

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Programa de Plantas Perennes

Turrialba, Costa Rica

SEMINARIOS ESPECIFICOS

AVANCES EN PRODUCCION DE CACA0

Profesor: Gustavo A. Enriquez

Abril 1979

1.- INFLUENCIA DE LA ENDOCRINA F₂ EN LA PRODUCCION DEL CACAO.

RUFO ANGULO G.

2.- STRESS DE AGUA EN EL SUELO EN RELACION AL CACAO

CANDIDO BORIS PICHARDO

3.- INSECTOS POLINIZADORES EN CACAO (Theobroma cacao L.)

JAIME A. CRISSIEN E.

4.- ASOCIACIONES DEL CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao)
CON VARIAS ESPECIES DE SOMBRA

RENAN ZUNIGA

5.- EXTREMOS DE ALTITUD Y LATITUD DEL CULTIVO DEL CACAO

DAVID S. GARDELLA

6.- MEJORAMIENTO DEL CACAO (Theobroma cacao) PARA CALIDAD

F LORENCIO ZAMBRANA S

7.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA PRODUCCION DE CACAO

LEOPOLDO E. GONZALEZ

8.- INCOMPATIBILIDAD EN CACAO (Theobroma cacao L.)

ROGER MENESES

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

Programa de Plantas Perennes

Turrialba, Costa Rica

LIBRARY
AGRICULTURE
MAR 1979

SEMINARIO ESPECIFICO

Avances en Producción de Cacao

INFLUENCIA DE LA ENDOCRINA F_2 EN LA
PRODUCCION DEL CACAO

Rufo Angulo G.

Abril 1979

Contenido

	Pág.
1. - Algunas características del cacao.....	1
2. - Efecto de las autofecundaciones sucesivas sobre la composición genotípica.....	2
3. - Endocría en clones de la progenie S_1	5
4. - Efecto de la endocria en la F_2 de un híbrido.....	7
5. - Utilidad práctica de la endocria.....	10
Bibliografía.....	12

INFLUENCIA DE LA ENDOCRIA F₂ EN LA PRODUCCION DEL CACAO

Rufo Angulo G.

1. - Algunas características del cacao:

Un aspecto de muchas poblaciones cultivadas de cacao es la marcada heterogeneidad para muchos caracteres incluyendo el rendimiento.

El cacao es una planta altamente alógama, favorecida por la estructura de la flor, que hace difícil la autofecundación sin intervención de polinizadores, y por la presencia de sistemas de incompatibilidad presentes en las diferentes poblaciones, se han adaptado a un sistema de multiplicación sexual con alto nivel de cruzamientos y menor proporción de autofecundaciones. Por el cual, da gran variabilidad de caracteres, en poblaciones provenientes de semillas (8, 12). Esto es considerado como una ventaja para trabajos de mejoramiento.

Varios autores (8, 9, 12) indican, que en estas características, se asemejan al maíz. Esto sugiere en líneas generales, que sería posible lograrse un uso completo del vigor híbrido en cacao, siguiendo las mismas técnicas empleadas en el cultivo de maíz (12).

Existen muchas evidencias de que el cacao ha demostrado la presencia de vigor híbrido en individuos resultantes de cruzamientos de padres de diferente origen genético y geográfico (3, 8, 9, 14, 15). Así en Costa Rica (La Lola) las mejores producciones fueron alcanzadas por híbridos entre clones de origen Amazónico cruzadas por Trinifarios, o por Amazónicos de áreas muy apartadas y por casi criollos (14).

Existe una relativa poca información de lo que acontece en generaciones posteriores de un híbrido autofecundado de cacao. Posiblemente debido a que requiere un tiempo prolongado de más de 3 ó 4 años, para obtener resultados en cosechas. Por esta razón aún para determinar el vigor híbrido se han propuesto medidas morfológicas en una edad temprana del cultivo, hasta los meses, que correlacionen con los rendimientos (9, 14, 15).

La endocria en una población alógama conduce por lo general a pérdidas de vigor y otros efectos adversos, pero esta reducción del vigor puede desaparecer cuando se realizan cruzamientos entre individuos endocriados (3, 12).

2. - Efecto de las autofecundaciones sucesivas sobre la composición genotípica:

Los sistemas de hibridación favorecen la variabilidad genética, mientras que la reproducción consanguínea promueve la constancia genética que resulta de la homocigocis. Esta queda comprendida si se considera la segregación de los alelos en un solo locus, durante

la autofecundación repetida (Fig. 1). La autopolinización de un heterocigoto produce la conocida relación 1:2:1. En esta generación el número de individuos heterocigóticos se reducen a la mitad (50%).

En cada nueva generación producida por autofecundación la razón de heterocigotes disminuye otra vez a la mitad, de modo que en la generación x de intracruzamiento dicha razón es $(\frac{1}{2})^x$. Todos los genotipos restantes $1 - (\frac{1}{2})^x$ son homocigóticos con respecto al locus estudiado. El resultado será que a medida que crece el número de autofecundaciones mayor es la proporción de homocigotes con relación a la población total (4, 16).

