

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

DINÁMICA DE DOSELES DE TRES ESPECIES DE LEGUMINOSAS DE
SOMBRA Y EFECTOS SOBRE LA FENOLOGÍA DE SEIS CRUCES
INTERCLONALES DE CACAO

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

Magister Scientiae

por

Ricardo Luján Ferrer

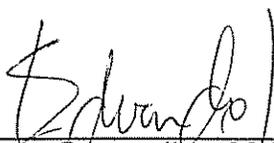
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza Turrialba, Costa
Rica

1992

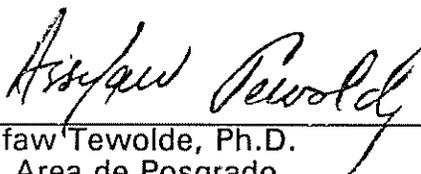
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

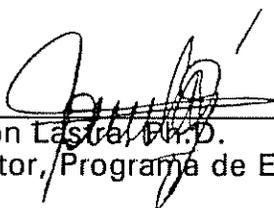
FIRMANTES:



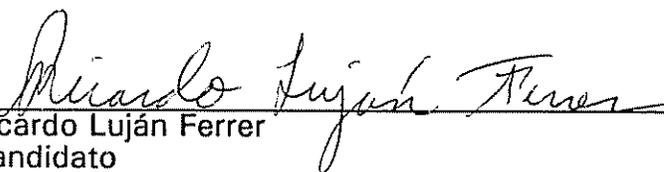
Eduardo Somarriba, M.Sc.
Profesor Consejero



Assefaw Tewolde, Ph.D.
Jefe, Area de Posgrado



Ramón Lastra, Ph.D.
Director, Programa de Enseñanza



Ricardo Luján Ferrer
Candidato

DEDICATORIA

A mi esposa
Elizabeth

A mi hija
Kasia

A mi madre
Josefina

A mi padre
José Manuel

AGRADECIMIENTOS

Deseo manifestar un profundo y sincero agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza por haberme brindado la oportunidad de realizar este posgrado.

A Eduardo Somarriba, profesor consejero, por su gran interés, colaboración e ingenio durante el desarrollo del presente trabajo.

A Pekka Nygren, miembro del comité asesor, por su apoyo y valiosas recomendaciones a lo largo del trabajo.

A Wilbert Phillips, miembro del comité, por su dedicación, paciencia y consejos en la revisión del manuscrito.

A Wilberth Campos por su estímulo durante las primeras fases del trabajo de tesis.

A Bryan Finnegan, por su confianza y apoyo especial con respecto al equipo para las mediciones en el campo.

A Deborah y David Clark por haberme permitido muy amablemente el acceso al equipo de análisis de fotografía hemisférica y a los asistentes Leonel Campos y William Brenes por su apoyo en labores de campo y oficina.

A Pedro Ferreira, Johnny Pérez y Gustavo López por su colaboración en los análisis estadísticos.

Al Overseas Development Agency (ODA) por la financiación de mis estudios de posgrado.

Al Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ por su gran apoyo y facilidades brindadas para la realización de la tesis.

A los señores Heriberto Hernández, Jorge Araya, Giovanni Campos y José Estéller por su buen humor y apoyo en las labores de campo.

INDICE

	Página
Resumen.....	ix
Summary.....	xi
Lista de Cuadros.....	xiii
Lista de Figuras.....	xv
1 Introducción.....	1
2 Objetivos e Hipótesis.....	3
2.1 Objetivos.....	3
2.2..Hipótesis.....	3
3 Materiales y Métodos.....	4
3.1 Descripción del sitio.....	4
3.2 Descripción del ensayo.....	6
3.3 Mediciones de campo.....	8
3.3.1 Fotografía hemisférica.....	9
3.3.1.1 Antecedentes.....	9
3.3.1.2 Métodos y variables medidas.....	13
3.3.2 Fenología.....	18
3.3.2.1 Antecedentes.....	18
3.3.2.2 Mediciones, variables y escalas.....	21
3.3.3 Diámetro basal y número de chupones..	23
3.3.3.1 Antecedentes.....	23
3.3.3.2 Mediciones.....	24

	Página
3.4 Análisis Estadístico.....	25
3.4.1 Fotografía Hemisférica.....	26
3.4.2 Fenología.....	27
3.4.2.1 Normalización de datos.....	27
3.4.2.2 Indicador de disimilaridad (ID).....	28
3.4.2.3 Correlaciones.....	31
3.4.3 Diámetro basal y número de chupones..	32
4 Resultados.....	33
4.1 Caracterización de doseles mediante fotografías hemisféricas.....	33
4.2 Respuestas de los árboles de cacao.....	39
4.2.1 Patrón global.....	39
4.2.1.1 Resumen de las variables analizadas a nivel de efectos globales.....	39
4.2.1.2 Brotación foliar.....	40
4.2.1.3 Floración.....	43
4.2.1.4 Diámetro basal.....	44
4.2.1.5 Número de Chupones.....	45
4.2.2 Variaciones a nivel de dosel.....	47
4.2.2.1 Resumen de las variables analizadas a nivel de sombras diferentes.....	47

	Página
4.2.2.2 Brotación foliar.....	48
4.2.2.3 Floración.....	50
4.2.2.4 Diámetro basal.....	52
4.2.2.5 Número de Chupones.....	54
4.2.3 Variaciones a nivel de cruce	
interclonal.....	57
4.2.3.1 Resumen de las variables analizadas a nivel de cruce interclonal.....	57
4.2.3.2 Brotación foliar.....	59
4.2.3.2.1. ANDEVA con datos normalizados....	59
4.2.3.2.2. Indicador de disimilaridad(ID)	60
4.2.3.3 Floración.....	64
4.2.3.3.1. ANDEVA con datos normalizados....	64
4.2.3.3.2. Indicador de disimilaridad(ID)	64
4.2.3.4 Diámetro basal.....	69
4.2.3.5 Número de chupones.....	69
5 Discusión.....	70
6 Conclusiones.....	79
7 Literatura citada.....	81
8 Apéndice.....	88

Luján Ricardo. 1992. DINAMICA DE DOSELES DE TRES ESPECIES DE LEGUMINOSAS DE SOMBRA Y EFECTOS SOBRE LA FENOLOGIA DE SEIS CRUCES INTERCLONALES DE CACAO

RESUMEN

Palabras clave: fotografía hemisférica, dosel, podas, sombra, *Theobroma cacao*, *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Erythrina poeppigiana*, cruce interclonal, fenología, estadística no paramétrica, agroforestería.

En América Central el manejo de la sombra en el cultivo del cacao, *Theobroma cacao* L., es una práctica muy utilizada. Sin embargo esta práctica se ha llevado a cabo en forma empírica. La regulación de la sombra en el cacao tiene repercusiones sobre el rendimiento de grano, sobre la producción periódica de yemas y hojas nuevas y sobre la floración entre otras.

En la presente investigación, 1) se cuantificó (mediante fotografía hemisférica) la penetración de radiación solar en tres doseles de especies leguminosas de sombra sometidas a podas: *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend., *Inga edulis* Mart. y *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F., y 2) se evaluó la brotación foliar, floración, incremento diametral y producción del número de chupones de seis cruces interclonales de cacao.

La investigación se realizó (noviembre 1991-septiembre 1992), en las parcelas experimentales de cacao con sombra de leguminosas, del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, en Baja Talamanca, Limón, Costa Rica.

Los resultados demostraron diferencias significativas en los índices de penetración de radiación solar por efecto de tipo de dosel. El dosel formado por *G. sepium*, presentó el mayor índice de penetración de radiación solar durante el periodo comprendido entre la primera y segunda poda. El dosel de *E. poeppigiana*, dado su mayor crecimiento, presentó valores extremos en cuanto a sus índices de penetración de radiación solar a lo largo del tiempo.

Se presentaron diferencias significativas en las respuestas de los árboles de cacao por efecto de tipo de sombra utilizada. La floración fué la variable que resultó más sensible al tipo de sombra utilizada. Bajo la sombra de *G. sepium*, se presentaron las condiciones más favorables para la floración e incremento en el diámetro de los cacaoteros. Las variables, brotación foliar, floración, diámetro basal y número de chupones mostraron diferencias significativas a nivel de cruce interclonal y en la interacción cruce interclonal*sombra.

Luján, Ricardo. 1992. The Dynamics of canopies of three leguminous shade tree species and their effects on the phenology of six interclonal crosses of cacao.

SUMMARY

Key words: hemispheric photography, canopy, pruning, shade, *Theobroma cacao*, *Gliricidia sepium*, *Inga edulis*, *Erythrina poeppigiana*, interclonal crosses, phenology, nonparametric statistics, agroforestry.

In Central America, the management of shade in the cultivation of cacao (*Theobroma cacao* L.) is a common practice. Nevertheless, it has been carried out in a very empirical manner. Shade regulation in cacao affects bean (pod) yields, the periodic production of buds and new leaves and the flowering.

The research results presented in this thesis includes: 1) the degree of penetration of solar radiation through the canopies of three leguminous shade species, *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend., *Inga edulis* Mart. and *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F., all of which were pruned; and 2) the intensity of flushing of leaves and flowering, diameter growth, and the production of suckers of six interclonal crosses of cacao were evaluated. The research took place from November of 1991 until September of 1992 in the CATIE/GTZ Agroforestry

Project's experimental plots with cacao and leguminous shade in Margarita, Baja Talamanca, Limón, Costa Rica.

The results show significant differences in the indexes of solar radiation penetration due to the type of canopy. The *G. sepium* canopy proved to have the greater index of solar radiation penetration (i.e. less shade) during the period between the first and second prunings. The *E. poeppigiana* canopy, given its more rapid growth, showed extreme values with regard to the solar radiation penetration indexes over time.

Significant differences were observed in the response of the cacao trees to the types of shade used. Flowering was the most sensitive variable to the types of shade utilized. The most favorable conditions for flowering and diameter growth in the cacao trees were present under the *G. sepium* shade. The variables flushing, flowering, basal diameter, and number of suckers showed significant differences at the interclonal cross level and in the interaction between interclonal cross and shade.

LISTA DE CUADROS

En el texto Cuadro N ^o	Página
1 Coeficiente de correlación lineal simple (r) entre número de flores por sección y escala cualitativa de floración por sombra y por cruce interclonal. Margarita, Talamanca, Limón.....	22
2 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones).....	61
3 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de diferentes cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).	62
4 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).....	63
5 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones).....	65
6 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de diferentes cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).....	67
7 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de iguales cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).....	68
En el Apéndice	
1A Simulación de la distribución de probabilidades del indicador de disimilaridad ID, utilizando diferentes números de iteraciones.....	93
2A Porcentaje de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	94

Cuadro N ^o	Página
3A Resumen en porcentajes, de las diferencias significativas (de ID) obtenidas al comparar la brotación de cruces interclonales iguales dentro de sombras (parcelas) diferentes en 21 evaluaciones. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	95
4A Resumen de los porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la brotación foliar de cacaoteros de igual cruce interclonal entre iguales tipos de sombra. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	96
5A Porcentaje de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la floración de diferentes cruces interclonales de cacao dentro de una misma sombra, (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	97
6A Resumen en porcentajes de las diferencias significativas obtenidas (de ID) al comparar la floración de cruces interclonales iguales dentro de sombras (parcelas) diferentes en 21 evaluaciones. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	98
7A Resumen de los porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la floración de cacaoteros de igual cruce interclonal entre iguales tipos de sombra (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	99
8A Promedio y desviación estandard, de los porcentajes de la penetración de radiación solar relativa (ISI, ISD y ISG), en tres sombras de cacao en cinco fechas de medición. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura N°	Página	
1	Indice de penetración de radiación solar difusa en tres tipos de sombras de cacao.....	35
2	Indice de penetración de radiación solar directa en tres tipos de sombras de cacao.....	35
3	Precipitación, incremento diamétrico y floración y brotación global por periodo de medición. Talamanca, Limón. 1992.....	42
4	Promedio de chupones por cacaotero y precipitación durante las fechas de medición. Talamanca, Limón. 1992.....	46
5	Brotación foliar de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Margarita, Talamanca, Limón 1992.....	49
6	Floración de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Margarita, Talamanca, Limón 1992.....	51
7	Incremento quincenal del diámetro basal de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Talamanca, Limón. 1992.....	53
8	Promedio del número de chupones por cacaotero bajo tres tipos de sombras arbóreas. Talamanca, Limón, 1992.....	56
En el Apéndice		
1A	Promedio de precipitación (1979-1991) mensual Sixaola, Talamanca, Limón.....	92
2A	Probabilidad por clase y acumulada del indicador de disimilaridad ID.....	93

1. INTRODUCCION

En América Central el manejo de la sombra en el cultivo del cacao, *Theobroma cacao* L., se practica empíricamente. La sombra juega un papel muy importante, en el establecimiento de los árboles de cacao (Alvim, 1977) como también en su madurez (Wessel, 1985; Willey, 1975; Raja Harun y Hardwick, 1987). La sombra modifica el microambiente, lo cual incide sobre las interrelaciones suelo-planta en cuanto a producción de grano de cacao (Cabala Rosand *et al.*, 1972; Ahenkorah *et al.*, 1987; Ahenkorah *et al.*, 1974; Alvim, 1977), sobre las plagas y enfermedades (Greenwood y Posnette, 1950; Majer, 1972; Lass, 1985), en los procesos morfológicos y fisiológicos (Alvim, 1958; Asomaning *et al.*, 1971) y entre otros, sobre la tasa de asimilación de dióxido de carbono (Raja Harun y Hardwick, 1987).

A pesar de la importancia del manejo de la sombra en el cacao, las recomendaciones prácticas de manejo disponibles en la literatura son muy generales. Se recomiendan porcentajes de sombra fijos sin considerar el crecimiento de los árboles de sombra y el régimen de podas. Es necesario cuantificar estas relaciones para derivar recomendaciones prácticas específicas para el manejo de la sombra. Willey, 1975, enfatiza la urgencia de conocer la variabilidad que existe en las sombras proyectadas dentro y entre los doseles utilizados como sombrío. Batista y Alvim, 1981, manifiestan la necesidad

de estudiar el manejo de sombras en el cacao y de las dificultades de su cuantificación.

La presente investigación, contribuye a llenar ese vacío de como poder cuantificar en forma precisa el nivel de sombrío en un cacaotal, bajo prácticas culturales específicas a lo largo del tiempo. Además aporta información para lograr una mayor comprensión de las respuestas de los árboles de cacao ante cambios microambientales causados por el tipo de sombrío así como por el efecto de las podas periódicas realizadas en cada dosel.

Esta investigación se llevó a cabo en las parcelas experimentales de cacao con sombra de leguminosas, del Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ, ubicadas en la zona de baja Talamanca, provincia de Limón en Costa Rica. Primero, mediante el uso de fotografía hemisférica, se realizó una cuantificación de la penetración de la radiación solar en cada una de las sombras utilizadas a lo largo de diez meses y bajo un régimen de podas específico para cada especie. Además, se evaluaron las respuestas de los árboles de cacao bajo cada tipo de sombra, en función de su brotación foliar (crecimiento plagiotrópico), floración, incrementos en el diámetro basal y producción de chupones (crecimiento ortotrópico) a lo largo del tiempo.

2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivos

Cuantificar el patrón temporal de penetración de radiación solar bajo tres especies de sombras de leguminosas arbóreas con regímenes de poda específicos.

Evaluar las respuestas de floración, brotación foliar, incremento del diámetro y crecimiento de número de chupones de seis cruces interclonales de cacao bajo las tres sombras utilizadas.

2.2. Hipótesis

No existen diferencias significativas en la penetración de radiación solar a través de las tres especies arbóreas utilizadas como sombras del cacao a lo largo del tiempo.

No existe un efecto sobre la floración, brotación foliar, incremento del diámetro y crecimiento del número de chupones en los árboles de cacao en relación a la especie de sombra utilizada ni entre los distintos cruces interclonales a lo largo del tiempo.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del sitio

La investigación se llevó a cabo en uno de los ensayos del Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, en la finca del Sr. Onias Rodríguez, en el poblado de Margarita, Talamanca, Limón, Costa Rica. Las coordenadas geográficas del sitio de estudio son 9°36' y 82°46'.

El área experimental presenta suelos fértiles, de origen aluvial, producto de las deposiciones de grava, arena y limo, efecto de periódicas inundaciones del Rio Sixaola. El suelo pertenece al orden de los inceptisoles y se cataloga como *Fluventic Eutropept* (MAG/SEPSA, 1991). Es un suelo profundo, de textura moderadamente fina, bien drenado y de permeabilidad moderada, color pardo grisáceo oscuro y pardo amarillento oscuro, susceptible a inundaciones.

Un análisis de suelo del área del ensayo, indica un suelo con un pH ligeramente ácido (6,4) con un contenido de materia orgánica cerca del 3% y con una textura franco arcillosa. El fósforo (17.5 ppm) se encuentra arriba del nivel crítico. El potasio (0,74 cmol/kg suelo), calcio (17,1 cmol/kg suelo) y magnesio (4,14 cmol/kg suelo) se encuentran en niveles óptimos como también sus relaciones calcio magnesio (Ca/Mg=4,1), magnesio potasio (Mg/K=5,6) y calcio magnesio potasio (Ca+Mg/K=22,7) (Diaz-Romeu y Hunter, 1978). Cabe mencionar

que estos niveles críticos se basan en una generalización de requerimientos nutricionales de cultivos agrícolas.

El microrelieve en las parcelas experimentales es muy homogéneo, plano con una pendiente que oscila del 0 al 5%. El drenaje natural ha sido mejorado por medio de zanjas excavadas en forma manual.

La precipitación media anual (promedio de 13 años), es de 2452 mm. Los datos pluviométricos se obtuvieron de la estación meteorológica de P.A.I.S. S.A., en Daytonia, Sixaola. Esta estación aunque se encuentra relativamente lejos del área de estudio (13,5 km), se ubica en el mismo valle aluvial (Valle del Rio Sixaola), elevación sobre el nivel del mar y zona de vida, por lo que se consideró como la más representativa de la región.

La distribución de las lluvias a lo largo del año es bastante uniforme, presentándose dos períodos donde puede haber déficit hídrico (ver Fig. 1A en apéndice). Es común un déficit hídrico durante algunos días en setiembre u octubre y en abril (Herrera, 1985). La temperatura media anual es de 26,5°C y la evapotranspiración potencial anual se estima entre 1565-1710 mm (Herrera, 1985). El ensayo se encuentra a menos de 20 m.s.n.m. y se ubica en la zona de vida correspondiente al Bosque Húmedo Tropical (Holdridge, 1978).

3.2. Descripción del ensayo

El ensayo se estableció durante setiembre y octubre de 1988, bajo un diseño de bloques completos al azar, tres repeticiones, 9 tratamientos, en un arreglo de parcelas divididas. Cada bloque o repetición consta de tres parcelas grandes (primer nivel con 3 tratamientos) y en cada parcela grande se encuentran seis parcelas pequeñas (segundo nivel, 6 tratamientos).

El primer nivel o parcela grande lo constituye la especie de sombra. Las tres especies de sombra son: 1) *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O. F. Cook (poró gigante o poró extranjero), 2) *Inga edulis* Mart. (guaba mecate) y 3) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Stend. (madero negro). El segundo nivel o parcela pequeña la representan seis tipos de cruces interclonales de cacao (cruces). Cada parcela pequeña consta de seis árboles de cacao distribuidos al azar dentro de la parcela grande (36 árboles de cacao por parcela grande). Los seis tipos de cruces son: 1) "UF676 X IMC67" (C1), 2) "UF613 X IMC67" (C2), 3) "CATONGO X POUND12" (C3), 4) "POUND7 X UF668" (C4), 5) "UF29 X UF613" (C5) y 6) "UF613 X POUND12" (C6).

Los árboles de sombra se encuentran a un espaciamiento de (6x6)m en cuadro y los de cacao a (3x3)m en cuadro. Este arreglo permite 36 cacaoteros y 16 árboles de sombra por parcela útil. Los bordes de las parcelas los representan dos líneas adicionales de cacaoteros (del cruce "EET400 X SCA12")

y una de árboles de sombra. En toda el área útil del ensayo se encuentran 324 árboles de cacao y 144 de sombra. El área útil del experimento es de 0,52 ha. y el área total (incluyendo bordes) de 1,17 ha.

El manejo del cacao en el experimento se ha llevado a cabo de acuerdo a las normas técnicas que para el cultivo se recomiendan (Enríquez, 1985; Enríquez, 1987; Morera y Phillips, 1989; Paredes, 1977; Compañía Nacional de Chocolates, 1988). Los doseles se podan considerando las condiciones climáticas de la zona, el crecimiento de las especies, su tolerancia a podas y el patrón de producción del cacao. Se desea podar las sombras al final de los dos periodos de menos actividad pluvial del año (generalmente en noviembre y mayo) para que coincidan mayores aperturas del dosel con periodos de máxima nubosidad.

