19	0,42	0,28	-0,12	0,40	0,35				
X16	-0,49	0,65*	0,61*	0,61*	0,62*	0,68*	-0,14	0,63*	0,90**	0,43	0,72**	-0,68*	0,97**					
X15	-0,36	0,67*	0,57	0,69*	0,70*	0,78**	0,05	0,69*	0,92**	0,58*	0,83**	-0,79**						
X14	0,05	-0,52	-0,32	-0,48	-0,44	-0,58*	-0,35	-0,45	-0,76**	-0,66*	-0,81**							
X13	0,64*	-0,20	0,32	0,51	0,39	0,52	0,90**	0,35	0,05	0,78**	0,53							
X12	0,12	0,36	0,59*	0,73**	0,72*	0,83**	0,50	0,74*	0,85**	0,83**								
X11	0,37	0,28	0,60*	0,82**	0,69*	0,84**	0,77**	0,61*	0,46									
X10	-0,32	0,59	0,47	0,56	0,59*	0,68*	-0,01	0,69*										
X9	-0,02	0,56	0,84**	0,82**	0,73**	0,82**	0,21											
X8	0,77**	-0,22	0,18	0,39	0,23	0,37												
X7	0,00	0,53	0,78**	0,95**	0,87**													
X6	-0,02	0,51	0,89**	0,80**														
X4	0,00	0,59*																
X3	-0,60*																	
X2	0,63*																	

* Significativo (P<0.05), ** Significativo (P<0.01).

- X1: Altura de planta en cm (a la cosecha)
- X2: Altura de panoja en cm (a la cosecha)
- X3: Diámetro de tallo en mm (a los 25 días)
- X4: Área foliar endm²/planta (a la cosecha)
- X5: Área foliar en dm²/planta (a los 60 días)
- X6: Peso seco de hojas g/planta (a la cosecha)
- X7: Peso seco de tallos g/planta (a los 60 días)
- X8: Peso seco de panajas g/planta (a la cosecha)
- X9: Peso seco de tallos g/planta (a los 60 días)
- X10: Peso seco de panajas g/planta (a la cosecha)
- X11: Peso seco de raíces g/planta (a la cosecha)
- X12: Biomasa seca aérea total g/planta (cosecha)
- X13: Biomasa fresca g/planta (a la cosecha)
- X14: Nitrogeno en la planta entera (X durante el ciclo)
- X15: Eficiencia energética (a la cosecha)
- X16: Rendimiento de grano g/planta (a la cosecha)
- X17: Días al panojamiento
- X18: Días a la floración
- X19: Días a la cosecha
- X20: Área foliar específica (X durante el ciclo)
- X21: Razón Peso foliar (X durante el ciclo)
- X22: Razón Área foliar (X durante el ciclo)
- X23: Índice de cosecha (a la cosecha)