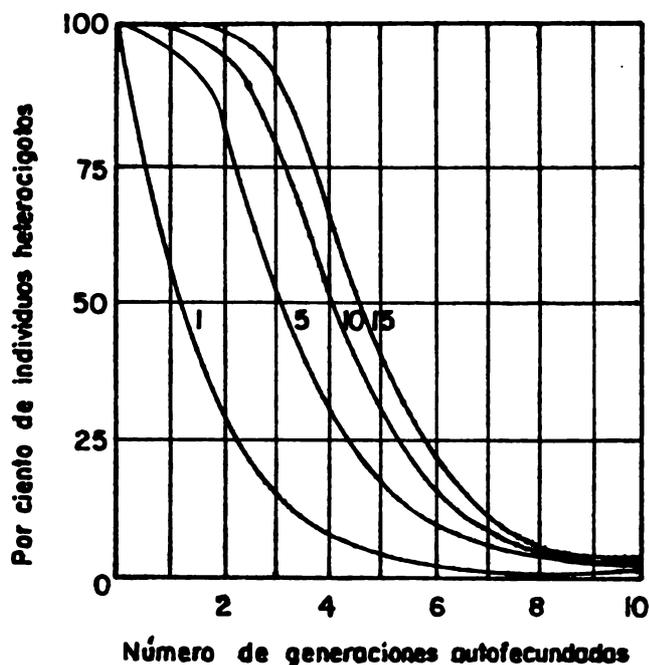
Figura 1: Proporciones genotípicas en autofecundaciones de un heterocigoto Rr. De La Loma (4).

Generación	Distribución de los genotipos	Proporciones genotípicas		
		RR	Rr	rr
F1		0.0	1.0	0.0
F2		0.25	0.50	0.25
F3		0.375	0.25	0.375
F4		0.4375	0.125	0.4375
F5		0.46875	0.0625	0.46875

La amplitud en la cual todos los loci existentes en una planta, lleguen a ser homocigóticos y la frecuencia de individuos completamente homocigóticos en una población dependerá de la intensidad de consanguinidad, del número de loci heterocigóticos que intervienen y del número de generaciones consanguíneas (16).

Así una población de la autofecundación de plantas aisladas que tienen uno, cinco, diez y quince loci heterocigóticos (Fig. 2). El número de individuos portadores de loci heterocigóticos se reduce rápidamente por autofecundación y transcurridos siete generaciones, menos del uno por ciento serán heterocitos en algún locus. Al cabo de once generaciones sucesivas, la población resultante sólo contiene prácticamente genotipos homocigóticos (4).

Figura 2: Porcentaje de individuos heterocigotes con autofecundaciones sucesivas cuando el número de pares alélicos sean 1, 5, 10 ó 15 (4).



3.- Endocrfa en clones de la progenie S₁:

En Turrialba, Soria y Esquivel (13) experimentáron con los clones UF-613 y UF-221 plantados como estacas, su híbrido, sus respectivas autofecundaciones y descendencias de polinización abierta, con el fin de estudiar la endocrfa y la hibridación. Los rendimientos fueron significativos para el clon UF - 221 en relación a los restantes (Cuadro 1).

La endocrfa redujo notablemente la producción en el clon UF-221, en cambio el clon UF-613 no difirió estadísticamente de su autofecundado. Así mismo no se obtuvo vigor híbrido en el cruzamiento de los dos clones.

Cuadro 1: Producción promedio de cacao seco en kg/ha- Exp. Turrialba N°7. (Siembra 1961; distancia 2.5 x 2.0 m). Resumido de Soria y Esquivel (13).

Cultivares	Promedio 6 años de cosecha 1964-1970
UF-221	742.3 (1)
UF-613	409.0 (2)
UF-613 x UF-221	246.0 (5)
UF-613 Poliniz. abierta	269.0 (3)
UF-613 Autofecundación	263.0 (4)
UF-221 Autofecundación	141.7 (7)
UF-221 Poliniz. abierta	209.2 (6)

De acuerdo a estos autores el efecto de la endocrfa es variable, según los tipos de clones: en algunos casos como UF221, ICS-45, UF-676

muestran en la S_1 segregaciones extremas, se reduce el vigor y precocidad (producen flores y frutos con más de 4 años) y son de poca producción, en cambio las autofecundaciones en otros clones como UF-29, catongo matriz son relativamente uniformes, vigorosas, precoces y de producciones buenas. Sugieren que el genotipo de algunos clones son relativamente homocigotes para los factores favorables, para la producción y en otros, esos factores están segregando. Esto podría indicar indirecta que la heterosis en cacao es controlada por factores dominantes (14).