Las sombras se habían venido podando dos veces por año, sin embargo dentro del tiempo de evaluación se llevaron a cabo tres podas de los doseles en las siguientes fechas: 1) cuatro de diciembre de 1991, 2) siete de mayo de 1992 y 3) el 15 y 16 de julio de 1992, el madero negro y poró y el 7 de agosto la guaba. La primera poda de las sombras consistió en una poda leve o parcial en cada una de las tres especies. En la segunda poda también se podó en forma leve el madero negro y la guaba, mientras que el poró se podó en su totalidad ("descopado"). La tercera poda se llevó a cabo considerando que la segunda había sido muy leve para el caso de la guaba y madero negro y por otro lado, para el caso del poró, se debía

formar su copa después de la fuerte intervención de la poda anterior. Esta poda del poró, consistió en la eliminación de las ramas con crecimiento vertical, mientras que las de orientación más horizontal se dejaban para lograr una copa más extendida y menos densa.

Durante el periodo de evaluación se llevaron a cabo tres podas de los árboles de cacao y se efectuaron en las siguientes fechas: 1) el 27 de noviembre de 1991, 2) el 4 de febrero de 1992 y 3) el 8 de junio de 1992. Durante la investigación, la eliminación de chupones de los árboles de cacao se efectuó cada 15 días, cuando simultáneamente eran contados para efectos del estudio.

El 8 de agosto de 1991 (tres meses antes del inicio del estudio) se aplicó una fertilización en todos los cacaoteros con fórmula completa (15-15-15) y a razón de 409 gramos por árbol de cacao ($454 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). La segunda aplicación, dentro del periodo de interés, se llevó a cabo el 3 de abril de 1992 y se aplicó la misma fórmula y cantidad de fertilizante.

3.3. Mediciones de campo

A continuación se presentan las variables medidas. Antes de cada una de las secciones donde se detallan las variables medidas, se presenta una breve sección de antecedentes. En forma resumida, las variables que se midieron son: 1) el índice de penetración de radiación solar directa (IPdir), 2)

el índice de penetración de radiación solar difusa (IPdif), 3) floración, 4) brotación foliar, 5) diámetro basal y 6) número de chupones.

Las primeras dos variables, que describen la dinámica de los doseles y medidas utilizando fotografías hemisféricas (fotos), se midieron en cinco ocasiones y distanciadas cada dos meses y cada mes, en forma alterna. Las últimas cuatro variables, utilizadas para evaluar la respuesta de los cacaoteros a los cambios de sombra, se midieron quincenalmente.

3.3.1. Fotografía hemisférica

3.3.1.1. Antecedentes

La cuantificación de la fracción de radiación solar que llega al sotobosque o a un determinado estrato de vegetación en el bosque o sistema agroforestal involucra muchas variables. La radiación solar presenta grandes variaciones que contribuyen a las diferencias de climas, zonas de vida y hábitats en el planeta. La gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio de la radiación solar, dificulta enormemente su cuantificación (Mitchell y Whitmore, en revisión). Hasta la fecha ha existido gran controversia para lograr definir una metodología y contar con instrumentos adecuados para evaluar la penetración de la radiación solar en comunidades vegetales.

Algunas limitaciones que surgen al evaluar la cantidad de radiación solar en comunidades vegetales son: cambios diurnos y estacionales en la geometría sol-tierra, gran variabilidad debido a condiciones atmosféricas reinantes, los rayos directos que penetran entre estratos de follaje ("sunflecks" Chazdon, 1988) , cambios en la calidad de la radiación solar (la transmitancia de las hojas), reflejo de la radiación solar dependiendo de las propiedades del follaje, y estado fenológico de las especies (Gay et al., 1971; Huber et al., 1989; Reifsnyder et al., 1971).

Para el estudio de las variaciones en la radiación solar a través de las canopias se han utilizado muchos instrumentos. Entre los instrumentos que miden la radiación solar en términos absolutos (mediciones instantáneas), se incluye el uso de solarímetros, utilizados por Huber et al. (1989), en un bosque de *Pinus radiata* en Chile. También en bosques de pino, Gay et al. (1971), utilizaron piranómetros para estudiar la variabilidad de la radiación solar en el sotobosque. Torquebiau (1988), utilizó un tipo de fotosensores para estudiar radiación fotosintéticamente activa en una selva húmeda tropical de Sumatra.

Evans y Coombe (1959), se encuentran entre los primeros investigadores en estimar la penetración de la radiación solar a través de la canopia de un bosque. Estos autores utilizaron la técnica de la fotografía hemisférica a partir del lente desarrollado por Hill (1924).

Específicamente en agroforestería Nair (1976), por medio de radiómetros, evalúa patrones de intercepción de radiación solar en combinaciones de cultivos (cocoteros-cacao). Recientemente el uso de un tipo de sensores de quantum, el ceptómetro (Decagon Devices Inc., 1989), ha sido utilizado en investigaciones agroforestales (Nygren, 1990; Muschler, 1991).

Por otro lado Salminen *et al.* (1983), realizan una comparación entre diferentes métodos para la medición del régimen de radiación solar en una canopia (en un rodal de pino). Estos autores llevan a cabo pruebas con varios tipos de sensores (para mediciones instantáneas de radiación solar) y también con estimaciones de coeficientes de penetración de radiación solar utilizando fotografías hemisféricas. Sus resultados demuestran gran concordancia de las mediciones instantáneas en relación a las fotografías hemisféricas en cuanto a la radiación difusa pero obtienen menor correlación entre los métodos en condiciones de radiación directa.

Anderson (1964), presenta las bases teóricas del uso de la fotografía hemisférica y menciona la importancia de separar la radiación solar en difusa y directa a la hora de analizar los cambios de esta por efecto del follaje de la vegetación. La misma autora (Anderson, 1970) comenta sobre los problemas metodológicos e instrumentales que surgen al tratar de estimar la fracción de radiación solar disponible en un bosque. Esta autora enfatiza en las limitaciones que surgen al emplear datos de instrumentos que hacen mediciones instantáneas de

radiación solar (piranómetros, actinógrafos etc.) y presenta a la técnica de la fotografía hemisférica como una buena y diferente opción.

Con el auge de la computación, el uso de la fotografía hemisférica se ha tornado más accesible y práctico. El uso y análisis de esta fotografía utilizando métodos computarizados se encuentra bien documentado en trabajos como el de Becker et al. (1989) y en Rich (1989 y 1990).

Varios documentos e investigaciones recientes, representan buena evidencia de la importancia y aceptabilidad del uso de la fotografía hemisférica en estudios ecológicos. Entre éstos se encuentran Mitchell y Whitmore (en revisión), que explican la teoría y métodos del uso de esta técnica en el estudio de la ecología forestal. También Whitmore et al., en revisión, Torregrosa et al. (1992) y Lin et al. (1992), hacen uso de esta técnica para realizar mediciones en claros de bosques y en general de la geometría de la canopia y sus implicaciones ecológicas.

Por último cabe mencionar que la mayoría de las investigaciones llevadas a cabo utilizando la fotografía hemisférica han sido en bosques, por lo que la presente investigación representa una novedad al introducir esta técnica en la investigación agroforestal.

3.3.1.2. Métodos y variables medidas

Se realizaron cinco evaluaciones a lo largo del estudio en las siguientes fechas: 1) 16 de diciembre de 1991, 2) 22 de febrero de 1992, 3) 21 de mayo de 1992, 4) 1 de mayo de 1992 y 5) 19 de junio de 1992. En cada evaluación, se incluyó toda la población de árboles de cacao, de manera que se tomaban 324 fotos por medición, lo que representa un total de 6804 fotos durante la investigación.

Cada foto se tomó encima de la copa de cada árbol de cacao, tomando como referencia la proyección vertical del tronco principal. Mediante una barra telescópica de metal adaptada a un juego de marcos móviles, se sujetaba el lente y la cámara para lograr tomar las fotos a diferentes alturas y con el lente siempre balanceado en posición horizontal (enfocando en infinito al dosel o al cenit en el cielo).

Las fotos se tomaron ubicando la cámara y lente en la misma posición y considerando una orientación constante (0 grados de azimut). Esto con el fin de poder trazar la trayectoria solar a través del hemisferio y simular la penetración de radiación solar directa que logra atravesar los espacios entre el follaje y alcanzar a cada cacaotero.

Para la toma de las imágenes hemisféricas se utilizó un lente Nikkor (8mm f/2.8) de 180° de capacidad angular y con filtros incorporados. Este lente se utilizó con una cámara Nikon FM2, con un sistema ("databack") electrónico adaptado para numerar fotos. Se utilizó película en blanco y negro de

ASA 400. Las fotos siempre se tomaron en días nublados para evitar problemas de reflejos que alteran (sobre-estimación) los resultados. Para aumentar el contraste entre las hojas y las aperturas del dosel, siempre se utilizó filtro rojo (Rich, 1989).

Todos los negativos producto de las fotos hemisféricas se analizaron en los laboratorios de la Estación de la Organización para Estudios Tropicales (OET) en Sarapiquí. Se utilizó el programa CANOPY para el análisis digital de imágenes hemisféricas (Rich, 1989).

Los componentes básicos para utilizar el programa CANOPY son: 1) Una microcomputadora (compatible con IBM) 2) Un monitor de computadora 3) Un monitor de alta resolución donde aparecerán las imágenes hemisféricas 4) Una cámara de video adaptada con un lente macro 5) Una mesita portapelícula.

Los pasos básicos del sistema son: 1) Adquisición de la imagen: En este paso cada foto (negativos de las fotos) se coloca en la mesita portapelícula donde la cámara de video capta la imagen. 2) Entrada y digitalización: Mediante un digitalizador de video y adaptador, la imagen se transfiere al monitor de alta resolución. 3) Análisis e interpretación: La unidad central de la computadora procesa la imagen mediante los comandos del caso y graba los resultados para luego imprimirlos.

El análisis de las imágenes hemisféricas se realiza desde lo blanco. Esto quiere decir que la pantalla donde aparece la imagen real del dosel o foto tomada, se debe aclarar al máximo

hasta que la pantalla quede totalmente blanca o como si hubiera 100% de penetración de radiación solar. Esto se logra con un comando que regula el umbral ("Threshold", este varía desde 1 a 127) de la pantalla, para lo cual primero se reducen los tonos (se "congela" la imagen) y entonces al aumentar el umbral la pantalla se tornará más blanca. Esta regulación en los tonos de la pantalla sirve para distinguir en forma clara el follaje de las aperturas del dosel. Una vez que la imagen está con el umbral máximo (Threshold a 127) entonces desde este punto (desde lo blanco), se empieza a oscurecer la pantalla (disminuir el umbral) hasta donde coincidan exactamente la imagen con los tonos naturales (sin "congelar") con la "congelada".

Cuando se "congela" la imagen, lo que sucede es que todo lo que es cielo o aperturas del dosel se tornan blanco y todo lo que son hojas, ramas y tronco se tornan negro. La parte medular del análisis es precisamente que coincidan las aperturas del dosel con lo blanco y las copas y troncos con lo negro. Se debe dar prioridad a las aperturas más grandes del dosel donde es más fácil hacer coincidir los bordes de cielo con los bordes blancos en la imagen congelada y las copas u hojas con el negro. Este procedimiento es independiente del tipo de variables a analizar.

De esta manera, al analizar dos fotos iguales, se pueden encontrar ciertas variaciones en los resultados. Debido a esto, es requisito analizar cada foto por lo menos dos veces y

en diferente día, y definir un error mínimo que será la diferencia mínima aceptable entre los resultados de las dos fotos.

Cada foto fue analizada dos veces, usando como criterio de evaluación una diferencia menor o igual al 5% con respecto a los resultados del primer análisis de cada foto. Las variables obtenidas, producto del análisis de las imágenes hemisféricas son el índice de penetración de radiación solar difusa (IPdif) y el índice de penetración de radiación solar directa (IPdir). El IPdif se puede definir como la proporción de radiación difusa que puede penetrar dentro del dosel en relación al total de radiación difusa arriba del dosel o campo abierto. El IPdir se define como la proporción de radiación directa (en forma de rayos solares directos) que puede penetrar dentro del dosel en relación al total de la radiación solar directa arriba del dosel o en campo abierto.

Para ambas variables se utilizaron los valores corregidos por coseno (Ley de los Cosenos de Lambert) de manera que las variables de penetración se refieren a la radiación solar relativa interceptada por una superficie plana u horizontal (Rosenberg *et al.*, 1983). Para mayor información en relación a éstos índices de sitio el lector puede referirse a literatura específica en este campo (Anderson, 1970; Rich, 1989; Rich, 1990; Becker *et al.*, 1989).

A partir de las variables (IPdir y IPdif) obtenidas, se puede calcular el índice de penetración de radiación solar global (IPg) como: $IPg = P_{dif}(IPdif) + P_{dir}(IPdir)$, donde

P_{dif} y P_{dir} son las proporciones de la cantidad total de radiación solar difusa y directa en campo abierto o arriba del dosel.

Para la zona de estudio no se cuenta con registros que permitan conocer la cantidad de las proporciones de radiación solar difusa y directa a cielo abierto. Para obtener una idea aproximada del IPg, se utilizaron datos empíricos y se definió que para el área de estudio las proporciones de radiación total (en campo abierto) eran de un 55% de radiación difusa y un 45% de radiación directa (Rich, 1992, comunicación personal).

Es importante aclarar que los datos de penetración solar utilizados en este estudio representan una medida de radiación solar relativa. Para obtener radiación solar en términos absolutos (energía incidente) o la radiación fotosintéticamente activa (flujo de fotones en las bandas de 400-700 nm) a partir de fotografía hemisférica se necesitan registros provenientes de sensores quantum y realizar las correlaciones correspondientes (Rich, 1989; Salminen *et al.*, 1983; Becker *et al.*, 1989; Lasko, 1980; Whitmore *et al.* en revisión). También es posible obtener radiación solar difusa y directa en términos absolutos (Wm^{-2}) y a partir de fotografías hemisféricas, conociendo los índices de nubosidad del sitio de interés (Nygren, 1992, comunicación personal). No existe para la zona de estudio, información meteorológica de este tipo.

3.3.2. Fenología

3.3.2.1. Antecedentes

El estudio de la fenología del cacao ayuda a comprender las respuestas de esta planta ante cambios ambientales y microambientales (Asomaning, Kwakwa y Hutcheon, 1971). Por otro lado, las observaciones de los fenómenos fenológicos, también pueden brindar indicaciones sobre las respuestas del cacao ante prácticas agronómicas. Alvim (1979), menciona la importancia en analizar la interacción entre los procesos fisiológicos de las plantas de cacao con los factores biofísicos del ambiente, en este sentido los estudios fenológicos juegan un rol importante. Young (1984), manifiesta que la descripción de los patrones de floración y cuajado de frutos en el cacao bajo diferentes condiciones climáticas, son un pre-requisito importante para entender la adaptación de las plantas en cuanto a la asignación de la energía y al papel de la sincronización de la floración en el bienestar de la población de plantas.

Greenwood y Posnette (1950), recalcan que la importancia en el estudio de las brotaciones foliares del cacao, no es en cuanto al crecimiento, sino por su relación con respecto a plagas y enfermedades. Entre las plagas asociadas a las fuertes brotaciones foliares del cacao, los mismos autores, mencionan a *Sahlbergella singularis*, *Distantiella theobroma* y a ciertos áfidos. En cuanto a las enfermedades relacionadas

con altas brotaciones foliares, se menciona a la "escoba de bruja" (*Crinipellis perniciososa*) como una de las más importantes. Majer (1972), se refiere a la relación entre la periodicidad de las brotaciones foliares del cacao con las poblaciones de algunos insectos (orugas).

Se han llevado a cabo muchas investigaciones para lograr comprender las relaciones entre la floración y la brotación foliar del cacao con el ambiente (Adomako et al., 1990; Greenwood y Posnette, 1950; Young, 1984; Asomaning, Kwakwa y Hutcheon, 1971; Ampofo y Bonaparte, 1978). Alvim (1979) menciona que en muchas regiones, la distribución de las lluvias es el factor que controla los fenómenos fenológicos del cacao. En regiones (como Bahía, Brasil) donde existen diferencias estacionales obvias en la temperatura, ésta juega un papel importante en dichos procesos. Alvim, (1977), enfatiza en el fenómeno de la hidroperiodicidad como el principal factor externo responsable en la iniciación de los ciclos de los procesos fenológicos del cacao. El carácter de la hidroperiodicidad, según el mismo autor, lo demuestran experimentos donde las brotaciones de cacaoteros fueron siempre precedidas de una secuencia de periodos secos y húmedos. En cuanto a la floración, menciona que ésta es inhibida durante periodos de déficit hídricos y se manifiesta con intensidad, cuando a las primeras lluvias fuertes les sigue un periodo seco. En cuanto a los factores endógenos afectando la floración, Alvim (1977), responsabiliza a una competencia interna entre la fructificación y floración.

Young (1984), también responsabiliza a factores pluviométricos como los determinantes en las diferentes respuestas de floración del cacao.

Hutcheon, citado por Young (1984), propone dos patrones de floración que operan en *T. cacao*. Un patrón, el de "floración normal", que es principalmente regulado por condiciones fisiológicas internas y el "florecimiento alocado" que responde cuando se elimina algún factor inhibidor como el déficit hídrico. Wood y Lass (1985), atribuyen al estrés hídrico y temperatura ambiente como los principales factores externos que afectan la floración y brotaciones foliares de los cacaoteros. Taylor y Hadley (1987), proponen que la disponibilidad de carbohidratos (la cual es afectada por la intensidad del sombrero) es el determinante en la brotación de las hojas del cacao.

Contrario a la teoría de la hidroperiodicidad, Adomako et al. (1990), observaron que las brotaciones foliares en cacaotales fueron más intensas en lugares a cielo abierto y en aquellos donde la canopia presentaba aperturas (existencia de claros) con respecto a los sombreados. También enfatizan que no se encontró relación entre el patrón de brotación foliar y el contenido de humedad del suelo. Los mismos autores encontraron una alta correlación ($r=0,999$ y $0,949$) entre las horas de brillo solar y la brotación foliar y además hacen la aclaración del hecho conocido entre la disponibilidad de la radiación solar y el contenido de carbohidratos en los tejidos del cacao.

3.3.2.2. Mediciones, variables y escalas

Quincenalmente (del 27/11/91 al 15/09/92) se evaluó la floración y brotación foliar de cada uno de los 324 cacaoteros. Para ambas evaluaciones se utilizaron escalas cualitativas. En el caso de la floración se desarrolló una escala visual con las siguientes cinco clases:

- 0 = no hay floración
- 1 = floración baja
- 2 = floración intermedia baja
- 3 = floración intermedia alta
- 4 = floración alta

Dos personas en conjunto, un asistente de campo especializado y el autor, asignaban la clase de floración en cada cacaotero.

La escala se calibró tomando los valores visuales de 12 cacaoteros por parcela y contando el número de flores por cacao. Los árboles se escogieron al azar (2 de cada uno de los 6 cruces por parcela) al inicio del estudio y se calibró la escala en cada una de las 8 primeras mediciones quincenales. Para el conteo de flores se tomaba como punto de referencia la primera horqueta, donde se medían 75 cm debajo de ésta a lo largo del tronco y 75 cm a lo largo de la rama más gruesa, de manera que se contaba el número de flores total en una sección constante de 1.5 m.

Después del octavo período de medición (31 de marzo) se realizó un análisis de correlación por tipo de sombra y por tipo de cruce interclonal de las variables número de flores por sección y la escala de floración. El coeficiente de correlación simple demostró un buen grado de asociación lineal entre las dos variables, (cuadro 1). A partir de esta fecha se evaluaron los cacaoteros utilizando únicamente la escala cualitativa.

Cuadro 1. Coeficiente de correlación lineal simple (r) entre número de flores por sección y escala cualitativa de floración por sombra y por cruce interclonal. Margarita, Talamanca, Limón.

Sombra	Cruce interclonal	r
poró gigante	"UF676 X IMC67"	0.968
poró gigante	"UF613 X IMC67"	0.752
poró gigante	"CATONGO X POUND12"	0.852
poró gigante	"POUND7 X UF668"	0.629
poró gigante	"UF29 X UF613"	0.941
poró gigante	"UF613 X POUND12"	0.792
madero negro	"UF676 X IMC67"	0.883
madero negro	"UF613 X IMC67"	0.862
madero negro	"CATONGO X POUND12"	0.770
madero negro	"POUND7 X UF668"	0.676
madero negro	"UF29 X UF613"	0.682
madero negro	"UF613 X POUND12"	0.738
guaba mecate	"UF676 X IMC67"	0.918
guaba mecate	"UF613 X IMC67"	0.793
guaba mecate	"CATONGO X POUND12"	0.829
guaba mecate	"POUND7 X UF668"	0.826
guaba mecate	"UF29 X UF613"	0.960
guaba mecate	"UF613 X POUND12"	0.879
PROMEDIO		0.819
DESVIACION ESTANDAR		0.096

La brotación foliar en cada uno de los cacaoteros se evaluó mediante la siguiente escala visual de cinco clases:

- 0 = no existe brotación
- 1 = < de 1/4 de la copa está en brotación
- 2 = entre 1/4 y 1/2 de la copa en brotación
- 3 = entre 1/2 y 3/4 de la copa en brotación
- 4 = > de 3/4 de la copa en brotación

Esta escala es una modificación del autor de un índice de brotación diseñado por Greenwood y Posnette (1950) y utilizado en otros estudios (Bonaparte y Mensah, 1977; Ampofo y Bonaparte, 1978; Adomako et al., 1990; Asomaning, Kwakwa y Hutcheon, 1971).

3.3.3. Diámetro basal y número de chupones

3.3.3.1. Antecedentes

El diámetro basal se consideró como una buena variable para detectar diferencias en las respuestas del cacao hacia sombras diferentes. Esta variable ha sido utilizada por varios autores (Orchard y Saltos, 1987; Batista y Alvim, 1981; Allen, 1953), para medir respuestas del cacao al medio ambiente. Los chupones, que representan el crecimiento ortotrópico del cacao, también se consideraron como variable de respuesta para la detección de diferencias del cacao a factores externos, en este caso, al grado de sombrío. Por otro lado, la determinación de los factores que influyen en el

crecimiento del eje ortotrópico del cacao, son de importancia para el perfeccionamiento del manejo (prácticas manuales y mecánicas) de plantaciones de cacao (Batista y Alvim, 1981).

Allen, (1953), encontró diferencias en la circunferencia del tallo del cacao (a 20 cm del suelo), en relación al tipo de sombra y mezcla de fertilizante utilizada. Batista y Alvim, (1981), evaluando diversos híbridos de cacao joven y cultivado bajo diferentes intensidades de iluminación, encontraron que los mayores diámetros los alcanzaron los cacaos bajo un 60% de intensidad de radiación solar. Bajo las menores intensidades se desarrollaron cacaoteros con diámetros menores y con mayor elongación del eje ortotrópico. Estos mismos autores, indican que el genotipo no fué la causa principal de las diferencias encontradas en el crecimiento del fuste de los cacaos y refuerzan la hipótesis que considera que la expresión del genotipo, es frecuentemente superada por la acción de factores externos.

3.3.3.2. Mediciones

El diámetro basal y el número total de chupones por cacaotero, se evaluaron durante los mismos periodos de observación utilizados para la fenología (periodicidad quincenal y 21 periodos en total). Las mediciones incluyeron los 324 árboles de cacao.

El diámetro basal de los cacaoteros se midió (con cinta diamétrica) a 30 cm del suelo sobre el tronco principal. Entre cada periodo de medición se calculó el incremento diametral quincenal y al final se calculó el incremento diametral periódico correspondiente al incremento total entre la primera y última medición. El número de chupones (brotes ortotrópicos) se contaba y se eliminaban en cada medición.

3.4. Análisis estadístico

A continuación se describen los diferentes tipos de análisis que se llevaron a cabo. Los resultados de las fotografías hemisféricas se analizaron por medio de dos tipos de ANDEVA, uno utilizando el arreglo de parcelas divididas (un ANDEVA por fecha de evaluación) y el otro incluyendo las fechas de evaluación (un solo ANDEVA) y aplicando el arreglo de parcelas sub-divididas.

Los resultados fenológicos, aparte de las correlaciones de floración y brotación foliar con la precipitación quincenal, se analizaron con dos metodologías distintas. Una, consistió en normalizar los datos no paramétricos y luego aplicar el ANDEVA considerando el arreglo de parcelas sub-divididas. El otro tipo de análisis (solo a nivel de cruce), se llevó a cabo utilizando un indicador de disimilaridad (ID).

Los resultados de las mediciones quincenales del diámetro basal (incrementos) y del número de chupones por cruce, se analizaron utilizando el modelo de parcelas subdivididas.

También se realizó un ANDEVA utilizando el arreglo de parcelas divididas cuando se analizó el incremento del diámetro basal periódico (entre la primera y última medición) y cuando se analizaron los diámetros basales correspondientes a la última medición.

3.4.1. Fotografía hemisférica

Se realizaron dos tipos de análisis de varianza para las variables IPdif, IPdir e IPg. Uno considerando el tiempo (fechas de medición) como un tercer nivel (parcelas subdivididas) y otro tipo de ANDEVA sin incluir la subdivisión por efecto del tiempo y realizando un ANDEVA (en parcelas divididas) en cada fecha de medición (5 ANDEVA). Para ambos tipos de ANDEVA se llevaron a cabo las pruebas Tukey para comparar las diferentes medias de los niveles de interés. Las fuentes de variación (FV) y grados de libertad (gl) para el primer tipo de ANDEVA (parcelas subdivididas en el tiempo) son:

FV	gl
Bloques (B)	2
Sombras (S)	2
Error A (BxS)	4
Cruces (C)	5
(C)x(S)	10
Error B (B)x(S)x(C)	20
Fecha (F)	20
(F)x(S)	40
(F)x(C)	100
(F)x(S)x(C)	200
Error C	730
Total	1133

Para el segundo tipo de ANDEVA (parcelas divididas) las fuentes de variación y grados libertad corresponden a los siguientes:

FV		gl
Bloques	(B)	2
Sombra	(S)	2
Error A	(BxS)	4
Cruces	(C)	5
(S)x(C)		10
Error B		31
Total		54

3.4.2. Fenología

3.4.2.1. Normalización de datos no paramétricos

Las escalas para la evaluación de los estados fenológicos (floración y brotación) son cualitativas, debido a esto, se llevó a cabo un análisis de varianza utilizando la metodología de Friedman para normalizar los datos y así lograr una buena aproximación de datos no paramétricos a paramétricos. Este método consiste en regularizar ("ranquear") los datos originales por bloque para luego aplicar el ANDEVA sobre los datos transformados (Conover e Iman, 1981).

Las fuentes de variación (FV) y grados de libertad (gl) para este ANDEVA son:

FV	gl
Bloques (B)	2
Sombras (S)	2
Error A (BxS)	4
Cruces (C)	5
(C)x(S)	10
Error B (B)x(S)x(C)	20
Fecha (F)	20
(F)x(S)	40
(F)x(C)	100
(F)x(S)x(C)	200
Error C	730
Total	1133

3.4.2.2. Indicador de disimilaridad (ID)

Se efectuó un análisis de los datos fenológicos, a nivel de cruce interclonal, por medio de un método no paramétrico desarrollado específicamente para la presente investigación (Somarriba, 1992, sin publicar). Este método consiste en el desarrollo de un indicador de disimilaridad (ID) que nos permite comparar significativamente el comportamiento fenológico (floración y brotación) de los distintos cruces interclonales, bajo una misma sombra o comparar iguales cruces bajo los tres doseles diferentes. El ID funciona en forma idéntica tanto para las comparaciones de la brotación como para las de floración (ver Apéndice A).

Se calcularon un total de 14742 ID para determinar si existían diferencias fenológicas significativas entre cacaoteros de un mismo cruce en las distintas sombras y entre

cruces diferentes dentro del mismo dosel. Para aprovechar el arreglo del experimento (parcelas divididas), se llevaron a cabo una serie de ANDEVA. Estos análisis se basan en los totales de los ID significativos encontrados y tabulados en el apéndice (cuadros del 2A al 7A).

Estos totales de los ID significativos, hubo que analizarlos por grupos pues los datos correspondientes a un mismo bloque y sombra están correlacionados. Por ejemplo, cuando analizamos los porcentajes de ID significativos obtenidos al comparar la brotación de diferentes cruces interclonales de cacao dentro de una misma sombra (Cuadro 2A), el dato de la comparación C1-C2 correlaciona con el C1-C5 en el mismo bloque y sombra.

Ante esta situación, se definió que para analizar los datos se debían formar grupos donde las correlaciones entre los diferentes ID significativos totales eran todas igualmente uniformes y a este arreglo aplicar el ANDEVA utilizando el diseño de parcelas divididas.

De esta manera se llevaron a cabo dos tipos de grupos, el primero (con 6 arreglos) para las comparaciones de cruces interclonales diferentes dentro de sombras iguales (Cuadros 2A y 5A) y el segundo grupo de arreglos (con 9) correspondiente a las comparaciones entre cruces interclonales de cacao iguales en sombras (parcelas) diferentes (Cuadros 3A y 6A).

Para el primer tipo de arreglo, las comparaciones de los cruces interclonales diferentes siempre se hacían contra un mismo cruce, el cual después se sustituía por el siguiente y

así hasta comparar todos los cruces, para un total de 6 grupos. Por ejemplo, el primer de los 6 grupos correspondía a la comparación de los totales de ID significativos del cruce C1 contra el C2, el mismo C1 contra C3 y así hasta compararlo con el C6: ejemplo de este grupo: (C1-C2; C1-C3; C1-C4; C1-C5; C1-C6) y este arreglo repetido dentro de cada uno de los 3 bloques y 3 parcelas. El segundo grupo correspondía al: (C2-C1; C2-C3; C2-C4; C2-C5; C3-C6) y de esta forma hasta llegar al sexto grupo: (C6-C1; C6-C2; C6-C3; C6-C4; C6-C5). De igual manera para la floración. Con los 6 tipos de arreglos anteriores se lograba tener una idea por grupo de si la variación entre los totales de ID significativos variaba más dentro los cruces interclonales o dentro de las sombras donde se llevaba a cabo la comparación entre cruces. Las fuentes de variación (FV) y grados de libertad (gl) para a estos grupos del primer arreglo son:

FV	gl
Bloque (B)	2
Sombra (S)	2
Error A (BxS)	4
Cruce (C)	4
(C)x(S)	8
Error B	24
Total	44

El segundo tipo de arreglo se analiza en forma muy similar al recién descrito, con la diferencia de que en este segundo arreglo interesa comparar los totales de ID

significativos de cruces interclonales iguales dentro de dos sombras distintas.

A diferencia del arreglo anterior, los grupos en este arreglo se unen por tipo de sombra. Los grupos a analizar, (que surgen de los cuadros 3A y 6A) tanto para la floración como la brotación son los siguientes: Primero, el guaba (g) y poró (p) bloques 1,2 y 3 contra el madero negro (m) del bloque 1: (g1m1; g2m1; g3m1; p1m1; p2m1; p3m1) este arreglo repetido en cada uno de los 6 cruces interclonales. De igual manera se procedió para formar los otros 8 grupos restantes de los totales de ID significativos a analizar. Las fuentes de variación (FV) y grados de libertad (gl) para a estos grupos del primer arreglo son:

	FV	gl
Bloque (B)		2
Cruce (C)		5
Error A (BxC)		10
Sombra (S)		1
(C)x(S)		5
Error B		12
Total		35

3.4.2.3. Correlaciones

Se calcularon correlaciones entre las variables floración y brotación foliar y entre la precipitación acumulada 15 días antes de cada periodo de medición.

3.4.3. Diámetro basal y número de chupones

Se realizó un análisis de varianza del incremento quincenal del diámetro basal de los cacaoteros. El modelo utilizado para este análisis corresponde al de parcelas subdivididas y las fuentes de variación con los grados de libertad se presentan a continuación:

FV	gl
Bloque (B)	2
Sombra (S)	2
Error A (BxC)	4
Cruce Interl. (C)	5
(C)x(S)	10
Error B (B)x(S)x(C)	20
Fecha (F)	20
(F)x(S)	40
(F)x(C)	100
(F)x(C)x(S)	200
Error c	730
Total	1133

El incremento periódico (entre la primera y última medición) del diámetro basal así como los resultados del diámetro basal de la última medición se analizaron mediante el modelo de parcelas divididas. La producción quincenal del número de chupones por cacaotero, se analizó mediante el modelo de parcelas subdivididas (igual al caso de los incrementos diametrales quincenales).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de doseles mediante fotografías hemisféricas

El madero negro, dada la arquitectura de su copa y menor crecimiento, presentó los índices de penetración de radiación solar más altos entre el periodo de podas. La sombra de poró presentó los menores índices (IPdir, IPdif e IPg) entre las dos podas; el dosel de guaba mecate se mantuvo con índices intermedios entre madero negro y poró, pero con una tendencia de disminución en sus índices similar a la sombra de poró. La sombra formada por el dosel de poró presentó los cambios más radicales en la penetración de radiación solar después de la segunda poda de las sombras (Fig. 1 y 2).

La primera medición representa el estado de los doseles 11 días después de la primera poda. Esta primera poda dejó a los doseles de las tres sombras con valores muy similares en sus índices de penetración de radiación solar (IPdif y IPdir). Con el tiempo, los índices de penetración fueron disminuyendo diferencialmente como consecuencia del crecimiento de las copas de los árboles de sombra.

La segunda poda de las sombras fue muy leve en los doseles de guaba y madero negro y no se notó incremento en sus índices, sin embargo fue radical para los porós que sufrieron un descope total quedando los cacaoteros a plena exposición del sol (100% de IPdif y de IPdir).

Entre la primera y segunda poda, los doseles de guaba y poró mostraron tendencias de crecimiento (especialmente el poró) más agresivas que el madero negro. En éstos periodos, la tendencia general de los doseles de poró y guaba fue muy similar, creciendo en forma muy rápida al principio (diciembre-febrero) y más lentamente a medida que los doseles se cerraban.

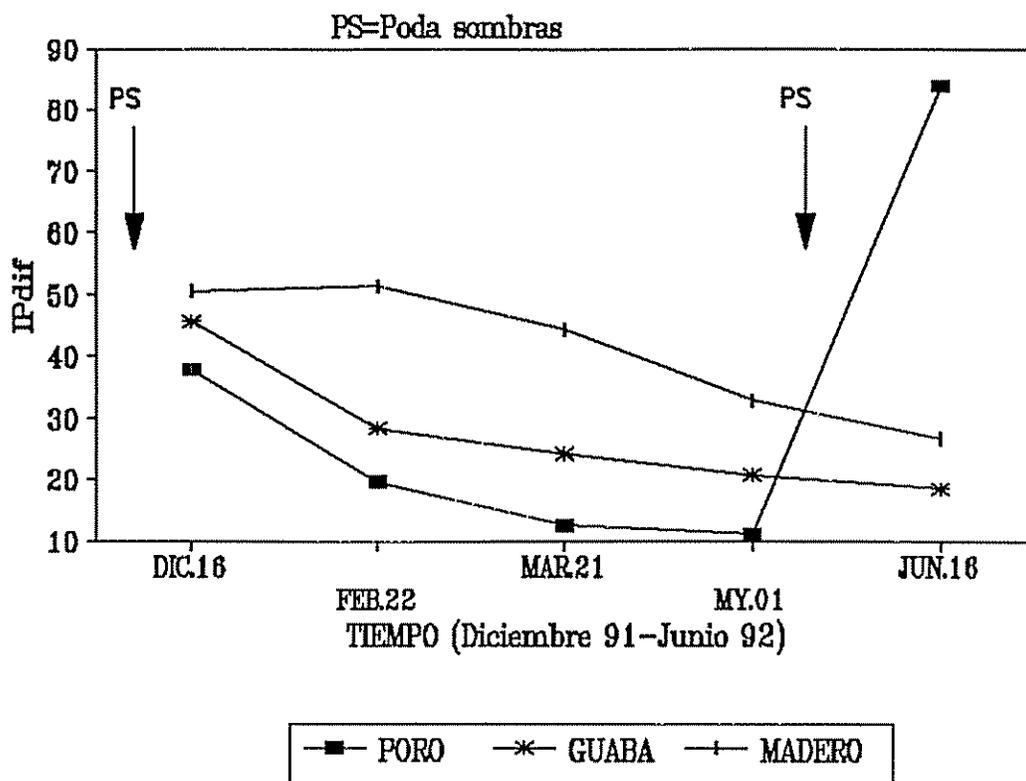


Fig. 1 Índice de penetración de radiación solar difusa en tres tipos de sombras de cacao.

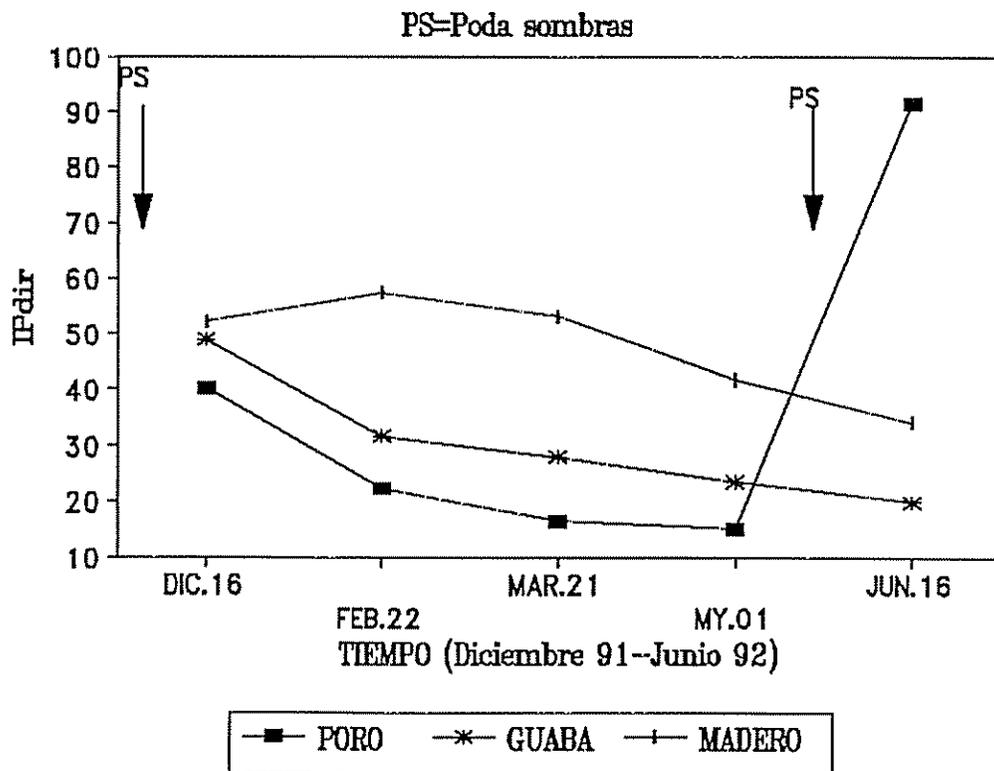


Fig. 2 Índice de penetración de radiación solar directa en tres tipos de sombras de cacao.

Nótese, en las figuras anteriores, que es en la primera medición (diciembre), cuando el IPdif y el IPdir para las tres sombras presentan los valores más similares. Esta medición es la única donde no existieron diferencias significativas (al 0,05) entre los valores de los índices de las distintas sombras.

Cuando se analizaron los resultados tomando en cuenta el efecto del tiempo dentro de un solo ANDEVA (parcelas subdivididas), existían diferencias significativas (al 0,05) cuando se consideraban las primeras 4 mediciones, pero cuando se incluía la última, la de junio (cuando se descopó el poró), no habían diferencias significativas pues se compensaba la gran diferencia entre el poró y el madero negro por efecto de la poda total a que fué sometido el dosel de poró. Este resultado aunque estadísticamente válido perdía sentido biológico por lo que se prefirió el análisis de un ANDEVA por fecha de medición.

En el caso del madero negro, hubo un leve aumento en los índices IPdif y IPdir entre diciembre y febrero (de 50 a 51 y de 52 a 57 respectivamente), debido a la caída natural de las hojas de varios individuos.

En los meses de febrero a mayo, el dosel de madero negro siempre presentó los índices IPdir y IPdif significativamente más altos y el poró los más bajos. En la medición de febrero existieron diferencias altamente significativas (al 0,01) en los valores de IPdif y IPdir entre el dosel de madero

(IPdif=51, IPdir=58) y el de guaba (IPdif=28, IPdir=32) y poró (IPdif=20, IPdir=22).

En mayo, el poró dado su crecimiento más acelerado, presentó los índices más bajos (IPdif=11, IPdir=15) y diferencias altamente significativas (al 0,01) con respecto a las sombras de madero negro (IPdif=33, IPdir=42) y guaba (IPdif=20, IPdir=23).

Entre febrero y marzo, en la sombra de madero negro, la disminución en los índices IPdif (de 51 a 44) y el IPdir (de 57 a 53) es leve pues todavía existen árboles de madero sin hojas. Cabe recalcar que la caída de las hojas de los maderos no se presentó en forma simultánea para toda la población sino que se dió en algunos árboles en diferentes épocas dentro de los meses de enero a marzo.

Nótese, ver Fig. 1 y 2, que para el caso del poró, a partir de mayo, la curva cambia su pendiente en forma radical (el IPdir varía de 15 a 92) producto de la poda total (descope de los árboles) efectuada el 14 de mayo. Aunque los doseles de guaba y madero negro también se podaron a principios de mayo, ésta fue tan leve, que no se registraron incrementos en la medición del 16 de junio. Como era de esperar en esta última evaluación, las diferencias entre los valores de los índices de penetración de radiación solar de los doseles de guaba y madero con respecto al de poró, resultaron significativamente menores (al 0,01).

No se encontraron diferencias significativas (al 0,05) a nivel de cruce interclonal (parcela pequeña). Lo anterior nos indica que el microambiente (en cuanto a penetración de radiación solar) fue bastante homogéneo para los diferentes cruces interclonales en una misma fecha de evaluación y dentro de un mismo tipo de dosel.

El patrón de las curvas representadas por los tres tipos de doseles es muy similar para el caso de los índices de radiación difusa y directa. La diferencia estriba en los valores un poco más altos para el caso de la radiación directa. Esta diferencia es aun más notoria en el dosel de madero negro pues éste no se cierra por completo, quedando huecos de cielo abierto entre las copas de los árboles.