Soria (11) indica que aparentemente, en poblaciones de tipos uniformes la endocria no reduce notablemente el vigor y productividad de las plantas, como pudo observar en plantaciones de tercera generación de endocria (entre autofecundaciones y cruza fraternal) de la variedad Catongo Brasil. Esta variedad se caracteriza por el color blanco de las semillas, originado por mutaciones albinas e independientes (9). Sin embargo la herencia del albinismo parece ser controlada por uno o más genes recesivos, a juzgar por la coloración que adquieren en los caracteres afectados los individuos F_1 de cruces con cacaos pigmentados (11).

Con el propósito de mantener el color recesivo blanco de las semillas recurrieron a la autofecundación del árbol original. Las plantas S_1 obtenidas fueron plantadas en la Estación Experimental de Urucuca (Bahía Brasil) de donde obtuvieron semillas blancas S_2 , que debieron originarse por autofecundaciones o cruza fraternal. En la actualidad hay nuevas plantaciones de semilla S_3 provenientes de las plantaciones S_2 . Lo interesante es que el vigor de las plantas y el rendimiento no se han

reducido notoriamente, pero si se habfa ganado un grado elevado de uniformidad en las plantas, en las mazorcas y en las almendras. Es posible que las variedades uniformes sean producto de cierto grado de endocrfa, proveniente de la introducción limitada de semillas a una zona (una o pocas mazorcas) y de la expansión de esa intruducción (11).

4. - Efecto de la endocrfa en la F₂ de un híbrido:

Rogers (10) y Hammond (6) indican que en Africa, es en Ghana donde fueron introducidos los primeros cacaos alto-amazónicos, en 1944 por el WACRI que recibió mazorcas procedentes de fecundaciones controladas de las colecciones formadas por Pound en Trinidad. Detalles de su comportamiento fueron observados en Tafo lugar de primera siembra, demostrando un vigor superior comparado con el amelanado africano, además una tolerancia relativa al virus del Brote hinchado y su calidad comparable al amelonado. Esto determinó su utilización como material en la regeneración cacaotera.

Entre las familias F₁ introducidas se tomaron 10 mazorcas que el WACRI destinó a los servicios de agricultura de los Estados (Ghana, Nigeria, Sierra Leone), en los cuales se constituyeron campos semilleros (F₂) y las mazorcas que produjeron (F₃) fueron distribuidos a los agricultores.

Las primeras observaciones indicaron que: los rendimientos fueron mucho menores que aquellos en Tafo. Por la experiencia ganada en experimentos de Tafo evidenciaron que los efectos de habilidad combinatoria y depresión consangufa debe ser tomada en consideración.

Un experimento en Bunso diseñado para comparar rendimientos de las generaciones F₂ y F₃ de cacao alto-amazónicos (Cuadro 2) muestran que plantas F₂ de cacao rindieron mayor número de mazorcas en la mayoría de los tipos. Así mismo las mazorcas F₂ tenían un mayor peso de almendras que la F₃ en dos años sucesivos (7). Apparently estas poblaciones no provienen de autofecundaciones, sino de cruzamientos fraternales, sin embargo, esto da una idea de la pérdida de vigor en poblaciones híbridas con cierto grado de endocria.

Cuadro 2: Producción del número de mazorcas en F₂ y F₃ de algunas selecciones plantadas en 1953. Ghana. Hammond (7).

	T-12	T-60	T-63	T-79	T-85	Total
Cosecha 1955/56						
F ₂	9	69	34	18	8	138
F ₃	6	32	19	21	3	81
Cosecha 1956/57						
F ₂	1134	1570	1593	1320	1471	7088
F ₃	912	1048	1297	981	947	5545
Mazorcas/lb. de almendra seca. (en 1956)						
F ₂		12.2	13.2	12.0	10.7	
F ₃		10.5	14.0	13.1	12.8	

T-60 (Parinary 7 x 32)
T-63 (Parinary 35 x Nanay 32)
T-79 (Nanay 32 x Parinary 7)
T-85 (IMC 60 x Nanay 34)

En un experimento de progenie en Trinidad Bartley y Chalmers (1, 2) comparan ocho poblaciones de semillas y tres clones. Los clones EET-19 y GS-46 fueron introducidos del Ecuador y Grenada. Tres familias F de ICS-1 x IMC-67 fueron incluidos para observar las segregaciones esperadas por intracruzamiento de los híbridos (Cuadro 3). Debido al pobre establecimiento y desarrollo no fueron registrados hasta el sexto año.

Cuadro 3: Rendimiento promedio de mazorca seca y por ciento de mazorcas perdidas por enfermedades.