Los porcentajes de IPdir (ver Fig. 2) para el caso del dosel de madero negro, se mantuvieron arriba de 50 entre diciembre y marzo y en junio presentaron los valores más bajos (34). Las copas del dosel de poró y guaba nunca permitieron un IPdir mayor al 46 con la excepción del caso del poró en la última medición (con 92) producto de su poda total.

Los valores del índice de penetración de radiación solar global (IPg), se encuentran a un nivel intermedio entre los IPdir y IPdif. Las diferencias significativas entre las tres sombras para el IPg son idénticas al caso del IPdir. En el anexo (Cuadro 8A), se detallan los promedios y desviación estandard de los índices IPdif, IPdif e IPg por tipo de sombra y por fecha de evaluación.

4.2. Respuestas de los árboles de cacao

A continuación se presentan los resultados de las respuestas de los cacaoteros en función de su brotación foliar, floración, diámetro basal y número de chupones. Estos resultados se dividen en tres partes. La primera parte incluye un análisis de las respuestas de los cacaoteros en términos de los promedios de toda la población a lo largo del tiempo. En la segunda parte se detallan los efectos en los cacaoteros a nivel de tipo de sombra utilizada y por último se presentan los resultados a nivel de cruce interclonal.

4.2.1. Patrón global

4.2.1.1. Resumen de las variables analizadas a nivel de efectos globales

En general, el comportamiento global de la brotación foliar, floración, incremento diametral y número de chupones producidos, siempre mostró incrementos en sus valores promedios 1-1,5 meses después de efectuada las podas de las sombras, y en menor grado después de las podas de los árboles de cacao. La actividad del cacao aumentó al incrementarse la penetración de radiación solar en el sitio. Por otro lado, aunque no tan notorio como en el caso de las podas de las sombras, las variables analizadas mostraron cierta relación lineal positiva con la precipitación 15 días antes de cada

medición. Así las mayores actividades fenológicas de los árboles de cacao se registraron en las épocas de mayor precipitación.

4.2.1.2. Brotación foliar

Durante todo el periodo de estudio, siempre hubieron árboles de cacao con algún grado de brotación. Sin embargo se pudo observar que las brotaciones más intensas ocurrieron con cierto grado de periodicidad. En general periodos de alta brotación se presentaron cada 7-10 semanas.

El promedio de brotación foliar de la población de árboles de cacao presentó tres picos máximos. El primero apareció el 21 de enero, mes y medio después de la poda de los árboles de sombra. El segundo, que correspondió al máximo para todo el periodo y significativamente diferente (0,01) a todos los demás, se presentó el 9 de junio, un mes después de la segunda poda de la sombra. El tercero se dió el 15 de setiembre, un mes después de la tercera poda de la sombra de guaba mecate y dos meses de la de madero negro y poró. Otros tres picos menores se presentaron el 17 de marzo, 28 de abril y 22 de julio (Fig. 3).

Uno de los picos menores (17 marzo) aconteció un mes y medio después de la segunda poda de los árboles de cacao. Las otras dos podas de los cacaoteros se llevaron a cabo dentro de los 15 días de haberse podado los árboles de sombra.

Aunque no se encontró correlación lineal entre la precipitación quincenal acumulada y las brotaciones, resulta interesante notar que los tres primeros picos máximos de brotación foliar se presentan alternando con picos máximos de precipitación, y al final del periodo de evaluación, los picos máximos en la brotación coinciden con los de precipitación (Fig. 3).

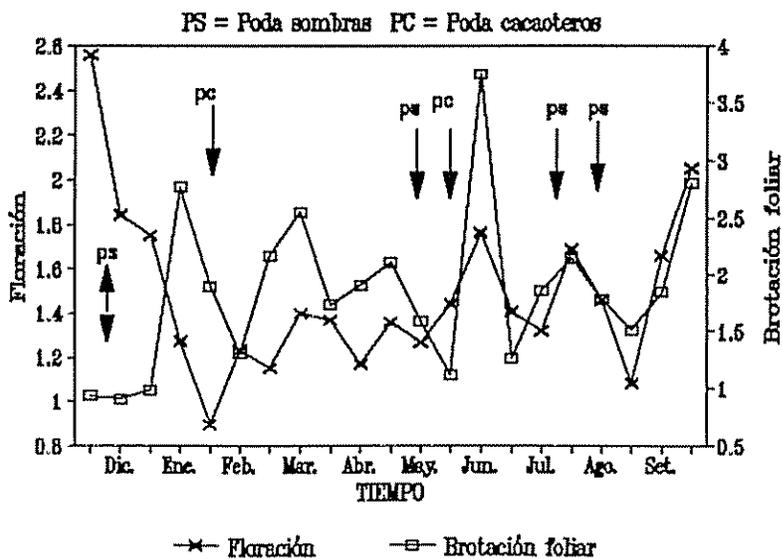
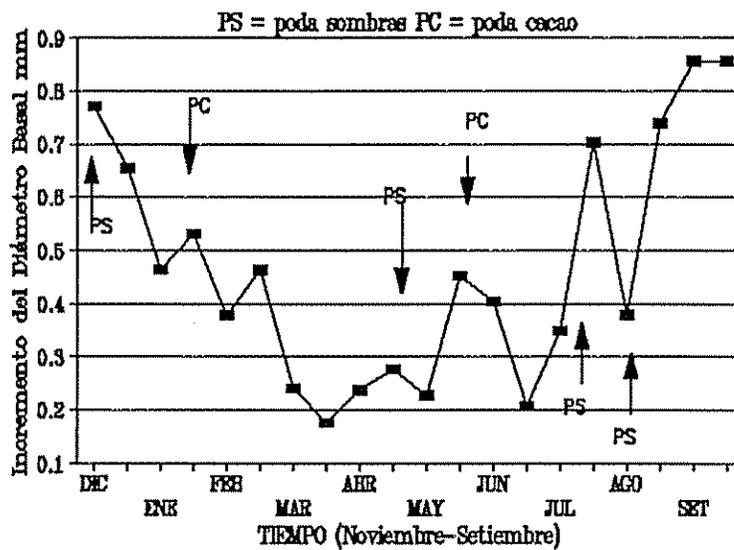
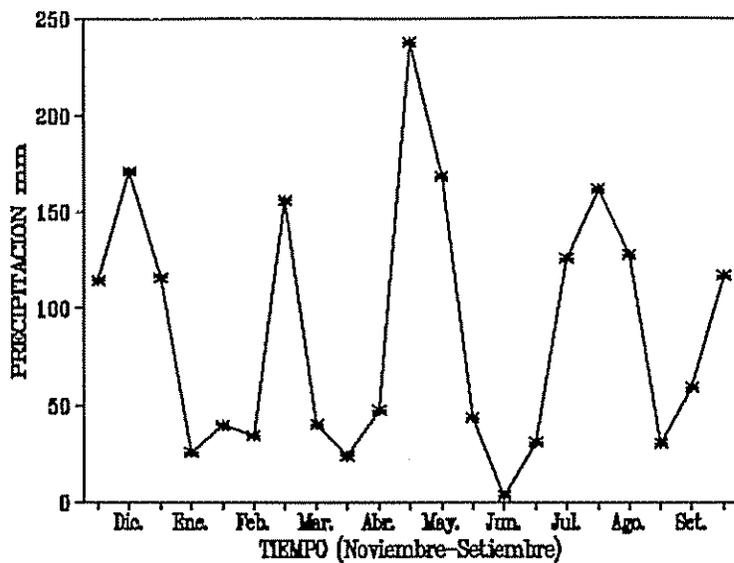


Fig. 3 Precipitación, incremento diamétrico y floración y brotación global por periodo de medición. Talamanca, Limón. 1992

4.2.1.3. Floración

Al igual que para la brotación foliar, durante el periodo de estudio siempre existieron algunos árboles de cacao en floración, pero esta se manifestó significativamente (0,01) más intensa en noviembre y setiembre. El 9 de junio y 22 de julio se presentaron dos picos menores.

En el momento de la primera poda de las sombras (diciembre) y de los cacaoteros (finales de noviembre), la floración iba disminuyendo y continuó con esta tendencia aún después de estas podas hasta llegar a un nivel mínimo a mediados de enero. Por otro lado, un mes después de la segunda poda de los árboles sombra y 15 días después de la de los cacaos, se presentó un pico (junio) en la floración. También existió otro pico (setiembre) en la floración de los cacaoteros un mes después de la poda de las guabas y dos después de la del madero negro y poró (Fig. 3).

No existió una correlación lineal entre la precipitación quincenal acumulada y los picos de floración de los árboles de cacao. Sin embargo, se pudo observar que los valores de alta floración (julio y setiembre) coincidieron con picos de precipitación. También se notó que los puntajes más bajos en la floración se obtuvieron entre enero y abril, meses de menor actividad pluvial (Fig. 3).

Para el periodo de evaluación, no se encontró correlación lineal entre la floración y la brotación foliar. Entre diciembre y febrero, se observó una relación inversa entre los

picos de los promedios de floración con respecto a los de brotación (Fig. 3). Sin embargo, de febrero a setiembre no se detectó relación definida entre estas dos variables.

4.2.1.4. Diámetro basal

Al final del periodo de evaluación el diámetro basal promedio para toda la población de árboles de cacao fue de 95 mm. Considerando todo el periodo evaluado (11 meses), el promedio del incremento del diámetro basal de los cacaoteros fue de 10 mm.

El promedio del incremento del diámetro basal por periodo (quincenal) fue de 0,5 mm. Los mayores incrementos en el diámetro basal de los árboles de cacao, se presentaron al principio y al final del periodo de evaluación, ocurrieron dentro del mes posterior a la primera y tercera poda de las sombras. Después de la segunda poda de las sombras se presentó un pico menor en el promedio del incremento del diámetro basal.

El mayor incremento (0,8 mm) se manifiesta en setiembre (últimas dos mediciones). En diciembre se obtuvo un pico que representa un incremento quincenal de 0,7 mm. En julio y agosto los incrementos mayores a 0,7 mm representan otros dos picos sobresalientes. Los menores incrementos diametrales ocurrieron entre mediados de febrero y principios de mayo con valores menores a los 0,30 mm (Fig. 3).

Podas de los árboles de sombra siempre fueron seguidas de incrementos sobresalientes en los diámetros basales, no así para el caso de las podas de los cacaoteros.

No existió correlación entre la precipitación (15 días antes de cada medición) y los incrementos diametrales de los árboles de cacao. Sin embargo, los incrementos diamétricos menores coincidieron con periodos de poca precipitación y viceversa (Fig. 3).

4.2.1.5. Número de chupones

El promedio de la producción quincenal de número chupones por árbol de cacao fue de 4,1 chupones. Durante la investigación, este promedio, osciló entre 1,2 y 8,2 chupones. Se destacaron tres picos máximos donde la cantidad en la aparición de nuevos chupones (\geq a 5,5) fue significativa (0,05) con respecto a las otras fechas de medición (Fig. 4).

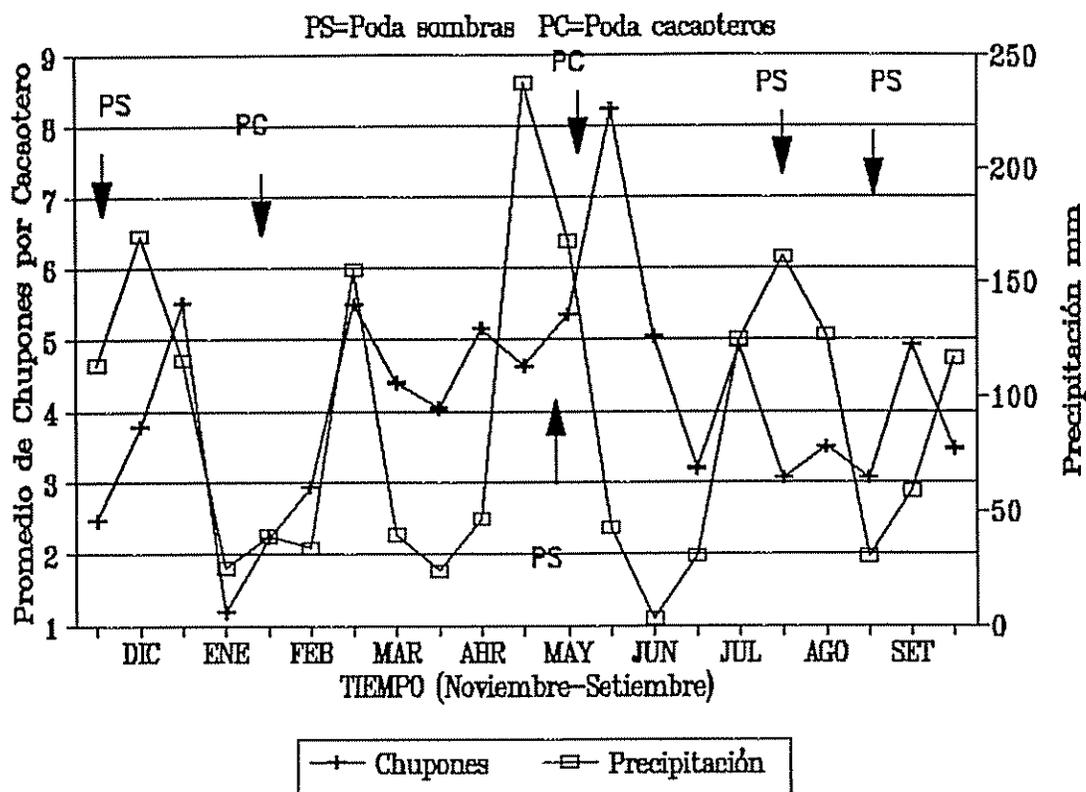


Fig. 4 Promedio de chupones por cacaotero y precipitación durante las fechas de medición. Talamanca, Limón.

El pico máximo en la aparición de chupones se presentó a finales de mayo, con un promedio poblacional de 8,2 chupones. A principios de enero y marzo, se destacaron dos picos menores con un promedio de 5,5 en ambos casos. La menor cantidad de chupones se registró a finales de enero con un promedio de 1,2 chupones por árbol de cacao.

Los picos máximos en el número de chupones aparecen un mes después de la primera y segunda poda de las sombras. También un mes después de la segunda poda de los árboles de cacao aparece un pico (el tercer máximo) en la cantidad de chupones (Fig. 4).

Si se observan los picos de precipitación y del promedio de chupones (Fig. 4), se nota una cercanía o coincidencia entre las inflexiones de estas dos curvas. El coeficiente de correlación lineal simple entre la precipitación (15 días antes de cada medición) y el promedio de chupones por medición, resultó relativamente alto ($r=0,57$).

4.2.2. Variaciones a nivel de dosel

A continuación se presentan los resultados de las respuestas de los árboles de cacao en términos de su brotación foliar, floración, diámetro basal y número de chupones bajo cada especie de sombra.

4.2.2.1. Resumen de las variables analizadas a nivel de sombras diferentes

En los tres tipos de sombras, todas las variables analizadas presentaron periodicidad. Sin embargo, en las sombras que permitieron mayor penetración de radiación solar, las variables analizadas se manifestaron con mayor magnitud. La floración fue la única variable que mostró diferencias altamente significativas (0,01) por efecto del tipo de sombra a lo largo del tiempo. Sin embargo, todas mostraron diferencias altamente significativas (0,01) por efecto de la interacción sombra*fecha de medición.

4.2.2.2. Brotación foliar

Bajo los tres tipos de sombras, siempre hubieron árboles de cacao con algún nivel de brotación foliar. En general, las épocas de máximas y mínimas brotaciones fueron muy similares bajo los tres tipos de doseles. En algunas ocasiones los picos en las brotaciones bajo el dosel de madero negro, se adelantaron 15 días con respecto a los de los otros cacaoteros con diferente sombra. Lo mismo sucedió 15 días después del descope de los árboles de poró (finales de mayo) pues en esta ocasión los árboles de cacao con sombra de poró adelantaron sus brotaciones con respecto a los de las otras sombras.

Los árboles de cacao bajo el dosel de poró mostraron las mayores fluctuaciones en sus brotaciones; las más bajas se presentaron bajo el madero negro (Fig. 5). La desviación estandar de los promedios de brotación foliar por tipo de sombra resultó mayor bajo el dosel de poró (0,89) y menor bajo madero negro (0,67).

En la Fig. 5, se puede apreciar la periodicidad de las brotaciones de los cacaoteros bajo cada tipo de sombrío. Nótese que en febrero y principios de abril, se adelanta un pico en las brotaciones bajo la sombra del madero negro. Igual situación se presenta a finales de mayo en las brotaciones de los cacaoteros bajo el dosel de poró. En julio, las brotaciones bajo el poró se presentaron con mayor magnitud respecto a los cacaoteros bajo los otros sombríos,

cabe recordar que en esta época la penetración de radiación solar en las parcelas de poró era significativamente (0,01) mayor que en la guaba y madero negro.

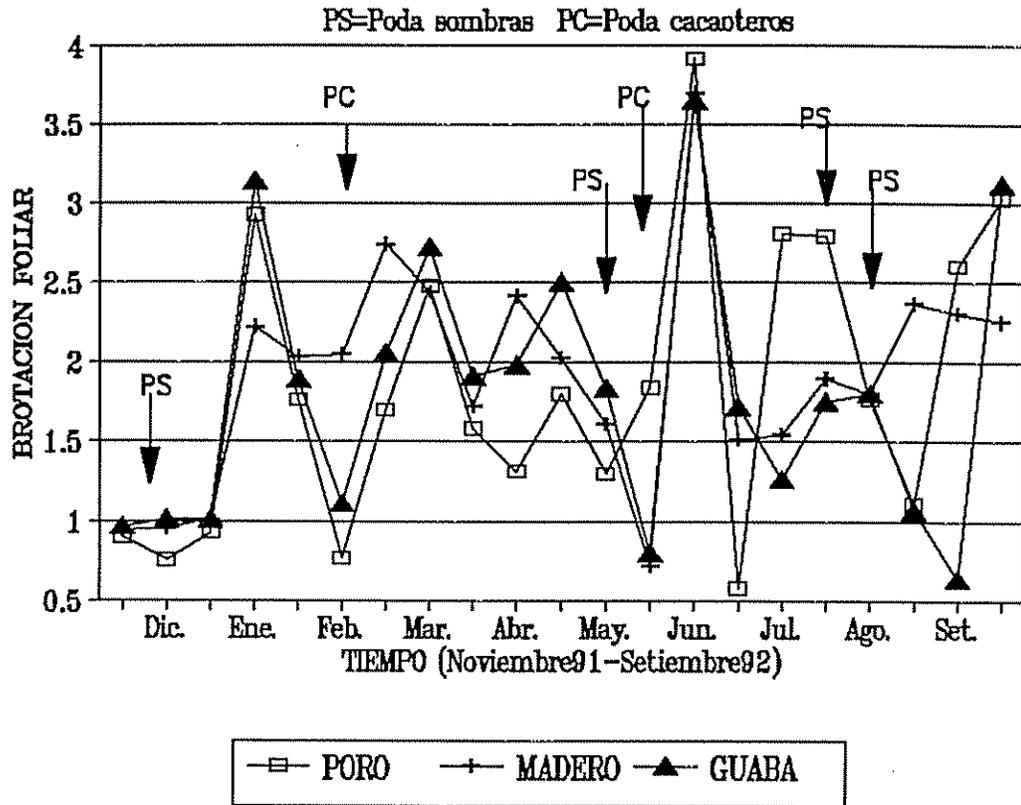


Fig. 5 Brotación foliar de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Margarita, Talamanca, Limón 1992.

Bajo las tres sombras hubo incrementos en las brotaciones después de mes y medio de las podas de los doseles como también después de 15 días de podados los árboles de cacao. El comportamiento de los cacaoteros en cuanto a sus brotaciones promedio por tipo de sombra a lo largo del tiempo, fue bastante similar. Lo anterior lo confirma el ANDEVA que no mostró diferencias significativas (0,05) entre los

promedios de brotación foliar a nivel de sombra para los 21 periodos de medición.

Por otro lado, si existió significancia (0,01) para la interacción fecha*sombras. Esto nos indica ciertas variaciones en las respuestas de los cacaoteros a lo largo del tiempo dependiendo del estado de la sombra (IPdir, IPdif).

4.2.2.3. Floración

En cada tipo de sombrío utilizado siempre hubo algún grado de floración en los cacaoteros. El patrón de la floración en los cacaoteros bajo cada tipo de dosel mostró altibajos similares a lo largo del tiempo, sin embargo usualmente la floración del cacao bajo el madero negro fue superior que bajo las otras sombras. Solo en las dos últimas mediciones (Fig. 6), fue más abundante la floración bajo el poró, el cual también presentaba valores superiores de penetración de radiación solar producto de las podas.