Exp. de Progenie N°4. Las Hermanas. Siembra 1963; distancia 3.66 x 3.66 m. Modificado de Bartley y Chalmers (1, 2)

Cultivares	Rend. prom. cacao seco kg/ha 1968-1973	P. prom. mazorca (g) 1968-1973	% mazorcas perdidas por		% mazorcas perdidas por enfermedades 1970-1973
			Mazca. negra 1970/73	Escoba de bruja 1970/73	
SCA 6 x C 90-20	1370	109	3.9	5.7	9.6
SCA 6 x SCA 9	425	78	4.5	5.3	9.8
ICS 6 x IMC 67	1185	158	7.7	6.0	13.7
ICS 8 x IMC 67	930	162	8.8	8.4	17.2
ICS 1 x IMC 67 F2-2	535	129	3.7	6.3	11.0
ICS 1 x IMC 67 F2-8	690	137	8.0	4.4	12.4
ICS 1 x IMC 67 F2-50	545	124	4.7	4.5	9.2
UF 19 x Open	615	121	6.3	16.2	22.5
GS 46	760	138	10.9	20.2	31.1
EET-19	650	143	7.3	9.1	16.4
ICS-95	915	118	5.9	2.5	8.4

Los mejores rendimientos fueron obtenidos con el híbrido SCA 6 x C 90-20 de 1370 kg/ha. Siguen en producción los híbridos de IMC 67 que se comportan como buen padre particularmente con ICS 6 dando buenos pesos de mazorca. Sin embargo pérdidas por enfermedades son quizá altas.

Respecto a la endocria, los rendimientos de la F2 fueron menores en relación a los híbridos F1 de IMC 67 en una proporción consistente

con lo esperado por la disminución del vigor híbrido debido a la segregación. Algunos de los F2 ICS-1 x IMC 67 muestran mejora en rendimiento y un confortable bajo nivel de mazorca negra.

En el propósito de incrementar la resistencia a Escoba de Bruja, el híbrido SCA-6 x SCA-9, se comporta pobremente e inesperadamente dio muy bajo peso de almendra por mazorca y almendras muy pequeñas.

En Ghana, Glendinning (5) hizo comparaciones de las generaciones F1, F2 y F3 de un árbol híbrido T-82 (Nanay 32 x Parinarí 35). La generación F1 fue obtenida por polinización a mano entre clones de ambos padres, mientras que las generaciones F2 y F3, ambas de polinizaciones abiertas de la segunda y tercera generación. Utilizó medidas de diámetro cada tres meses desde la siembra hasta el sexto mes, y encontró que el incremento en diámetro de la F1 es significativamente (.001 p) mayor que en la F2 y la F3. La generación F1, también fue superior, en forma altamente significativa en cuanto a número y tamaño de la hoja.

Soria (12) indica que este mismo autor, en otro experimento cruzó F2 x F2; F2 x padres y F2 x amelonado corriente. En general todos estos cruzamientos demostraron ser satisfactorios, como los cruzamientos de clones originales. Esto sugiere que el vigor se recobra cuando la F2 se cruza entre sí o con otros progenitores. Con tal base concluye que al parecer, las endocrías, aunque de vigor reducido, pueden ser padres satisfactorios para híbridos.

5. - Utilidad práctica de la endocría:

La endocría de progenitores clonales en S1, y en generaciones F2

de híbridos muestran una depresión en sus características de producción (13, 7, 5, 14), en grados diferentes, dependiendo del grado de heterocigocidad de los progenitores para los factores genéticos considerados.

A pesar de la disminución del vigor y productividad, la endocria, permite fijar en forma homocigótica, uno o más caracteres responsables del vigor; clones seleccionados en esta descendencia pueden ser mejores generadores que el clón inicial.

La autofecundación no puede usarse como base definitiva de selección. Sin embargo puede constituir en ciertos casos, una etapa de la selección (3).

Una vez conocida la habilidad combinatoria general o específica de los clones, el próximo paso sería producir líneas endocriadas de estas, para cruzarlos con líneas endocriadas de otros clones buenos combinadores.

El grado de endocria dependerá del grado de heterocigosis del clón y de su genotipo de compatibilidad.

No es práctico, ni deseable aspirar a tener líneas altamente endocriadas en cacao, a no ser para fijar ciertos genes deseables, como resistencia a enfermedades (14).