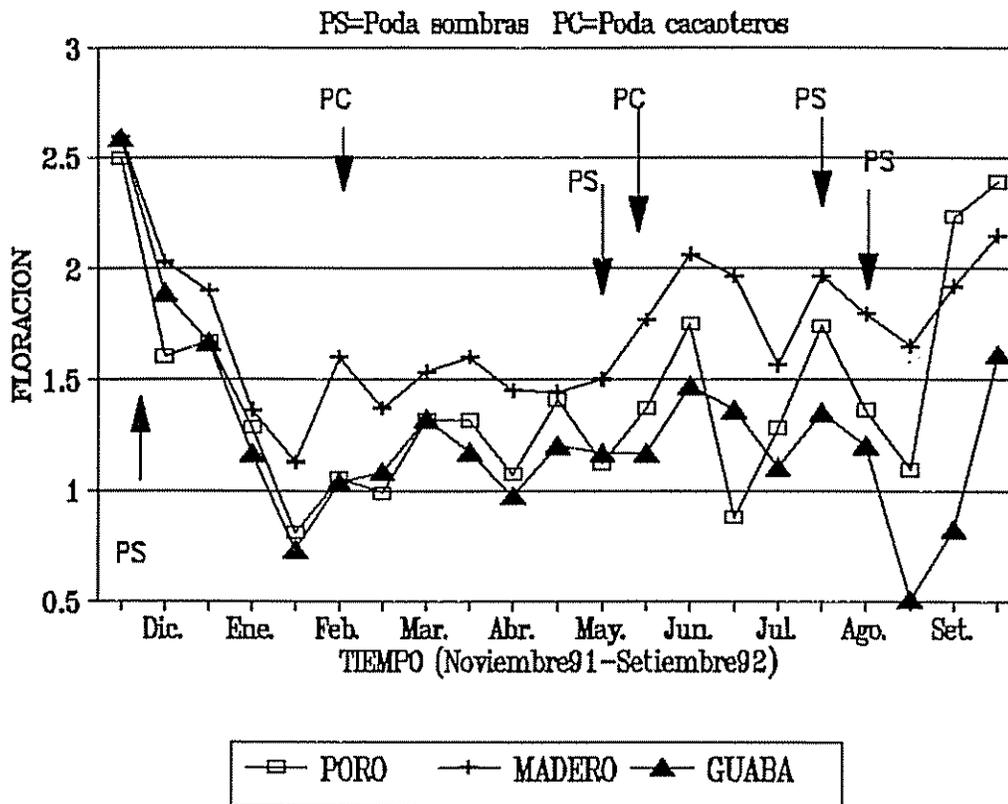


Fig. 6 Floración de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Margarita, Talamanca, Limón 1992.

En diciembre, la floración bajo las tres sombras, después de haber alcanzado un pico, mostró un comportamiento decreciente. Después de la primera poda de las sombras, en diciembre, se notó que aunque la floración continuó su disminución, hubo un cambio en la pendiente (Fig. 6) que evidenció un leve aumento para después continuar decreciendo. Posterior a la segunda poda de las sombras, hubo un claro aumento en la floración de todos los cacaoteros. Después del mes de la tercer poda de las sombras, también se registraron aumentos en la floración de los árboles de cacao.

Después de la primera poda de los cacaoteros hubo una disminución en su floración. Posterior a la segunda poda de los cacaoteros aumentó la floración sin embargo ya estaba en ascenso.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas (0,01) entre la floración de los cacaoteros por efecto del tipo de sombra utilizada. Además existió significancia (0,01) en la interacción fecha*sombra. La prueba de Tukey determinó diferencias significativas (0,05) entre los promedios de floración bajo la sombra del madero negro con respecto a las sombras de guaba y poró. No se detectaron diferencias significativas (0,05) entre la floración de los cacaoteros bajo la sombra de poró con respecto a la de guaba.

4.2.2.4. Diámetro basal

El incremento en el diámetro basal fue levemente mayor en los cacaoteros bajo madero negro, los cuales incrementaron su diámetro en un promedio de 10,1 mm. En la sombra de poró y guaba, los cacaoteros obtuvieron incrementos periódicos prácticamente iguales, 9,4 y 9,3 mm respectivamente.

El promedio del incremento quincenal en el diámetro basal de los cacaoteros bajo la sombra de madero negro resultó en 0,5 mm. Bajo los doseles de poró y guaba, los incrementos quincenales promedio resultaron iguales con valores de 0,4 mm.

Los incrementos diametrales de los cacaoteros fueron mayores bajo el dosel de madero negro. Sin embargo, los sombreados por el poró presentaban los diámetros mayores durante el periodo de evaluación. En la última medición, (15 de setiembre) los cacaoteros con sombra de poró presentaron un diámetro basal promedio de 98 ± 14 mm, y en los cacaoteros bajo la sombra de madero negro y guaba se registraron 96 ± 17 mm y 91 ± 17 mm, respectivamente.

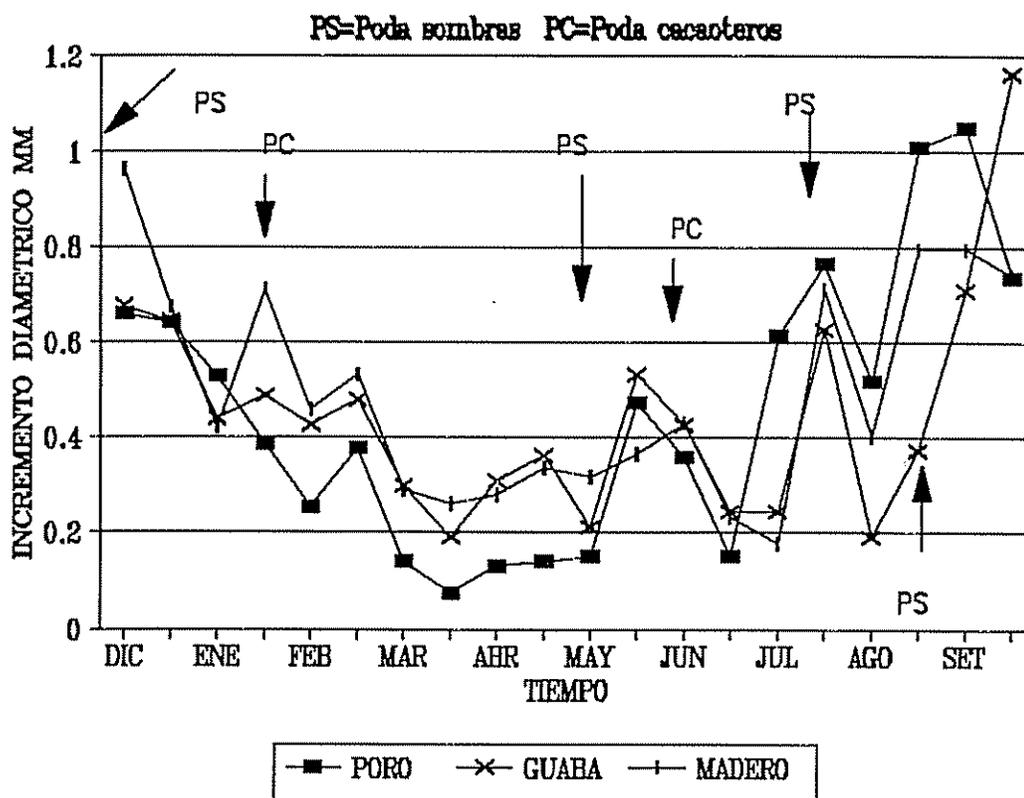


Fig. 7 Incremento quincenal del diámetro basal de cacaoteros bajo tres tipos de sombras arbóreas. Talamanca, Limón. 1992.

En la Fig. 7, se presenta el promedio del incremento diametral de los cacaoteros por tipo de sombra y a lo largo del periodo de mediciones. Nótese la similitud en los cambios de pendientes en las tres sombras. Cabe recalcar que antes del descope de los árboles de poró (poda de mayo), los cacaoteros bajo poró siempre presentaron los incrementos menores. Después de esta segunda poda (a partir de junio), aumentaron en su ritmo de incremento para ubicarse arriba de los promedios de las demás sombras (con excepción de la última medición).

Después de la segunda y tercera poda de las sombras se presentó un aumento en los incrementos diametrales de los cacaoteros. Por otro lado, después de las podas de formación de los cacaoteros los incrementos diametrales disminuyeron, (Fig. 7). El análisis de varianza no mostró diferencias significativas (0,05) entre los diámetros ni entre incrementos de los árboles de cacao por efecto del tipo de sombrío. Sí existió significancia (0,01) para la interacción sombra*fecha de medición.

4.2.2.5. Número de chupones

Siempre aparecieron chupones en los cacaoteros bajo los tres tipos de sombras. El promedio de chupones por árbol de cacao para todo el periodo de medición y por tipo de sombra fue de 4,8 chupones en poró, 3,9 en guaba y 3,6 en madero negro.

Después de cada poda de las sombras, siempre se manifestó un incremento en el promedio de chupones por cacaotero. Cabe destacar el pico en el número de chupones que apareció después de haberse realizado la poda total en los árboles de poró (descope de mayo) en relación a los chupones bajo las otras sombras podadas más levemente (Fig. 8).

En cuanto a las podas de formación de los cacaoteros, después de la primera hubo un incremento en la aparición de chupones nuevos y después de la segunda poda se dió una disminución (Fig. 8). Lo anterior no permite deducir ningún patrón definido entre estas podas y la producción del número de chupones.

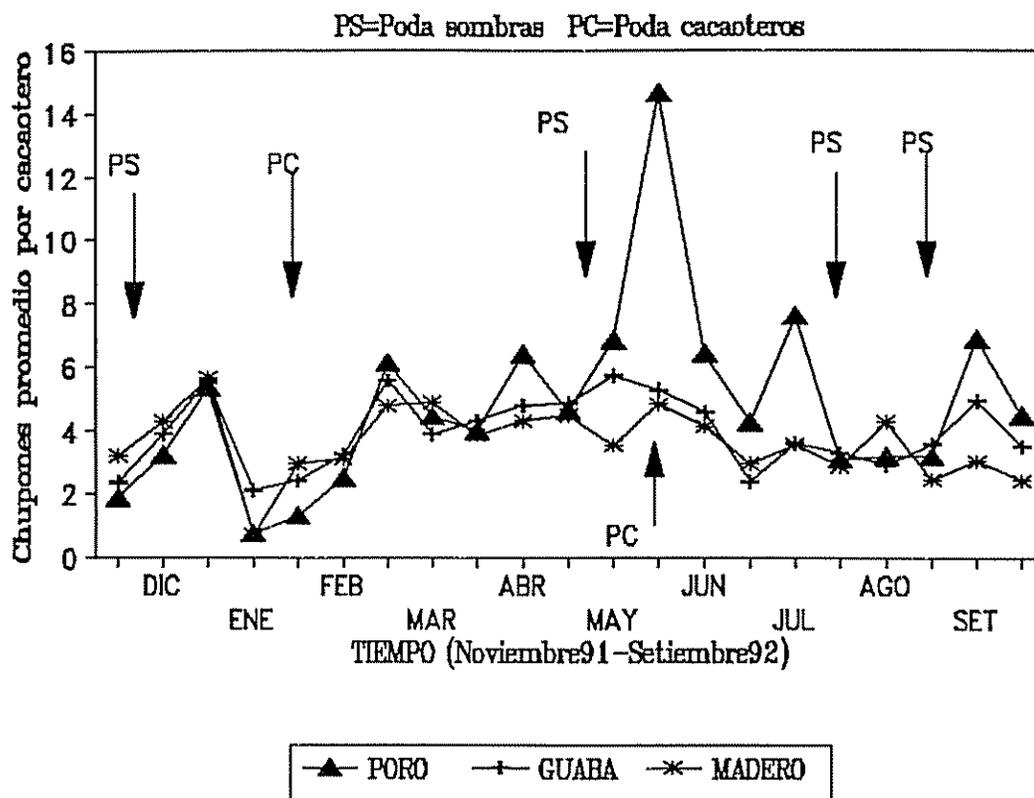


Fig. 8 Promedio del número de chupones por cacaotero bajo tres tipos de sombras arbóreas. Talamanca, Limón. 1992.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas (0,05) a nivel de sombra. Sin embargo se detectó alta significancia (0,01) en la interacción sombra*fecha de medición.

4.2.3. Variaciones a nivel de cruce interclonal

A continuación se presentan los resultados de las respuestas (brotación foliar, floración, diámetro basal y número de chupones) de los árboles de cacao a nivel de los diferentes cruces. Para el caso de la brotación foliar y la floración, los resultados se presentan en dos secciones, una utilizando el ANDEVA con los datos normalizados y la otra utilizando el indicador de disimilaridad (ID).

4.2.3.1. Resumen de las variables analizadas a nivel de cruce interclonal

El ANDEVA (parcelas sub-divididas) detectó diferencias significativas tanto en la brotación foliar como en la floración de los árboles de cacao a nivel de cruce. Para estas dos variables también se encontró significancia para la interacción cruce*fecha. Además para la brotación foliar existió significancia en la interacción cruce*fecha*sombra.

En cuanto al análisis utilizando el ID, se encontraron pocos ID significativos tanto en la variable brotación foliar como floración, el resto de las diferencias detectadas con el ID se atribuyen al azar. De los pocos ID significativos encontrados, una pequeña mayoría aparecen, tanto en la floración como en la variable brotación foliar, cuando se analizaron las respuestas de cruces iguales en sombras

diferentes. De cerca le siguió el porcentaje de ID significativos al analizar cruces diferentes en sombras iguales. Las comparaciones de cruces iguales en sombras iguales obtuvo los menores porcentajes de ID significativos (tanto para brotación foliar como floración).

Al analizar como variaba la cantidad total de ID significativos encontrados en las distintas comparaciones, se detectó que en la mayoría de los casos no existían diferencias significativas (0,05) entre estos totales de ID con respecto a los diferentes niveles analizados (sombra, cruce). También se detectó, en pocos casos, significancia (0,01) en la interacción cruces*sombras.

Para la variable diámetro basal en la última medición, existieron diferencias altamente significativas a nivel de cruce. A nivel de incremento diametral existió significancia (0,01) en la interacción cruce*sombra. Por último, los árboles de cacao mostraron diferencias altamente significativas con respecto a la variable número de chupones a nivel de cruce.

4.2.3.2. Brotación Foliar

4.2.3.2.1. ANDEVA con datos normalizados

Los resultados del ANDEVA mostraron diferencias altamente significativas (0,01) entre las brotaciones foliares de los árboles de cacao a nivel de cruce a lo largo del tiempo. Las pruebas de Tukey (0,05) determinaron que el cruce "UF613 X IMC67" presentó las mayores brotaciones foliares a lo largo del periodo de evaluación. Los valores significativamente menores los obtuvo el cruce "Pound7 X UF668". El resto de los 4 cruces se mantuvo con valores intermedios y sin diferencias significativas entre sí.

No se detectaron diferencias significativas (0,05) para la interacción cruce*sombra. Por otro lado, existieron diferencias altamente significativas (0,01) para la interacción cruce*fecha y para la interacción cruce*fecha*sombra. No se detectó ningún tipo de correlación lineal a nivel de cruce entre las variables brotación foliar y floración a lo largo del tiempo.

4.2.3.2.2. Indicador de disimilaridad (ID)

Como se detalló en la metodología, para la evaluación de la brotación foliar a nivel de cruce, se desarrolló un indicador de disimilaridad (ID). Los resultados obtenidos al calcular los 7371 ID de las brotaciones, indicaron que la mayoría de las diferencias pudieron ser efecto del azar. En otras palabras, se encontró un porcentaje muy bajo de ID significativos (0,04) en todas las posibles combinaciones pareadas de cruces interclonales dentro y entre las sombras utilizadas.

A continuación se presenta un análisis de los casos en que se encontraron diferencias significativas.

Cuando se comparó la brotación foliar de cada cruce bajo sombras diferentes el 9,6% de todas las comparaciones resultaron estadísticamente diferentes (0,04). Las diferencias fueron más marcadas cuando se compararon las brotaciones de un mismo cruce entre la sombra de poró contra la sombra de guaba (11%). Comparaciones entre poró y madero negro resultaron en un 9,3% con ID significativos. Por último, comparaciones entre las brotaciones bajo la sombra de guaba contra la de madero negro produjeron 8,6% de ID significativos (Cuadro 2).

El cruce "Catongo X Pound12", mostró las brotaciones más variables entre las sombras (15%); el "Pound7 X UF668" y el "UF613 X IMC67" ambos con un 6% de ID significativos

obtuvieron los porcentajes más bajos o sea presentaron las brotaciones foliares más constantes entre las sombras (Cuadro 2).

CUADRO 2 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones).

CRUCE	SOMBRA COMPARADA			Total
	poró-madero	poró-guaba	guaba-madero	
C1	9,0	11,1	11,6	10,6
C2	5,8	4,8	7,4	6,0
C3	14,3	15,9	13,8	14,6
C4	8,5	6,3	3,2	6,0
C5	8,5	14,8	5,8	9,7
C6	10,0	12,2	10,0	10,8
Total	9,3	10,8	8,6	9,6

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Un ANDEVA con estos datos mostró diferencias significativas (0,05 y 0,01) entre los totales de ID a nivel de cruces, no así para los efectos de sombras. En un solo caso se detectó diferencia significativa (0,01) en la interacción cruce*sombra.

Cuando se compararon (2835 comparaciones) diferentes cruces en una misma sombra solo se detectaron diferencias significativas en un 4% de los casos. Dentro de este estrecho margen de diferencias las mayores variaciones se detectaron en guaba (4,2%) y las menores en poró (2,1%). Las comparaciones

de los cruces "UF676 X IMC67" con "UF613 X IMC67", fueron las más variadas (6,3%); las comparaciones entre "Pound7 X UF668" y "UF29 X UF613" fueron la menos variadas (Cuadro 3).

Cuadro 3 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de diferentes cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).

PARES DE CRUCES	SOMBRAS			
	PORO	GUABA	MADERO	TOTAL
C1-C2	3,2	11,1	4,8	6,3
C1-C3	3,2	6,3	0,0	3,2
C1-C4	0,0	3,2	4,8	2,6
C1-C5	3,2	7,9	1,6	4,2
C1-C6	4,8	1,6	4,8	3,7
C2-C3	4,8	7,9	6,3	6,3
C2-C4	0,0	4,8	7,9	4,2
C2-C5	3,2	3,2	4,8	3,7
C2-C6	1,6	11,1	0,0	4,2
C3-C4	4,8	1,6	1,6	2,6
C3-C5	4,8	9,5	3,2	5,8
C3-C6	3,3	7,9	1,6	4,2
C4-C5	3,2	0,0	3,2	2,1
C4-C6	0,0	4,8	3,2	2,6
C5-C6	4,8	6,3	6,3	5,8
TOTAL	2,1	4,2	2,6	4,1

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Un ANDEVA con estos datos indicó que no existían diferencias significativas (0,05) por efecto de las sombras ni de los cruces. Solo en un caso, el ANDEVA indicó la existencia de una interacción significativa cruces*sombra.

Una comparación entre bloques (mismos cruces en iguales sombras) resultó en pequeños porcentajes de diferencias significativas (3,3%). Dentro de este rango, la mayor variabilidad se observó bajo guaba (4,5%). A nivel de cruce la mayor variabilidad (6,3%) se observó en "UF29 X UF613" (Cuadro 4).

Cuadro 4 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones)

CRUCE	SOMBRA COMPARADA			Total
	poró-poró	guaba-guaba	madero-madero	
C1	3,2	6,3	0,0	3,2
C2	1,6	1,6	0,0	1,1
C3	0,0	7,9	3,2	3,7
C4	1,6	1,6	0,0	1,1
C5	7,9	6,3	4,8	6,3
C6	4,8	3,2	4,8	4,2
Total	3,2	4,5	2,1	3,3

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Resumiendo, el porcentaje más alto de comparaciones estadísticamente significativas se obtuvo comparando cruces iguales dentro de sombras diferentes; los porcentajes más bajos se obtuvieron comparando diferentes cruces bajo iguales sombras.

4.2.3.3. Floración

4.2.3.3.1. ANDEVA con datos normalizados

Los resultados del ANDEVA mostraron diferencias significativas (0,05) entre la floración de los árboles de cacao a nivel de cruce a lo largo del tiempo. El cruce que presentó mayor floración durante la evaluación fue el "UF613 X Pound12" y las menores floraciones correspondieron al cruce "UF29 X UF613".

No se detectaron diferencias significativas (0,05) para la interacción cruce*sombra. Por otro lado sí existieron diferencias altamente significativas (0,01) en la interacción cruce*fecha.

4.2.3.3.2. Indicador de disimilaridad (ID)

De las 7371 diferentes comparaciones en la floración de los cruces dentro y entre las diferentes sombras, sólo el 6,8% resultaron con ID significativos (0,04). Sobre este pequeño porcentaje se concentra el análisis.

Cuando se comparó la floración (4536 comparaciones) de iguales cruces en diferentes sombras, 7,5% resultaron con ID significativos (0,04). De este, el mayor porcentaje (9,5%), se obtuvo cuando se comparó la floración de iguales cruces

entre la sombra de guaba y la de madero negro. Comparaciones entre poró y madero negro resultaron con el 7,1% de los ID significativos. Por último (5,7%) se ubicaron las comparaciones entre poró y guaba.

El cruce "UF613 X IMC67" mostró floraciones más variables entre sombras (16%); el cruce "UF676 X IMC67" fue el que varió menos (4,1%), en cuanto a su floración en sombras distintas (Cuadro 5).

CUADRO 5 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones).