BIBLIOGRAFIA

1. BARTLEY, B.G.D. and CHALMERS, W.S. Plant breeding. Annual Report on Cacao Research. University of the West Indies .Trinidad. 197 .pp 17-20.
2. _____. Plant breeding . Annual Report on cacao Research .1974-1975 . University of the West Indies . Trinidad .1977. pp 7-8.
3. BRAUDEU, J. El cacao .Técnicas Agrícolas y Producciones Tropicales . Ed. Blume . Barcelona . España . 1978 . pp 107-128.
4. DE LA LOMA, J.L. Genética General y Aplicada .2° Ed. UTHEA . México . 1954 .pp 720.
5. GLENDINNING, R.D. Plant breeding and selection . West African Cacao Research Institute . In Annual Report 1959-60 . 1961 . pp 49-57.
6. HAMMOND, P.S. Field experience in the Gold Coast with upper Amazonian and other new varieties . In The cocoa, chocolate and Confectionery Alliance . Conference . London . 1955 . pp 79-83.
7. _____. Further experience in Ghana with upper Amazonian and other new varieties . In The Cocoa, chocolate and Confectionery Alliance . Conference, London .1957 .pp 44-46.
8. HARDY, F. Manual de cacao . Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas , Turrialba . Costa Rica .1961 .pp 353-380 .
9. ROMERO, A.L. Comparación de vigor entre plántulas de varios cruces en cacao (Theodoroma cacao) . Tesis Ing. Agr. Univ. de Guayaquil . 1971 .pp 55 .
10. ROGERS, H.H. New Varieties of cocoa in West Africa . In The cocoa, chocolate and Confectionery Alliance . Conference . London . 1955 . pp 75-79.
11. SORIA, J.V. Observaciones sobre las variedades y cultivares de cacao en Bahía . Brasil . Cacao . Costa Rica .8(1):1-6 .1963.

12. _____. El vigor híbrido y su uso en el mejoramiento genético del cacao .
Fitotécnica Latinoamericana . 1(1):59-78 . 1964.
13. SORIA, J.V. y ESQUIVEL, O. Estudio de los efectos de la hibridación
y la endocrfía en la producción del cacao . Cacao . Costa Rica .
15(3):2-3, 1970 .
14. _____. Algunos resultados del programa de mejoramiento genético de
cacao en el IICA . Cacao . Costa Rica . 13(2):1-9 .1968 .
15. VELLO, F. Estudio preliminar sobre la influencia del origen de los
padres en la expresión del vigor híbrido en plántulas de cacao .
Tesis Mg .Sc. IICA . Costa Rica .1963 . pp 61 .
16. WILLIAMS, W. Principios de Genética y Mejora de las plantas .
Ed. Acribia . Zaragoza . España . 1965 . pp 509 .

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Programa de Plantas Perennes
Turrialba, Costa Rica

SEMINARIO ESPECÍFICO
Avances en Producción de cacao

STRESS DE AGUA EN EL SUELO EN RELACION AL CACAO

Cándido Boris Pichardo

Mayo 1979

INTRODUCCION

El stress de agua o "potencial" de una planta, es dependiente de la humedad disponible en el suelo y del stress atmosférico. El nivel óptimo de la disponibilidad de humedad del suelo para el crecimiento, desarrollo y calidad de un cultivo, varía y es a su vez dependiente de parámetros climáticos que lo influyen. El stress atmosférico aumenta con incrementos de la temperatura del aire y la radiación solar, que a su vez influye en la temperatura de las plantas y en la humedad relativa cerca de los estomas que están abiertos en la superficie de las hojas (6).

Cuando las plantas consumen las reservas del agua del suelo, limitan su consumo abriendo menos la abertura de los estomas y durante menos tiempo.

La resistencia a la sequía es de una particularidad compleja. Las posibilidades de supervivencia son mayores cuanto más tiempo pueda retrasar el protoplasma celular un descenso en la hidratación, y cuanto menos dañado quede el protoplasma al secarse.

Según Larcher (10), las formas por las que una planta puede mantener un nivel adecuado de agua en sus tejidos, durante un largo tiempo cuando el suelo y el aire están secos son:

a.- Mejor captación del agua del suelo, aumentando la succión y mayor extensión de las raíces.

b.- Disminución de las pérdidas de agua por cierre de los estomas, protección contra la transpiración cuticular y disminu-

ción de las superficies transpirantes.

c.- Almacenamiento de agua y elevación de la capacidad de transporte de agua.

EL CACAO Y LA HUMEDAD DEL SUELO.

Pocas plantas cultivadas son tan sencibles tanto al exceso, como a la deficiencia de humedad del suelo. El concepto según el cual, el agua del suelo es igualmente disponible desde la capacidad de campo hasta el coeficiente de marchitez, al parecer, no es aplicable al cacao en lo referente al mecanismo de sus estomas, ya que éstos son muy sensibles y se cierran ante deficiencia de agua (3). Ocurre entonces, menos entrada de CO_2 , menos desarrollo foliar y pérdida de permeabilidad de las raíces (13). Esto ocurre al disminuir la humedad por debajo de 50-60 por ciento del agua disponible del suelo (4).

Después que la planta ha sufrido un stress, al ser éste removido por la humedad, toma algunos días para que éstas recobren su comportamiento normal, dependiendo de cuán severo ha sido el stress. Presumiblemente, uno de los inhibidores que se producen en condiciones de stress, es el ácido absísico (8).

Cuando se producen relaciones inadecuadas de agua, ya sea por exceso o falta, se podrían lograr producciones adecuadas con el empleo de riego o zanjias de drenaje, casos de la costa arenosa del Perú con menos de 100 mm por año y Surinam, donde ha sido necesario cavar zanjias profundas cada dos hileras de cacao.

AGUA Y FACTORES DEL SUELO.

La cantidad de agua que un determinado suelo puede almacenar depende de su estructura, textura y profundidad. Sin embargo, la capacidad de una planta para abastecerse de agua, no depende tanto del almacenamiento de agua por el suelo; sobre ello influyen la extensión y actividad de la superficie radicular.

Una adecuada aereación, proporciona oxígeno y evita la acumulación de CO_2 ; cuando el segundo abunda en perjuicio del primero, el crecimiento, absorción de agua y de minerales por las raíces de las plantas, se reduce y de esa manera las plantas sufren de falta de humedad, aún con lluvias abundantes.

Hardy, citado por Alvim (1), destacó la importancia de lo que llamó "profundidad fisiológica" o "espacio radical", definiéndolo como el espesor de una capa de suelo adecuadamente aereada y estructurada de tal manera que permita el desarrollo irrestricto de las raíces. Llamó "suelos malos" aquellos fisiológicamente poco profundos y "suelos buenos" los fisiológicamente profundos. La disponibilidad de agua, depende más de la profundidad fisiológica que de la humedad y estado de nutrientes del suelo.

Plantas con un sistema radicular desarrollado, son más aptas para resistir un período de sequía relativamente más prolongado que aquellas que, bajo las mismas condiciones, tienen un pobre desarrollo de sus raíces.

Se ha encontrado que plantas con cierto grado de resistencia a la sequía incrementan el contenido de sales y carbohidratos

osmóticamente activos en el interior de sus células en condiciones de tensión hídrica, Vega Barahona (13) encontró que los cruces interclonales Pound-12 x Catongo y su recíproco Catongo x Pound-12 de altas productividades, fueron menos afectados por la sequía que los cultivares UF-221 y "Matina", de polinización libre y bajas productividades. Explicando esto dice: "esto posiblemente debido a un sistema metabólico más eficiente para absorber nutrientes en condiciones adversas".

Los cultivares de alta productividad, al parecer tienen mecanismos para absorber, N, P, y K en condiciones adversas en relación a los genotipos de baja producción.

La cantidad de agua que una planta de cacao puede extraer del suelo, depende de la intensidad de la transpiración y de la extensión de su sistema radicular. Estando la intensidad controlada por la diferencia entre la fuerza de succión de la planta y la tensión de humedad del suelo. Mientras mayor sea este valor, más rápidamente extren las plantas el agua del suelo. Pero al aumentar la cantidad extraída, la intensidad de extracción decrece porque el suelo retiene el agua con mayor tensión. Por igual, cuando el volumen de suelo es restringido por rocas o tabla de agua alta, es muy posible que árboles altos podrían agotar el agua disponible de una manera más o menos rápido.

Hay quienes dicen que el crecimiento y rendimiento de una planta no decrecen en tanto que la disponibilidad de agua en el suelo se encuentre entre punto de marchitez y capacidad de campo.

Sin embargo, ésto no parece ser aplicable al cacao (1) ya que estos procesos, que están relacionados con la producción disminuyen a medida que el contenido de humedad del suelo es menos al 50-70 por ciento de humedad disponible, por lo que podría suponerse que es necesario altos contenidos de humedad en el suelo siempre que no se interfiera con la aereación.

EFFECTOS DE LA HUMEDAD EN LA PLANTA.

Al parecer, la planta de cacao, es una de las especies menos tolerantes a la falta de humedad, aunque se ha demostrado diferente comportamiento entre cultivares. La absorción del agua ocurre por el sistema radicular a través de mecanismos osmóticos pasivos, como sería la provocación de un gradiente de déficit de presión de difusión (DPD). Normalmente, el agua entra a las raíces cuando el (DPD) del citoplasma celular es mayor que el de la disolución del suelo.

Cuando una hoja con sus estomas completamente abiertos, se arranca de la planta, tarda de 5 a 6 minutos en cerrar sus estomas, en tanto, que otras plantas como café, cítricos y banano toman de 20 a 30 minutos.

Alvim (1) demostró en plantas de seis meses de edad y en macetas, que la apertura de los estomas comenzó a decrecer cuando se redujo la humedad del suelo a cerca de 60 por ciento del margen disponible y que se cerraron completamente cerca del punto de marchitez.