CRUCE	SOMBRA COMPARADA			Total
	poró-madero	poró-guaba	guaba-madero	
C1	5,8	4,2	2,1	4,1
C2	16,4	11,6	20,1	16,0
C3	7,9	4,8	10,6	7,8
C4	4,2	2,1	7,4	4,6
C5	4,2	5,8	10,0	6,7
C6	4,2	5,8	6,9	5,6
Total	7,1	5,7	9,5	7,5

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Un ANDEVA con los ID significativos para las comparaciones mencionadas (Cuadro 5), no detectó diferencias significativas (0,05), en la mayoría de los casos. Sin embargo, en dos de los nueve ANDEVA (total necesario para este tipo de comparaciones), se determinaron diferencias altamente

significativas (0,01) por efecto de cruce. Sólo en una ocasión se detectaron diferencias significativas (0,05), por efecto sombras (en la comparación guaba-madero negro con respecto a guaba-poró).

Cuando se compararon (2835 comparaciones) diferentes cruces en iguales sombras, sólo el 5,6% resultó estadísticamente significativo. Las mayores variaciones se encontraron bajo madero negro (7,8%) y las menores bajo guaba (Cuadro 6).

Las comparaciones entre los cruces "UF613 X IMC67" con "UF29 X UF613" mostraron la mayor variación en sus floraciones (12,7%); la menor variación (1,6%), correspondió a los cruces "Catongo X Pound12" y "UF613 X Pound12" (Cuadro 6).

Cuadro 6 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de diferentes cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones).

PARES DE CRUCES	SOMBRAS			TOTAL
	PORO	GUABA	MADERO	
C1-C2	14,3	1,6	7,9	7,9
C1-C3	6,3	3,2	3,2	4,2
C1-C4	1,6	0,0	7,9	3,2
C1-C5	4,8	1,6	4,8	3,7
C1-C6	4,8	4,8	7,9	5,8
C2-C3	4,8	4,8	1,6	3,7
C2-C4	12,7	9,5	14,3	12,2
C2-C5	1,6	4,8	31,7	12,7
C2-C6	3,8	4,8	4,8	4,2
C3-C4	4,8	3,2	0,0	2,6
C3-C5	4,8	6,3	15,9	9,0
C3-C6	0,0	0,0	4,8	1,6
C4-C5	4,8	4,8	1,6	3,7
C4-C6	1,6	3,2	3,2	2,6
C5-C6	9,5	4,8	7,9	7,4
TOTAL	5,2	3,8	7,8	5,6

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Un ANDEVA con estos datos no detectó diferencias significativas (0,05) en la mayoría de los casos por efecto de cruce, tipo de sombra o en la interacción cruceXsombra. Dos de 6 ANDEVA mostraron diferencias significativas (0,01) en la interacción cruceXsombra. En solo un caso se detectó un efecto significativo debido a cruces ("UF613 X IMC67" con el "Pound7 X UF668").

Para visualizar los resultados por efecto de bloque, se comparó la floración de iguales cruces dentro de sombras iguales. Sólo 6% de las comparaciones fueron estadísticamente

significativas (68 de 1134 posibles comparaciones). De éstas, los mayores efectos significativos por sombra (3,2%) se detectaron bajo guaba (Cuadro 7). El efecto de cruce más significativo (15,3%) se detectó en el cruce "UF613 X IMC67"; el cruce "Pound7 X UF668", fue el menos variable (Cuadro 7).

Cuadro 7 Porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas para la floración de iguales cruces interclonales entre sombras iguales (21 evaluaciones)

CRUCE	SOMBRA COMPARADA			Total
	poró-poró	guaba-guaba	madero-madero	
C1	9,5	0,0	4,8	4,7
C2	7,9	4,8	33,3	15,3
C3	3,2	0,0	11,1	4,7
C4	1,6	0,0	0,0	0,5
C5	4,8	11,1	9,5	8,5
C6	1,6	3,2	1,6	2,1
Total	4,8	3,2	10,0	6,0

NOTA: CRUCE = Cruces interclonales de cacao:
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67";
 C3="CATONGO X POUND12"; C4="POUND7 X UF668";
 C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

Resumen, de las floraciones de iguales cruces bajo diferentes sombras, sólo un pequeño porcentaje (6,5%) fueron estadísticamente significativas. De este pequeño porcentaje, la mayoría se presentó al comparar cruces iguales en sombras diferentes. En algunos casos, se presentaron interacciones significativas (0,05) por efecto de cruce*sombras.

4.2.3.4. Diámetro Basal

El análisis de varianza de los resultados de los diámetros basales para la última fecha de medición, mostraron diferencias altamente significativas (0,01) por efecto de los cruces. La prueba de Tukey determinó diferencias significativas (0,05) entre el cruce interclonal "Pound7 X UF668" que obtuvo el mayor diámetro basal (99,7 mm) con respecto a los cruces "Catongo X Pound12" y "Uf29 X UF613" con 90,6 y 90,1 mm de diámetro basal, respectivamente.

No hubo diferencias significativas (0,05) en el incremento diamétrico quincenal por efecto de cruces. Sin embargo, sí existió alta significancia (0,01) en la interacción sombra*cruce interclonal.

4.2.3.5. Número de Chupones

El análisis de varianza para el número de chupones por época de medición detectó diferencias altamente significativas (0,01) a nivel de cruce. Las diferencias entre el número de chupones (según prueba de Tukey al 0,05), correspondieron al cruce interclonal "UF613 X IMC67" con el mayor promedio de chupones por medición (5,8) con respecto al cruce "UF613 X Pound12" con el menor número de chupones promedio por medición (1,9). No se detectaron diferencias significativas (0,05) a nivel de interacción tipo de sombra*cruce ni tampoco a nivel de fecha*cruce.

5. DISCUSION

Con base en los resultados obtenidos, se rechazaron las hipótesis planteadas al principio de la investigación, pues sí se encontraron diferencias significativas (0,05) entre la penetración de radiación solar (IPdir, IPdif) de las tres sombras a lo largo del tiempo. También se detectaron diferencias en la floración de los cacaos por efecto de la sombra utilizada y diferencias a nivel de interacción sombra*cruce interclonal para la variable diámetro basal. El efecto de los cruces interclonales resultó notorio en todas las variables analizadas salvo en los índices de penetración de radiación solar.

Fue evidente la influencia de los tipos de sombrero utilizados, en la magnitud de las respuestas fenológicas y de crecimiento de los cruces interclonales de cacao evaluados. Los doseles utilizados presentaron diferencias significativas en los índices de penetración de radiación solar, que resultaron en diferencias significativas en las respuestas de los árboles de cacao. Los factores endógenos (variabilidad genética de los cruces interclonales) también influyeron en las manifestaciones fenológicas de los cacaoteros.

La floración del cacao fue superior bajo el dosel de madero negro salvo en las dos últimas evaluaciones, donde fue superado por el cacao bajo poró. Por otro lado, el porcentaje de penetración de radiación solar siempre fue mayor en el dosel de madero negro con excepción de las últimas evaluaciones, donde por efectos de la poda total lo superó el

dosel de poró. Lo anterior indica que las respuestas de floración fueron siempre mayores cuando existió mayor penetración de radiación solar en los doseles. Para el caso del poró y la guaba (antes de la poda total del poró), la floración fue muy similar y sus diferencias en penetración de radiación solar no resultaron tan marcadas.

Los resultados anteriores coinciden con experimentos en Ghana, (Asomaning, Kwakwa y Hutcheon, 1971) donde bajo tres niveles de sombra (liviana, mediana y a pleno sol) los cacaoteros siempre florecieron más al disminuir el nivel de sombrío. Young (1984), en ensayos en la zona Atlántica de Costa Rica, destacó que el tipo de sombrío es una influencia secundaria sobre la floración del cacao y menciona que sombras densas reducen su intensidad. Otros autores (Ampofo y Bonaparte, 1978; Bonaparte y Ampofo, 1978) también han encontrado una disminución en la floración por efecto del mayor sombrío del cacaotal. Por otro lado Boyer (1972), menciona que bajo una "sombra moderada", el promedio del número de flores es mayor que en cacaoteros a plena exposición solar.

Para el caso de las brotaciones foliares se notó que, después de la ocurrencia de cambios bruscos en la penetración de radiación solar (podas del dosel), éstas presentaron las mayores fluctuaciones en su intensidad. Las brotaciones fueron más intensas bajo los dos doseles donde hubo cambios más grandes en el sombrío (poró y la guaba). Después de la segunda poda de las sombras, se presentó la brotación foliar

más intensa del periodo bajo los tres doseles. Este pico en la brotación fue un poco mayor en las parcelas de poró, que debido a su descope se encontraba prácticamente a cielo abierto. A partir de esta segunda poda, las brotaciones foliares en los cacaoteros en parcelas de poró presentaron los picos más altos y más bajos. La poda de los cacaoteros unos 25 días después de la segunda poda de las sombras, posiblemente ayudó a incrementar las brotaciones foliares (Leite y Muller, 1983).

Otros autores, que por lo general presentan un testigo sin sombra que permite comparaciones en condiciones más extremas, informan que las brotaciones foliares fueron más intensas y de mayor frecuencia, en condiciones de menor sombrero o a pleno sol con respecto al comportamiento de los cacaoteros más sombreados (Bonaparte y Mensah, 1977; Frimpong y Adomako, 1987; Adomako y et al, 1990; Greenwood y Posnette, 1950; Majer, 1972; Taylor y Hadley, 1987; Bonaparte, 1967).

En las comparaciones de floración y de la brotación foliar, se presentaron respuestas fenológicas diferentes de los cruces interclonales y entre las tres sombras utilizadas. Los resultados anteriores demuestran que las variaciones fenológicas entre los cacaoteros se deben tanto al efecto de sombras diferentes (microclima) como también al efecto del cruce interclonal (factor endógeno). Alvim (1977), explica la variabilidad en la floración de los cacaoteros por efecto de diferencias genotípicas y Young (1984), atribuye a este factor algunas de las diferencias en la floración entre árboles de

cacao de diferentes localidades. Sin embargo, menciona que los valores más altos se obtuvieron en las comparaciones entre sombras (no entre cruces interclonales), por lo que hace pensar que aunque la influencia genotípica está afectando, el efecto de sombra tiene mayor importancia en la magnitud de las respuestas fenológicas. Una hipótesis parecida es planteada por Batista y Alvim (1981) en un ensayo de los efectos del genotipo y la intensidad lumínica en la elongación de los ejes ortotrópicos del cacao. Estos autores mencionan, que la manifestación del genotipo es frecuentemente opacada o superada por la acción de factores externos cuando se consideran variaciones en las alturas de fuste de los árboles de cacao. En cuanto al efecto de la sombra sobre las relaciones de diámetro de tallo y peso de árbol en plántulas de cacao Mabey (1967), también atribuye a factores externos mayor significancia que al efecto de genotipos diferentes.

Los resultados de los incrementos del diámetro basal de los cacaoteros, en los 21 periodos de medición, determinaron diferencias significativas para la interacción sombra*cruce interclonal y para la interacción sombra*fecha de medición. Estos resultados reafirman la importancia del tipo de sombra utilizada en las respuestas de los árboles de cacao. Los incrementos mayores se dieron bajo el dosel de madero negro, el cual presentó una sombra menos densa en la mayor parte de la evaluación. Cabe mencionar que los picos máximos en el incremento diametral se obtuvieron un mes después de las podas de las sombras y en periodos de abundante precipitación.

Para el número de chupones por época de medición, se encontraron diferencias altamente significativas (al 0,01) por efecto de la fecha de medición y por efecto de la interacción fecha*sombra. Este análisis, aparte de indicar una contribución indirecta por parte del tipo de sombrero utilizado en la cantidad de aparición de chupones, sugiere la influencia de algún otro factor externo responsable de la diferencia significativa del efecto fecha. Si se observa la distribución de las lluvias a lo largo del periodo de evaluación (Fig. 5) y los resultados del número de chupones por periodo, pareciera que la distribución de las precipitaciones sea uno de los factores externos responsables de la significancia a nivel de fechas.

Debido a la cantidad de factores externos y endógenos que pueden afectar la cantidad del número de chupones por periodo, el coeficiente de correlación simple de 0,57 obtenido entre el número de chupones y cantidad de precipitación por periodo resulta importante.

Además de factores externos mencionados, el factor tipo de cruce interclonal, fue responsable de parte de las diferencias significativas (al 0,05) en la aparición de número de chupones por cacaotero por periodo de medición. La significancia de las variaciones fenológicas en los cacaoteros, producto de las diferencias en los doseles utilizados como sombrero, es contundente.

Con respecto a las teorías que han sido mencionadas por varios autores (Alvim, 1979; Adomako *et al.*, 1990; Ampofo y Bonaparte, 1978; Alvim, 1977; Wood y Lass, 1985; Taylor y Hadley, 1987), con respecto a los factores primordiales en el control de los procesos fenológicos del cacao, los resultados de la presente investigación apoyan a las corrientes que relacionan a los efectos de radiación solar como los principales. Sin embargo, también hubo resultados que coinciden con la hipótesis de la hidroperiodicidad, como se observó en el caso del número chupones y en forma cualitativa en la posible relación brotación foliar-precipitación.

Al considerar, el tipo de manejo que se ha implementado en las sombras del ensayo, los resultados obtenidos en la presente investigación y experiencias de otros autores, surgen varias inquietudes. Se puede notar que solo el dosel del madero negro presentó valores cercanos a los recomendados como óptimos (de un 25 a 50% de sombra) para el sombrío de cacaotales ya establecidos (Batista y Alvim, 1981; Galindo, Phillips y Pineda, 1991).

La sombra suministrada por el poró presentó fluctuaciones extremas en el transcurso de la investigación. Este sombrío resultó con los valores promedios más bajos (hasta un 12 % de IPg o 88% de sombra) y más altos (más de 87% de IPg o menos de 13% de sombra). Nygren (1991), mediante simulaciones, hace mención a estos cambios bruscos en el régimen de radiación solar durante el crecimiento del poró después de podas fuertes. Esta situación del poró es doblemente indeseable,

pues por un lado, al permanecer gran parte del tiempo (durante 4 a 5 meses) con una sombra demasiado densa (más del 70% de sombra), repercute en una menor producción de grano de cacao (Ahenkorah *et al*, 1987), y favorece a la mayoría de los patógenos que lo atacan (Phillips, 1992). Por otro lado, el "saltar" de un nivel de sombreamiento extremo a una casi total exposición solar (de 12,9% de IPg a más de 85%), puede provocar la fotoinhibición de la fotosíntesis y resultar en una foto-oxidación de pigmentos fotosintéticos y la eventual muerte de las hojas (Raja Harun y Hardwick, 1987).

Aunque las podas drásticas del poró se llevan a cabo considerando las condiciones climáticas para lograr coincidir con periodos de mayor nubosidad, es bien sabido lo rápido que pueden cambiar las condiciones meteorológicas en la zona de estudio y esto siempre será un riesgo. Cabe añadir las respuestas extremas que se dieron en las brotaciones foliares de los cacaoteros bajo poró después de la segunda poda de este sombrío. Estas grandes fluctuaciones en las brotaciones (aparte del estrés para la planta), implicarán gran utilización de los fotositatos en crecimiento plagiotrópico con la eventual reducción de éstos para otros procesos y el posible aumento en secamiento prematuro de frutos (Alvim, 1977). También se deben considerar las plagas y enfermedades que se sabe están relacionadas con cacaoteros a pleno sol (Wood y Lass, 1985; Phillips, 1992).

Para el caso del dosel de guaba, la situación a lo largo de la evaluación indicó niveles de sombra siempre más altos a los recomendados con los inconvenientes del exceso de sombrío ya mencionados para poró. De los argumentos hasta el momento surge la interrogante de ¿cómo lograr niveles más adecuados de sombrío por parte de los doseles? La respuesta es diferente según el tipo de dosel con que se trabaje. Pareciera que una solución práctica pueda ser el podar menos intensamente pero más frecuentemente para el caso de poró. Sin embargo, esta práctica implica decisiones de tipo económico que podrían resultar prohibitivas. Otra solución podría ser el ralear el dosel de poró. Sin embargo, se debe tener en cuenta que al ralear y podar menos los porós, éstos puedan representar un problema mayor debido a las grandes dimensiones que logra alcanzar esta especie bajo este manejo.

En el caso de la guaba, donde se necesita aumentar la penetración de radiación solar, al hacerlo, se debe tener el cuidado de no "sobrepodar" pues, por experiencias en la zona de estudio, parece que la especie es bastante sensible a podas fuertes. Dado lo anterior y a que la poda en guaba es más fácil que en poró, la solución parece estar en podar en forma leve y aumentar su frecuencia (3 al año en vez de las 2 que se venían dando) o en ralear y disminuir la frecuencia de poda.

El madero negro, dada las condiciones del área, es el dosel que reúne las condiciones más deseables como árbol de servicio para los cacaoteros. Bajo este dosel se presentó mayor intensidad de floración, mayor producción de grano de

cacao y brotaciones foliares no tan extremas. A pesar de las bondades del madero negro, se debe tener cuidado en su manejo. Se debe buscar un equilibrio entre podas muy fuertes, que como en la guaba pueden provocar mortalidad de individuos, y podas demasiado leves, como en el caso de su segunda poda, que no resulten en una mayor penetración de radiación solar.

En la presente investigación, en la época más seca del año, la pérdida de hojas en el dosel de madero negro no fue muy intensa por lo que no representó un problema serio. Sin embargo, para aminorar la caída natural de su follaje, se recomienda una poda leve antes de la época más seca, para estimular su brotación foliar y abortar el periodo de defoliación (Wood y Lass, 1985).

En resumen, considerando recomendaciones del nivel de sombra ideal (entre 25 y 50% de sombra) en cacaoteros establecidos (Galindo, Phillips y Pineda, 1991), se debe aumentar el grado de penetración de radiación solar en los doseles de guaba y poró. Lo anterior se puede lograr ya sea aumentando la frecuencia de podas o mediante el raleo (con podas menos frecuentes). La escogencia dependerá del análisis económico correspondiente. Para el caso del madero negro, no se requiere de mayores cambios para lograr el grado de sombrío recomendado.

6. CONCLUSIONES

El índice de penetración de radiación solar varió de acuerdo con la especie de leguminosa arbórea utilizada y fué máximo para el madero negro durante el periodo comprendido entre la primera y segunda poda de los doseles.

La sombra formada por el dosel del poró presentó valores extremos en cuanto a sus índices de penetración de radiación solar a lo largo del tiempo. El poró presentó el mayor crecimiento en cuanto a copa al presentar las curvas de IPdir e IPdif con las pendientes más pronunciadas posterior a los periodos de poda.

En las sombras que permitieron mayores índices de penetración de radiación solar, las variables de respuesta medidas en los cacaoteros tendieron a aumentar en su magnitud. Se detectaron aumentos en las respuestas de brotación foliar, floración, incremento diametral quincenal y producción de chupones, después de llevar a cabo las podas de los doseles. En las sombras que presentaban mayores índices de penetración de radiación solar, existieron adelantos en los picos de las brotaciones foliares de los cacaoteros. Las brotaciones foliares del cacao obtuvieron los valores más extremos bajo el dosel de poró.

El tipo de sombra utilizada afectó significativamente a la floración de los cacaoteros, la cual fue mayor bajo el dosel de madero negro. También bajo la sombra del madero

negro el incremento en el diámetro de los árboles de cacao resultó favorecido.

Existieron diferencias significativas en la floración, brotación foliar, diámetro basal y número de chupones a nivel de cruce interclonal. Existió una interacción, donde la magnitud de las respuestas tanto en la fenología como en el incremento diametral de los cruces interclonales de cacao, eran afectadas por el tipo de sombra utilizada. También se encontró una interacción fecha de evaluación-tipo de sombra utilizada en las variables de respuesta (brotación foliar, floración, incremento diametral y producción de chupones de los cacaoteros) analizadas.

Tanto en la brotación foliar como en la floración, en el efecto tipo de sombra, los porcentajes totales de indicadores de disimilaridad (ID) significativos fueron un poco más altos que para el efecto tipo de cruce interclonal, lo cual refleja una mayor influencia por tipo de sombrero (microclima) que por genotipo (tipo de cruce interclonal utilizado) en las respuestas de los cacaoteros.