Factores de planta y suelo afectan el suministro de agua para

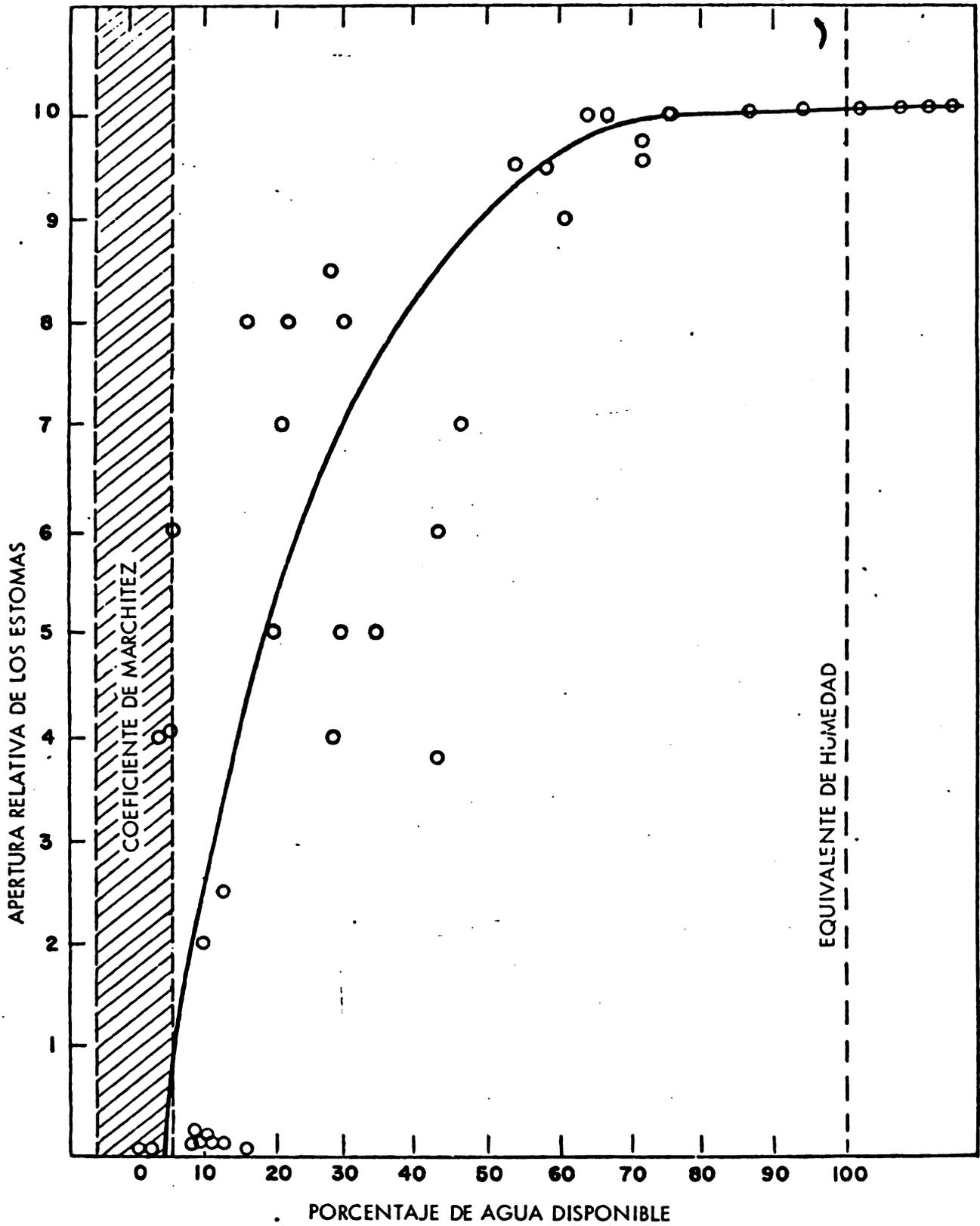


Fig. 1. Apertura relativa de los estomas por el efecto del suministro de humedad del suelo.

la planta y la fuerza con la cual el stress interno se desarrolla. Aunque se dice que el stress se desarrolla más rápido en árboles jóvenes que en viejos. Se ha encontrado (7) que árboles con 2-3 años, son más susceptible que plántulas con cerca de un año.

El tamaño del árbol de cacao, influye en el desarrollo del stress; en Bonsu (Africa), durante la estación seca, árboles grandes tenían durante la mañana una tensión de 0.5 bares en la línea de la base, en tanto que la mayor parte de los otros árboles, tenían un mínimo de tensión en el rango de 1-5 bares. Los árboles grandes florecieron en tanto que aquellos en stress no. Es notorio que los árboles que estaban en el borde de las parcelas eran más altos, con tensiones internas más bajas y estaban en mejor condiciones. Estos árboles quizás tenían un mayor sistema radicular debido a la fotosíntesis extra por la luz adicional recibida.

El relacionar el estado de humedad de las plantas con el déficit de humedad del suelo, es difícil, ya que muchos factores deben ser tomados en cuenta: textura del suelo, profundidad, penetración de las raíces, etc. muchos de los cuales son muy difíciles de describir cuantitativamente.

Aunque se han hecho progresos para definir el efecto del stress en varios procesos del desarrollo y crecimiento, hay estimados que necesitan ser chequeados debido a la limitación de datos.