7. LITERATURA CITADA

- ADOMAKO, D.; FRIMPONG, E.B.; AMPOFO, S. T.; BREW, K.M. 1990. Observations on cocoa flushing in Ghana under different shade regimes, with particular reference to the distribution of natural light. *Planter (Malasia)* 66 (776):565-579.
- AHENKORAH, Y.; AKROFI, E.S.; ADRI, A.K. 1974. The end of the first cocoa shade and manurial experiment at the Cocoa Research Institute of Ghana. *Journal of Horticultural Science (G.B.)* 49:43-51.
- _____; HALM, B.J.; APPIAH, M.R.; AKROFI, G.S.; YIRENKYI, J.E.K. 1987. Twenty years' results from a shade and fertilizer trial on Amazon cocoa (*Theobroma cacao*) in Ghana. *Experimental Agriculture (G.B.)* 23:31-39.
- ALLEN, E.F. 1953. Investigations into the cultivation of cacao in Malaya. *Malaysian Agricultural Journal (Malasia)* 36(3):147-162.
- ALVIM, P. de T. 1958. El problema del sombreamiento del cacao bajo el punto de vista fisiológico. *Agronomía (Perú)* 25(92):34-42.
- _____. 1977. Cacao. *In Ecophysiology of tropical crops.* Ed. by P. de T. Alvim y T. T. Kozlowski. New York, Academic Press. p.279-313.
- _____. 1979. Recent studies on enviromental physiology of cacao. *In International Cocoa Research Conference (7, 1979, Douala, Camerún).* Proceedings. Lagos, Nigeria, Cocoa Producer's Alliance. p. 85-89.
- AMPOFO, S.T.; BONAPARTE, E.E.N.A. 1978. Flush scores and flower counts (D1-U1) Bunso. *In Annual report 1975-1976.* Tafo, Ghana, Cacao Research Institute. p. 28-29.
- ANDERSON, M. C. 1964. Studies of the woodland light climate. 1. The photographic computation of light condition. *Journal of Ecology (G.B.)* 52:27-41.
- _____. 1970. Interpreting the fraction of solar radiation available in forest. *Agricultural Meteorology (Holanda)* 7:19-28.
- ASOMANING, E.J.A.; KWAKWA, R.S.; HUTCHEON, W.V. 1971. Physiological studies on an Amazon shade and fertilizer trial at the Cocoa Research Institute, Ghana. *Ghana Journal of Agricultural Science (Ghana)* 4:47-64.

- BATISTA, L.P.; ALVIM, R. 1981. Efeitos da intensidade luminosa e do genótipo sobre o crescimento em altura do fuste do cacaeiro. *Revista Theobroma (Brasil)* 11(1):61-76.
- BECKER, P.; ERHART, D.W.; SMITH, A.P. 1989. Analysis of forest light environments. 1. Computerized estimation of solar radiation from hemispherical canopy photographs. *Agricultural and Forest Meteorology (Holanda)* 44:217-232.
- BONAPARTE, E.E.N.A. 1967. Interspecific competition in a cocoa shade and fertilizer experiment. *Tropical Agriculture (Trin.)* 44(1):13-19.
- _____; MENSAH, J.Y. 1977. Flush scores and flower counts (D1-U1) Bunso. *In* Cocoa Research Institute. Annual Report 1974-1975. Tafo, Ghana. p. 30-32.
- _____; AMPOFO, S.T. 1978. Flush scores and flower counts (D1-U1) Bunso. *In* Annual report 1975-1976. Tafo, Ghana, Cacao Research Institute. p. 29-30.
- BOYER, J. 1972. Influence des variations spatiales et saisonnières de certains facteurs du micro-climat sur la floraison et la fructification de cacaoyers cultivés au Cameroun. *In* International Cocoa Research Conference (4., 1972, St. Augustine, Tri.). Proceedings. Trinidad de Tobago p. 235-246
- CABALA ROSAND, P.; MIRANDA, E.R.; SANTANA, C.J.L. 1972. Interacción sombra fertilizantes en cacaotales de Bahía. *In* International Cocoa Research Conference (4., 1972, St. Augustine, Tri.). Proceedings. Trinidad de Tobago p. 181-189.
- COMPANHIA NACIONAL DE CHOCOLATES. 1988. Manual para el cultivo del cacao. Colombia. 140 p.
- CONOVER, W.J.; IMAN, R.L. 1981. Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *American Statistician (EE.UU.)* 35(3):124-133.
- CHAZDON, R. L.; FIELD, C.B. 1987. Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. *Oecologia (EE.UU.)* 73:525-532.
- _____. 1988. Sunflecks and their importance to forest understorey plants. *Advances in Ecological Research* 18:1-61.

- DECAGON DEVICES INCORPORATED. 1989. Sunfleck Ceptometer - User's Manual. Pullman, Washington. p.
- DIAZ-ROMEU, R.; HUNTER, A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, C.R., CATIE. 61 p.
- ENRIQUEZ, G.A. 1985. Curso del cultivo del cacao. Turrialba, Costa Rica. CATIE 239 p. (Serie Materiales de Enseñanza no.22).
- _____. 1987. Uso de la sombra del cacao. San José, Costa Rica, Colegio de Ingenieros Agrónomos. 3 p.
- ENTWISTLE, P.F. 1985. Insect and cacao. In Cocoa. 4 ed. Eds. G.A.R. Wood; R.A. Lass. New York. p. 366-443. (Tropical Agronomic Series).
- EVANS, G.C.; COOMBE, D.E. 1959. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. Journal of Ecology (EE.UU.) 47:103-113.
- FRIMPONG, E.B.; ADOMAKO, D. 1987. A study of growth periodicity in cacao. In Cocoa Research Institute. Annual Report 1985-1986. Tafo, Ghana. p. 92-95.
- GALINDO, J. J.; PHILLIPS, W.; PINEDA, R. 1991. Moniliasis del cacao: qué es y cómo combatirla. La Lima, Honduras, IICA-PROCACAO.
- GAY, L.W.; KNOERR, K.R.; BRAATEN, M.D. 1971. Solar radiation variability of the floor of a pine plantation. Agricultural Meteorology (Holanda) 8:39-50.
- GREENWOOD, M.; POSNETTE, A.F. 1950. The growth flushes of cacao. Journal of Horticultural Science (G.B.) 25:164-174.
- HERRERA, W. 1985. Vegetación y clima de Costa Rica. San José, C.R., EUNED. 118 p..
- HILL, R. 1924. A lens for whole sky photographs. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society (G.B.) 50:227-235.
- HOLDRIDGE, L.R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez Saa. San José, C.R., IICA. 216 p.
- HUBER, A. W.; OYARZUN, C.E.; ALVAREZ, L.; ARAYA, E. 1989. Distribución espacial y temporal de la radiación solar en un bosque de *Pinus radiata* (d. Dom) en Chile. Medio Ambiente (Chile) 10(2):77-83.

- LAINEZ, J.R. 1991. Estudio de la descendencia del cruce interclonal de cacao "catongox pound-12" bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 125 p.
- LASKO, A.N. 1976. Characterizing apple tree canopies by fisheye photography. Hortscience (EE.UU.) 11:404-405.
- _____. 1980. Correlations of fisheye photography to canopy structure, light climate, and biological responses to light in apple trees. Journal of the American Society for Horticultural Science (EE.UU.) 105(1):43-46.
- LASS, R.A. 1985. Diseases. In Cocoa. Eds. G.A.R. Wood; R. A. Lass. New York. p. 265-365. (Tropical Agronomic Series)
- LEITE, R.M. de O.; MULLER, M.W. 1983. Influencia da remocao foliar sobre a fenologia de cacaueros expostos ao sol e a sombra. Revista Theobroma (Brasil) 13(3):203-210.
- LIN, T.; RICH, P.M.; HEISLER, D.A.; BARNES, F.J. 1992. Influences of canopy geometry on near-ground solar radiation and water balances of pinyon-juniper ponderosa pine woodlands. In American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 1992 Annual Meeting. Albuquerque, NM. p. 285-294.
- MAG/SEPSA. 1991. Mapa de asociaciones de subgrupos de suelos de Costa Rica. San José, C.R., MAG/SEPSA-MIDEPLAN. Escala 1:200000.
- MAJER, J.D. 1972. Studies of the flushing of cocoa in Ghana. In International Cocoa Research Conference (4, 1972, St. Augustine, Tri.). Proceedings St. Augustine, Trinidad, Cocoa Research Institute. p. 287-295.
- MITCHELL, P.L.; WHITMORE, T.C. s.f. Use of hemispherical photographs in forest ecology. 1. Theory and methods. Oxford, Oxford Forestry Institute.
- MORERA, J.A.; PHILLIPS, W. 1989. El manejo de las plantaciones de cacao. Boletín informativo PROCACAO (CR) 1(2):8.
- MUSCHLER, R.G. 1991. Crown development and light transmission of three leguminous tree species in an agroforestry system in Costa Rica. Mag. Sc. Thesis. Florida, EE.UU., University of Florida. 139 p.

- NAIR, P.K.R.; BALAKRISHNAN, T.K. 1976. Pattern of light interception by canopies in a coconut-cacao crop combination. *Indian Journal of Agricultural Science* (India) 46(10):453-462
- NYGREN, P. 1990. Modelos de patrones de sombra de surcos de *Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook en sistemas de cultivo en callejones. Tesis Mag. Sc., Turrialba, C.R., CATIE. 143 p.
- _____. 1991. El manejo de sombras del cacao: consideraciones ecofisiológicas para experimentos con árboles leguminosos. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- ORCHARD, J.E.; SALTOS M., R. 1987. The growth and water status of cacao during its first year of establishment under different methods of soil water management. *In* International Cocoa Research Conference (10, 1987, Santo Domingo, R.D.). Proceedings. República Dominicana. p. 193-198.
- PAREDES, L.A. 1977. Manejo de plantaciones de cacao. *In* Seminario sobre el cultivo del cacao. Limón, Costa Rica. p. 43-49
- PHILLIPS, W. 1992. Algunos aspectos fitopatológicos relacionados con la sombra y con los cultivos asociados al cacao (*Theobroma cacao* L.). Turrialba, C.R., CATIE.
- RAJA HARUN, R.M.; HARDWICK, K. 1987. The effect of prolonged exposure to different light intensities on the photosynthesis of cocoa leaves. *In* Conferencia Internacional de Investigación en Cacao (10., 1987, Santo Domingo, R.D.). Informe Lagos, Nigeria, Alianza de los Países Productores de Cacao. p. 205-209.
- REIFSNYDER, G.M.; FURNIVAL, G.M.; HOROWITZ, J.L. 1971. Spatial and temporal distribution of solar radiation beneath forest canopies. *Agricultural Meteorology* (Holanda) 9:21-37.
- RICH, P.M. 1992. Cálculo del índice de penetración global mediante la fotografía hemisférica. San José, C.R., OTS. (Comunicación personal)
- _____. 1989. Video image analysis of hemispherical canopy photography. Los Alamos National Laboratory (EE.UU.). Technical Report LA-11733-M.
- _____. 1989. A manual for analysis of hemispherical canopy photography. Los Alamos National Laboratory (EE.UU.). Technical Report LA-11733-M. 80 p.

- RICH, P.M. 1990. Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote Sensing Reviews* (EE.UU.) 5(1):13-29.
- ROSAND, F.P.C.; MIRANDA, E.R. DE; SANTANA, C.J.L. DE. 1972. Interacción sombra fertilizantes en cacaotales de Bahía. In Conferencia Internacional de Investigación en Cacao (4., 1972, St. Augustine, Tri.). Proceedings. Trinidad de Tobago. p. 181-189.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. 1983. *Microclimate. The biological environment.* New York, Wiley. 495 p.
- SALMINEN, R.; NILSON, T.; HARI, P.; KAIPAINEN, L.; ROSS, J. 1983. A comparison of different methods for measuring the canopy light regime. *Journal of Applied Ecology* (G.B.) 20:897-904.
- SOMARRIBA, E. 1992. Desarrollo de un índice para comparar el comportamiento fenológico de cacao bajo tres sistemas de manejo de sombra leguminosa. Turrialba, C.R., CATIE. 7 p. (sin publicar)
- TAYLOR, S.J.; HADLEY, P. 1987. Relationships between root and shoot growth in cocoa (*Theobroma cacao* L.) grown under different shade regimes. In International Cocoa Research Conference. (10., 1987, Santo Domingo, R.D.). Proceedings. República Dominicana. p. 177-183.
- TOXOPEUS, H. 1985. Botany, types and populations. In *Cocoa*. 4 ed. Eds. G.A.R. Wood; R.A. Lass. New York. p. 11-37. (Tropical Agronomic Series).
- TORQUEBIAU, E.F. 1988. Photosynthetically active radiation environment, patch dynamics and architecture in a tropical rain forest in Sumatra. *Australian Journal of Plant Physiology* (Australia) 15:327-342.
- TORREGROSA GALO, A.; RICH, P.M.; EWEL, J.J. 1992. Effects of forest edges on the solar radiation regime in a series of reconstructed tropical ecosystems. In American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1992 Annual Meeting. Albuquerque, EE.UU. p. 98-108.
- WESSEL, M. 1985. Shade and nutrition. In *Cocoa*. 4 ed. Eds. G.A.R. Wood; R.A. Lass. New York. p. 166-194. (Tropical Agronomic Series)
- WILLEY, R.W. 1975. The use of shade in coffee, cocoa and tea. *Horticultural Abstracts* (G.B.) 45(12):791-798.

- WHITMORE, T.C.; BROWN, N.D.; SWAINE, M.D.; KENNEDY, D.;
GOODWIN BAILEY, C.I.; GONG, W-K. s.f. Use of
hemispherical photographs in forest ecology, 2.
Observations in a Bornean tropical rain forest. (Sin
publicar).
- WOOD, G.A.R. 1985. History and development. In Cocoa. 4
ed. Eds. G.A.R. Wood; R.A. Lass. New York. p. 1-10.
(Tropical Agronomic Series).
- YOUNG, A.M. 1984. Flowering and fruit-setting patterns of
cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) (sterculiaceae) at three
localities in Costa Rica. Turrialba (C.R.) 34(2):129-142.

8. APENDICE

APENDICE A. INDICADOR DE DISIMILARIDAD (ID)

Las comparaciones por medio del indicador de disimilaridad (ID), se llevan a cabo de la siguiente manera: Se tabulan los resultados de la evaluación fenológica de los cacaoteros de cada cruce interclonal por parcela y por fecha de acuerdo a su frecuencia por clase fenológica. Por ejemplo, si para la primera evaluación de brotación (el 27 de noviembre de 1991) en una de las parcelas de madero negro los seis cacaoteros del cruce interclonal CatongoXPound12 (llámese "i"), presentaron las siguientes calificaciones; "i"= 0, 1, 0, 1, 2, 2. Esto significa que la frecuencia por clase de brotación es; $i(0)=2$, $i(1)=2$, $i(2)=2$, $i(3)=0$ e $i(4)=0$. En otras palabras, de los 6 cacaoteros del cruce interclonal "i", dos fueron evaluados con brotación 0, dos con 1, dos con 2 y ninguno presentó brotaciones en las clases 3 y 4.

Deseamos comparar el cruce interclonal "i" del ejemplo anterior con otro cruce, llámese "j", en la misma parcela y fecha. Los 6 cacaoteros del cruce "j" en la parcela obtuvieron las siguientes calificaciones: "j"= 4, 1, 4, 4, 3, 3. Organizando estos resultados por clase de frecuencia obtenemos; $j(0)=0$, $j(1)=1$, $j(2)=0$, $j(3)=2$ y $j(4)=3$. Al restar el número de cacaoteros del cruce "i" en la clase 0, del número de cacaoteros del cruce "j" en la misma clase y realizando esta misma operación para cada clase, obtenemos una idea de la disimilaridad por clase entre los dos cruces. Si

tomamos el valor absoluto de las diferencias en cada clase y las sumamos, obtenemos una idea de la disimilaridad total (ID) entre ambos cruces, ver cuadro a continuación.

Cálculo del indicador de disimilaridad (ID) por clase y total a partir de la distribución de frecuencias por clase de brotación para dos poblaciones de cruces interclonales en una parcela.

clase	cruce _i	cruce _j	cruce _i - cruce _j
0	2	0	2
1	2	1	1
2	2	0	2
3	0	2	2
4	0	3	3
$\Sigma \text{cruce}_i = 6$		$\Sigma \text{cruce}_j = 6$	$\Sigma \text{cruce}_i - \text{cruce}_j = 10 = (\text{ID})$

El indicador (ID), puede tomar sólo valores pares en el intervalo 0-12 ($0 \leq \text{ID} \leq 12$). Valores cercanos a 12 indican fuerte disimilaridad y cercanos a 0 poca disimilaridad. Si dividimos cada valor de este ID entre 12 logramos normalizarlo para que tome valores entre 0 y 1 (0, 1/6, 1/3, 1/2, 2/3, 5/6, 1) así valores cercanos a uno indicarán fuerte disimilaridad.

Obtenido el indicador de disimilaridad, se necesita saber que tan alto debe ser su valor para poder concluir que el comportamiento entre dos poblaciones es significativamente diferente. Para lograr ésto fue necesario determinar cual era la probabilidad de obtener por puro azar cualquiera de los indicadores (ID) posibles, o sea la distribución de probabilidad teórica de la variable aleatoria (ID).

Como existen 5 clases fenológicas (ya sean de brotación o floración) de frecuencia y 6 cacaoteros por cruce interclonal por parcela, entonces (por puro azar) existen 5^6 posibles formas de combinar las clases con los cacaoteros. Como las combinaciones son pareadas, entonces es posible asociar las 5^6 posibles configuraciones del cruce "i" con las 5^6 configuraciones del "j" y así obtenemos 5^{12} posibles arreglos (244 140 630 arreglos distintos). La cifra anterior representa el tamaño del espacio muestral de ID asumiendo que cada cacaotero tiene igual probabilidad de ser clasificado en cualquiera de las clases fenológicas.

Para determinar cuantos arreglos dentro del espacio muestral originaban los distintos ID (0,2,4,6,8,10 y 12), se llevó a cabo una simulación (Somarriba, 1992 y apendice B) donde se determinó la distribución de la frecuencia de los posibles índices ID (Cuadro 1A en apendice). Al graficar la distribución de frecuencias acumuladas se obtuvo la curva de probabilidades (Figura 2A en apendice).

Al disponer de una curva de probabilidades para ID, podemos concluir que un valor de disimilaridad mayor o igual a 10, puede obtenerse por puro azar con un 3.99% (0,04) de probabilidad. Lo anterior nos permite concluir que dos poblaciones de cruces interclonales son significativamente diferentes (0,04) en su respuesta fenológica, cuando el indicador de disimilaridad ID es \geq a 10. En este estudio, un valor ID significativo \geq 10 se tomó como una diferencia significativa.

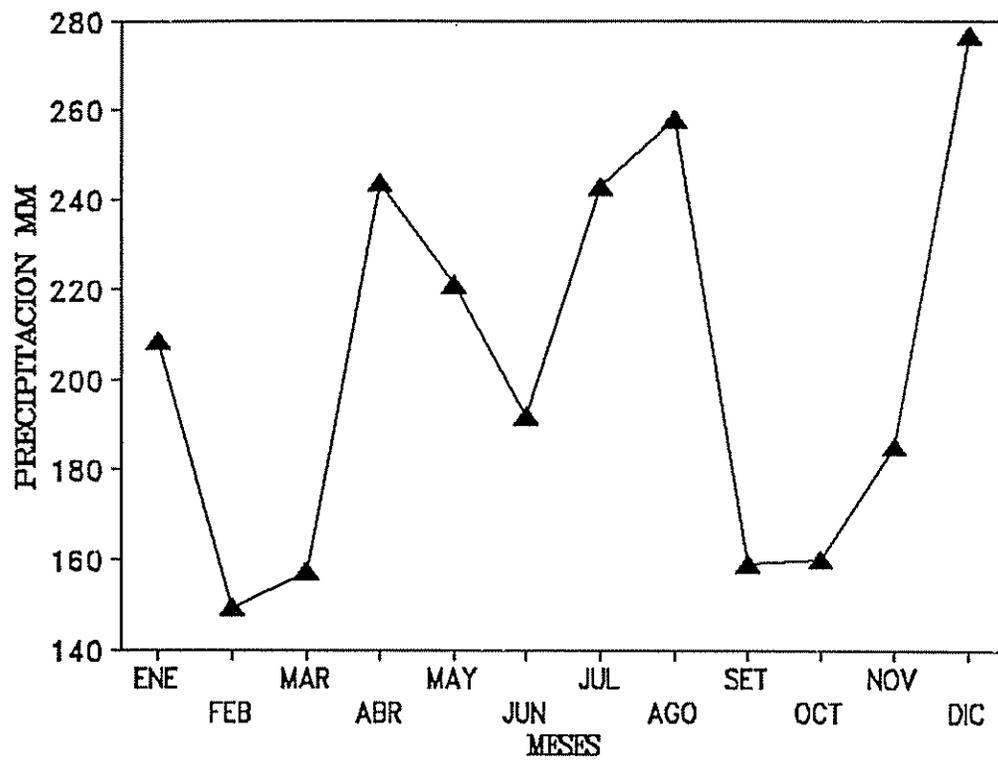


FIG. 1A Promedio de precipitación (1979-1991) mensual Sixaola, Talamanca, Limón.

Cuadro 1A. Simulación de la distribución de probabilidades del indicador de disimilaridad ID, utilizando diferentes números de iteraciones.

ID	número de iteraciones			
	5000	10000	20000	50000
0	0.0078	0.0087	0.0090	0.0087
2	0.1286	0.1236	0.1244	0.1239
4	0.3398	0.3334	0.3334	0.3374
6	0.3216	0.3324	0.3355	0.3319
8	0.1552	0.1635	0.1590	0.1583
10	0.0432	0.0356	0.0361	0.0363
12	0.0038	0.0028	0.0027	0.0036

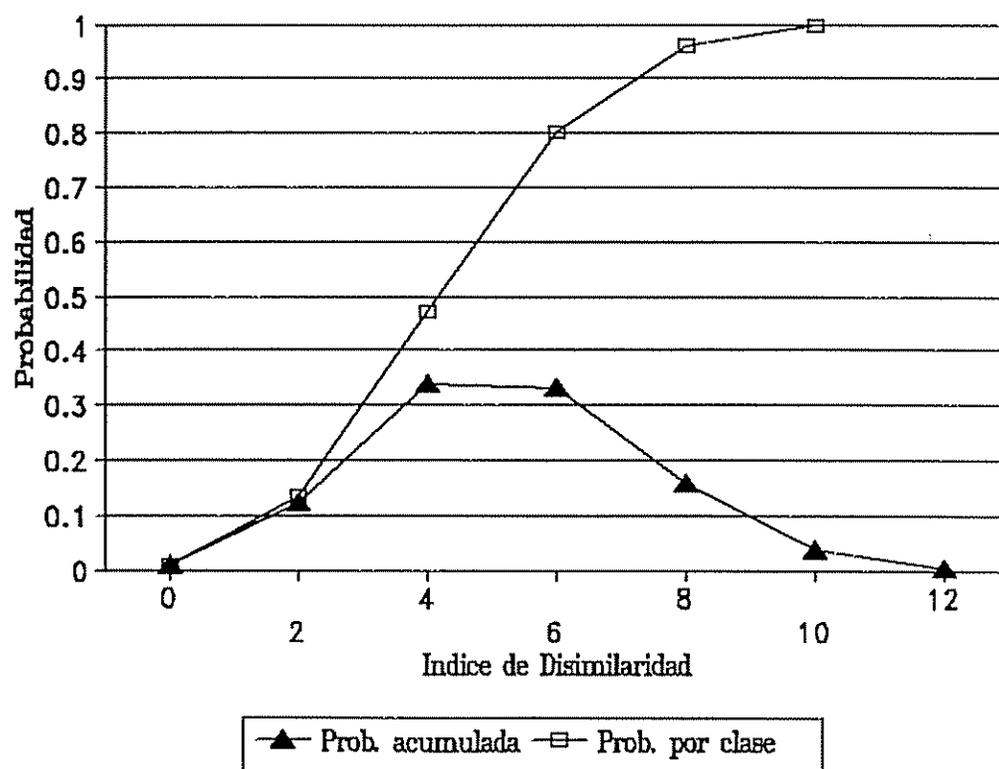


FIG. 2A Probabilidad por clase y acumulada del indicador de disimilaridad ID.

Cuadro 2A. Porcentaje de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la brotación foliar de iguales cruces interclonales entre sombras diferentes (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

COMPARACION ENTRE PAR DE CRUCES	PORCENTAJE DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (BROTACION)									
	BLOQUE									
	1	1	1	2	2	2	3	3	3	TOTAL*
	PARCELA (sombra)									
	PORO	GUABA	MADERO	PORO	GUABA	MADERO	PORO	GUABA	MADERO	
C1-C2	9,5	9,5	4,8	0,0	14,3	9,5	0,0	9,5	0,0	6,3
C1-C3	0,0	14,3	0,0	9,5	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2
C1-C4	0,0	0,0	4,8	0,0	4,8	9,5	0,0	4,8	0,0	2,6
C1-C5	4,8	0,0	0,0	0,0	23,8	4,8	4,8	0,0	0,0	4,2
C1-C6	9,5	0,0	9,5	0,0	4,8	4,8	4,8	0,0	0,0	3,7
C2-C3	4,8	9,5	19,0	9,5	4,8	0,0	0,0	9,5	0,0	6,3
C2-C4	0,0	9,5	14,3	0,0	0,0	4,8	0,0	4,8	4,8	4,2
C2-C5	0,0	0,0	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	3,7
C2-C6	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	4,8	14,3	0,0	4,2
C3-C4	4,8	4,8	0,0	4,8	0,0	0,0	4,8	0,0	4,8	2,6
C3-C5	0,0	9,5	4,8	4,8	19,0	4,8	9,5	0,0	0,0	5,8
C3-C6	4,8	14,3	4,8	0,0	9,5	0,0	4,8	0,0	0,0	4,2
C4-C5	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	2,1
C4-C6	0,0	4,8	4,8	0,0	4,8	4,8	0,0	4,8	0,0	2,6
C5-C6	4,8	9,5	4,8	9,5	9,5	9,5	0,0	0,0	4,8	5,8
TOTAL**	2,9	5,7	5,7	2,9	8,2	3,8	3,2	3,5	1,3	

NOTA: CRUCES = Cruces interclonales de cacao.

C1="UF676 X IMC67";

C2="UF613 X IMC67";

C3="CATONGO X POUND12"

C4="POUND7 X UF668";

C5="UF29 X UF613";

C6="UF613 X POUND12"

ID=Indicador de disimilaridad

* Porcentaje de todas las diferencias significativas del par de cruces considerando todas las parcelas.

** Porcentaje de todas las diferencias significativas dentro de cada parcela considerando todos los pares de cruces.

Cuadro 3A. Resumen en porcentajes de las diferencias significativas (de ID) obtenidas al comparar la brotación de cruces interclonales iguales dentro de sombras (parcelas) diferentes en 21 evaluaciones. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

COMPARACION ENTRE PARCELAS (SOMBRA)	PORCENTAJE DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (21 EVALUACIONES)						Total*
	C1	C2	CRUCE INTERCLONAL		C5	C6	
			C3	C4			
g1m1	14,3	4,8	19,0	4,8	0,0	9,5	8,7
g2m1	14,3	9,5	14,3	0,0	9,5	9,5	9,5
g3m1	9,5	0,0	14,3	0,0	4,8	9,5	6,3
g1m2	9,5	14,3	14,3	4,8	0,0	9,5	8,7
g1m3	9,5	4,8	14,3	4,8	4,8	23,8	10,3
g2m2	14,3	23,8	14,3	4,8	14,3	4,8	12,7
g3m2	9,5	4,8	14,3	0,0	4,8	4,8	6,3
g2m3	14,3	0,0	4,8	4,8	9,5	9,5	7,1
g3m3	9,5	4,8	14,3	4,8	4,8	9,5	7,9
p1g1	14,3	9,5	19,0	9,5	4,8	9,5	11,1
p1g2	14,3	4,8	19,0	4,8	28,6	19,0	15,1
p1g3	4,8	4,8	14,3	4,8	4,8	19,0	8,7
p2g1	19,0	0,0	28,6	9,5	9,5	19,0	14,3
p3g1	9,5	0,0	14,3	9,5	9,5	0,0	7,1
p2g2	14,3	0,0	9,5	4,8	14,3	9,5	8,7
p2g3	4,8	0,0	14,3	4,8	14,3	14,3	8,7
p3g2	14,3	4,8	19,0	4,8	33,3	9,5	14,3
p3g3	4,8	19,0	4,8	4,8	14,3	9,5	9,5
p1m1	9,5	0,0	9,5	19,0	14,3	28,6	13,5
p1m2	9,5	14,3	14,3	0,0	4,8	4,8	7,9
p1m3	4,8	19,0	19,0	9,5	9,5	33,3	15,9
p2m1	14,3	4,8	19,0	14,3	4,8	4,8	10,3
p3m1	9,5	4,8	14,3	19,0	9,5	4,8	10,3
p2m2	19,0	9,5	9,5	4,8	4,8	0,0	7,9
p2m3	4,8	0,0	19,0	0,0	9,5	4,8	6,3
p3m2	0,0	0,0	14,3	4,8	4,8	4,8	4,8
p3m3	9,5	0,0	9,5	4,8	14,3	4,8	7,1
Total**	10,6	6,0	14,6	6,0	9,7	10,8	

NOTA:

CRUCES INTERCLONALES:

C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67"; C3="CATONGO X POUND12"

C4="POUND7 X UF668"; C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

ID=indicador de disimilaridad

PARCELAS:

g1, g2 y g3=parcelas de guaba bloques 1, 2 y 3 respectivamente;

m1, m2 y m3=parcelas de madero negro bloques 1, 2 y 3;

p1, p2 y p3 =parcelas de poró bloque 1 2 y 3 respectivamente.

* Porcentaje de todas las diferencias significativas, en cada comparación entre parcelas diferentes para los 6 de cruces interclonales

** Porcentaje de todas las diferencias significativas (al 0.039) al comparar la brotación de cada cruce interclonal en diferentes sombras.

Cuadro 4A. Resumen de los porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la brotación foliar de cacaoteros de igual cruce interclonal entre iguales tipos de sombra,. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

SOMBRAS	Porcentaje de Diferencias Significativas -CRUCE INTERCLONAL-						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total*
p1-p2	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	4,8	3,2
p1-p3	0,0	4,8	0,0	4,8	4,8	4,8	3,2
p2-p3	9,5	0,0	0,0	0,0	4,8	4,8	3,2
m1-m2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	0,8
m1-m3	0,0	0,0	9,5	0,0	4,8	4,8	3,2
m2-m3	0,0	0,0	0,0	0,0	9,5	4,8	2,4
g1-g2	4,8	0,0	9,5	0,0	14,3	4,8	5,6
g1-g3	9,5	4,8	14,3	0,0	0,0	0,0	4,8
g2-g3	4,8	0,0	0,0	4,8	4,8	4,8	3,2
Total**	3,2	1,1	3,7	1,1	6,3	4,2	

NOTA:

CRUCES INTERCLONALES:

C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67"; C3="CATONGO X POUND12"
 C4="POUND7 X UF668"; C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"
 ID = indicador de disimilaridad

PARCELAS:

g1, g2 y g3=parcelas de guaba bloques 1, 2 y 3
 m1, m2 y m3=parcelas de madero negro bloques 1, 2 y 3
 p1, p2 y p3 =parcelas de poró bloque 1 2 y 3

* Porcentaje de diferencias significativas de los 6 cruces interclonales en cada par de parcelas

** Porcentaje de diferencias significativas en todos los pares de parcelas para cada cruce interclonal

Cuadro 5A. Porcentaje de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la floración de diferentes cruces interclonales de cacao dentro de una misma sombra, (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

COMPARACION ENTRE PAR DE CRUCES	PORCENTAJE DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (FLORACION)									
	BLOQUE									TOTAL*
	1	1	1	2	2	2	3	3	3	
	PARCELA (sombra)									
PORO	GUABA	MADERO	PORO	GUABA	MADERO	PORO	GUABA	MADERO	TOTAL*	
C1-C2	9,5	0,0	14,3	33,3	0,0	4,8	0,0	4,8	4,8	7,9
C1-C3	0,0	0,0	9,5	14,3	9,5	0,0	4,8	0,0	0,0	4,2
C1-C4	0,0	0,0	19,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	3,2
C1-C5	0,0	0,0	9,5	4,8	4,8	4,8	9,5	0,0	0,0	3,7
C1-C6	0,0	0,0	19,0	9,5	9,5	0,0	4,8	4,8	4,8	5,8
C2-C3	9,5	0,0	4,8	4,8	4,8	0,0	0,0	9,5	0,0	3,7
C2-C4	9,5	4,8	23,8	28,6	4,8	9,5	0,0	19,0	9,5	12,2
C2-C5	0,0	0,0	66,7	4,8	9,5	23,8	0,0	4,8	4,8	12,7
C2-C6	4,8	0,0	14,3	0,0	4,8	0,0	4,8	9,5	0,0	4,2
C3-C4	9,5	0,0	0,0	4,8	4,8	0,0	0,0	4,8	0,0	2,6
C3-C5	0,0	0,0	19,0	0,0	14,3	28,6	14,3	4,8	0,0	9,0
C3-C6	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,8	1,6
C4-C5	0,0	0,0	4,8	4,8	9,5	0,0	9,5	4,8	0,0	3,7
C4-C6	4,8	0,0	4,8	0,0	4,8	4,8	0,0	4,8	0,0	2,6
C5-C6	0,0	0,0	23,8	4,8	14,3	0,0	23,8	0,0	0,0	7,4
TOTAL**	3,2	0,3	15,8	7,9	6,3	5,4	4,8	4,8	2,2	

NOTA: CRUCES = Cruces interclonales de cacao.
 C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67"; C3="CATONGO X POUND12"
 C4="POUND7 X UF668"; C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"
 ID = indicador de disimilaridad

- * Porcentaje de todas las diferencias significativas del par de cruces interclon. considerando todas las parcelas.
 ** Porcentaje de todas las diferencias significativas dentro de cada parcela considerando todos los pares de cruces interclon.

Cuadro 6A. Resumen en porcentajes de las diferencias significativas obtenidas (de ID) al comparar la floración de cruces interclonales iguales dentro de sombras (parcelas) diferentes en 21 evaluaciones. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

COMPARACION ENTRE PARCELAS (SOMBRA)	PORCENTAJE DE DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS (21 EVALUACIONES)						
	CRUCE INTERCLONAL						Total*
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
g1m1	0,0	14,3	9,5	0,0	0,0	14,3	6,3
g2m1	9,5	76,2	28,6	9,5	23,8	14,3	27,0
g3m1	4,8	19,0	19,0	4,8	4,8	0,0	8,7
g1m2	0,0	0,0	9,5	0,0	4,8	0,0	2,4
g1m3	4,8	4,8	0,0	0,0	4,8	9,5	4,0
g2m2	0,0	38,1	14,3	0,0	19,0	4,8	12,7
g2m3	0,0	14,3	0,0	23,8	28,6	9,5	12,7
g3m2	0,0	4,8	9,6	4,8	0,0	4,8	4,0
g3m3	0,0	9,5	4,8	23,8	4,8	4,8	7,9
p1g1	4,8	19,0	0,0	0,0	0,0	4,8	4,8
p1g2	9,5	19,0	4,8	0,0	4,8	4,8	7,1
p1g3	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	3,2
p2g1	4,8	0,0	9,5	4,8	0,0	0,0	3,2
p3g1	4,8	0,0	9,5	0,0	9,5	4,8	4,8
p2g2	0,0	33,3	9,5	0,0	19,0	4,8	11,1
p2g3	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	4,8	3,2
p3g2	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
p3g3	0,0	9,5	0,0	4,8	9,5	4,8	4,8
p1m1	0,0	28,6	14,3	0,0	0,0	14,3	9,5
p1m2	9,5	14,3	4,8	0,0	4,8	0,0	5,6
p1m3	0,0	0,0	4,8	9,5	4,8	14,3	5,6
p2m1	19,0	14,3	14,3	4,8	4,8	0,0	8,7
p3m1	0,0	42,9	19,0	0,0	4,8	4,8	11,9
p2m2	9,5	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4
p2m3	4,8	23,8	4,8	19,0	0,0	4,8	9,5
p3m2	9,5	19,0	9,5	0,0	4,8	0,0	7,1
p3m3	0,0	0,0	0,0	4,8	14,3	0,0	3,2
Total**	4,1	16,0	7,8	4,6	6,7	5,6	

NOTA:

CRUCES INTERCLONALES:

C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67"; C3="CATONGO X POUND12"

C4="POUND7 X UF668"; C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"

ID=indicador de disimilaridad

PARCELAS:

g1, g2 y g3=parcelas de guaba bloques 1, 2 y 3 respectivamente;

m1, m2 y m3=parcelas de madero negro bloques 1, 2 y 3;

p1, p2 y p3 =parcelas de poró bloque 1 2 y 3 respectivamente.

ID = indicador de disimilaridad

* Porcentaje de todas las diferencias significativas en cada comparación entre parcelas diferentes para los 6 de cruces interclonales

** Porcentaje de todas las diferencias significativas (al 0.039) al comparar la floración de cada cruce interclonal en diferentes sombras.

Cuadro 7A. Resumen de los porcentajes de comparaciones estadísticamente significativas (de ID) para la floración de cacaoteros de igual cruce interclonal entre iguales tipos de sombra (21 evaluaciones). Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

SOMBRAS	Porcentaje de Diferencias Significativas -CRUCE INTERCLONAL-						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total*
p1-p2	19,0	9,5	4,8	4,8	0,0	0,0	6,3
p1-p3	0,0	4,8	4,8	0,0	0,0	0,0	1,6
p2-p3	9,5	9,5	0,0	0,0	14,3	4,8	6,3
m1-m2	9,5	19,0	9,5	0,0	4,8	0,0	7,1
m1-m3	4,8	4,8	19,0	0,0	9,5	0,0	15,1
m2-m3	0,0	23,8	4,8	0,0	14,3	4,8	7,9
g1-g2	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	4,8	4,0
g1-g3	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7
g2-g3	0,0	9,5	0,0	0,0	14,3	4,8	4,8
Total**	4,8	15,3	4,8	0,5	8,4	2,1	

NOTA:

CRUCES INTERCLONALES:

C1="UF676 X IMC67"; C2="UF613 X IMC67"; C3="CATONGO X POUND12"
 C4="POUND7 X UF668"; C5="UF29 X UF613"; C6="UF613 X POUND12"
 ID = indicador de disimilaridad

PARCELAS:

g1, g2 y g3=parcelas de guaba bloques 1, 2 y 3
 m1, m2 y m3=parcelas de madero negro bloques 1, 2 y 3
 p1, p2 y p3 =parcelas de poró bloque 1 2 y 3

* Porcentaje de diferencias significativas de los 6 cruces interclonales en cada par de parcelas

** Porcentaje de diferencias significativas en todos los pares de parcelas para cada cruce interclonal

Cuadro 8A. Promedio y desviación estandar, de los porcentajes de la penetración de radiación solar relativa (ISI, ISD y ISG), en tres sombras de cacao en cinco fechas de medición. Margarita, Talamanca, Limón, 1992.

FECHAS SOMBRAS		PROMEDIOS %			DESVIACION ESTANDARD %		
		ISI	ISD	ISG	ISI	ISD	ISG
DIC	PORO	37.79	40.31	38.93	8.95	17.46	10.87
DIC	GUABA	45.50	48.93	47.05	9.35	19.74	12.56
DIC	MADERO	50.40	52.19	51.21	12.13	19.72	14.06
FEB	PORO	19.59	22.26	20.80	7.22	13.56	9.22
FEB	GUABA	28.40	31.65	29.86	9.46	19.61	13.02
FEB	MADERO	51.36	57.54	54.14	11.51	15.65	12.38
MAR	PORO	12.48	16.60	14.33	6.74	13.10	9.10
MAR	GUABA	24.26	27.97	25.93	10.40	20.42	14.21
MAR	MADERO	44.29	53.35	48.37	14.92	19.80	16.46
MAY	PORO	11.11	15.17	12.94	4.75	9.84	6.42
MAY	GUABA	20.70	23.44	21.93	9.75	18.94	13.04
MAY	MADERO	32.65	41.74	36.74	17.09	25.75	20.54
JUN	PORO	83.87	91.61	87.36	5.56	10.27	6.79
JUN	GUABA	18.42	20.09	19.17	7.56	15.32	10.10
JUN	MADERO	26.63	34.26	30.06	14.37	22.85	17.51

NOTA:

ISI=índice de sitio para radiación solar difusa (indirecta)
 ISD=índice de sitio para radiación solar directa
 ISG=índice de sitio para radiación solar global
 DIC=diciembre FEB=febrero MAR=marzo MAY=mayo JUN=junio

APENDICE B

```

'
' Programa FENOLO.PRG: Simulación "Distribución de
' probabilidad del indicador de disimilaridad (ID) para el
' análisis de fenología de cacao"
' Autores: E. Somarriba, H. von Platen, 1992
' GFA Basic/Compiler V 3.6TT, Atari TT, GFA Systemtechnik, ' Duesseldorf,
RFA.
'
OPEN "O",#1,"fenolo.wrl" ! Borrar datos existentes en el
! archivo de resultados

CLOSE #1
DIM f%(12),x%(5)
numero%=4500000 ! Número de iteraciones
grabar%=100 !Valor umbral para grabar
i%=1 !resultados
REPEAT ! Inicio del loop mayor
  ARRAYFILL x%(),0 ! Iniciar variables
  disimil%=0
  n%=0
  k%=1
  REPEAT ! 6 veces..
    azar%=RANDOM(5) ! ..generar número al azar
    INC x%(azar%) ! entre 0 y 4 y aumentar
    INC k%
  UNTIL k%>6
  REPEAT ! 6 veces..
    azar%=RANDOM(5) ! ..generar número al azar
    DEC X%(azar%) ! entre 0 y 4 y disminuir
    INC k% ! ..contador de resultados
  UNTIL k%>12
  REPEAT
    ADD disimil%,ABS(x%(n%)) ! Sumar suma de occurencias
    INC n% ! absolutas
  UNTIL n%>4
  INC f%(disimil%) ! ..y aumentar contador de
  IF f%=grabar% ! este resultado. Si hay
    OPEN "A",#1,"fenolo.wrl" ! suficiente para grabar el
    PRINT #1,i% ! resultado grabar número de
    FOR z%=0 to 12 STEP 2 ! ..iteraciones y los
      PRINT #1,f%(z%) ! resultados
    NEXT z%
    CLOSE #1
    IF grabar%<1000000 ! Si hay menos de 1 millón
      MUL grabar%,10 ! de iteraciones multiplicar
      ! valor umbral de grabar con
      ! 10..
    ELSE ! ..caso contrario..
      ADD grabar%,500000 ! ..grabar cada 0.5 millones
    ENDIF ! de iteraciones
  ENDIF
  INC i% ! Incrementar contador del
UNTIL i%>numero% ! loop mayor hasta los 4.5
! millones de iteraciones

' EOP FENOLO.GFA

```