Según Hutcheon (9), la curva de tensión de la savia sigue los patrones de radiación. La tensión de la savia en la noche y en las primeras horas de la mañana, está normalmente entre 0.7 y 2 atmósferas. En día soleado, tensiones de 10-15 atmósferas pue-

den ser encontradas entre las 11 y 13 horas, estos valores caen entre 2-4 atmósferas en la tarde. La tensión en cacao puede caer rápidamente durante períodos de nubosidad, así pueden haber caídas de 15 a 5 atmósferas. La tensión máxima durante un día muy nublado no excede de 5-6 atmósferas.

La principal causa de stress en cacao, es el exceso de transpiración sobre la absorción de agua (9). Árboles no sombreados y a pleno sol, muestran stress cuando la tensión cerca de la media noche y en las hojas de la copa es de 12 atmósferas, y de 5-6 atmósferas menos en la base de la copa. Sin embargo resulta difícil describir el stress de la planta entera en razón de que el potencial acuífero de cualquier hoja varía con la velocidad de transpiración.

El sombreamiento al reducir la radiación que recibe la planta de cacao, reduce la pérdida de agua así como el stress en el árbol. El stress en hojas altas de árboles de cacao sombreado, es con frecuencia menos de la mitad de aquellas no sombreadas. Hay controversias de si la sombra es beneficiosa al estado de humedad. Es claro que el sombreamiento mejora el status del agua en el cacao y cuando la humedad del suelo es adecuada, la competencia por agua es de poca importancia comparada con la reducción en la transpiración. En cambio, en sequedad es posible que la sombra de árboles podrían competir con el cacao por agua.

EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE PLANTULAS DE CACAO.

Plántulas de cacao fueron colocadas en balsas de polietileno y luego fueron sometidas a diferentes regímenes de humedad, des-

Tabla 2.- *The effect of available soil moisture on seedling size at 44 weeks*

	Lower limit to which available soil moisture was allowed to fall								L.S.D. (P=0.05)
	100%	90%	80%	70%	60%	45%	30%	15%	
stem height (cm)	52.9	65.9	74.3	77.6	83.9	74.8	86.2	74.2	8.7
stem diameter (cm)	2.04	2.17	2.09	2.13	2.32	2.23	2.24	2.00	0.11
leaf area (cm ²)	5401	6125	6658	6231	6492	7029	6872	6061	856
fibrous root DW (g)	7.8	9.8	12.6	16.4	13.8	13.7	13.4	10.5	1.8
stem + tap root DW (g)	36.3	46.5	44.5	50.8	60.7	61.7	61.3	46.4	10.5
leaf DW (g)	27.9	33.2	35.9	35.3	37.9	38.4	39.3	31.7	3.7
total DW (g)	72.0	89.9	93.1	102.5	112.4	113.8	113.9	88.6	10.6

de las 11 a las 44 semanas. El contenido de humedad variaba desde capacidad de campo y 100, 90, 80, 70, 60, 45, 30, y 15 por ciento de la humedad disponible. Las plántulas crecieron mejor cuando el suelo iba desde seco hasta cerca del 60 % de la humedad disponible. Existe duda de que las plantas que crecen en regímenes húmedos sufren de poca aereación y posiblemente reducen la absorción de agua y nutrimentos.

Estos resultados son diferentes de los encontrados por Alvim, pero pueden ser explicados, diciendo que el suelo usado al ser alto en materia orgánica, tiene alta capacidad de retención de agua.

La capacidad de campo de éste suelo, tenía un alto valor de 45 % por lo que existe la duda de que el agua fuera excesiva en regímenes húmedos y por lo tanto de que la humedad fuera inadecuada.

Los resultados obtenidos y mostrados en el cuadro 1, ponen de manifiesto que tanto el exeso como la inadecuada humedad son dañinas para las plántulas de cacao, especialmente en suelos ricos en materia orgánica.

Cuadro 2.- Glasshouse soil-moisture regime experiment. Volumes of water used are the means of five replicates, dry weights are the means of two replicates.

Soil moisture regime		Volume of water used per plant, litres		Dry weights per plant on day 364, g			
Dry season	Wet season	Days 0 - 182	Days 183 - 364	Leaf	Stem	Root	Total
Wet	Wet	156	281	609	528	197	1334
Wet	Medium	153	227	461	317	128	906
Wet	Dry	160	131	261	323	158	742
Medium	Wet	153	270	458	357	145	960
Medium	Medium	147	246	581	449	157	1187
Medium	Dry	149	130	226	277	111	614
Dry	Wet	111	208	539	387	180	1106
Dry	Medium	99	185	350	268	90	708
Dry	Dry	91	110	235	232	103	570

EFEECTO DE LA HUMEDAD SOBRE LAS HOJAS DE CACAO.

Hojas flácidas es el primer signo visible del stress de agua, aunque no se ha definido a que nivel de stress ocurre. Luego las hojas caen del árbol al parecer debido a la acumulación progresiva de un agente de abscisión, como resultado de la exposición gradual al stress. La susceptibilidad a la caída se incrementa con la edad de la hoja. Las más viejas caen al primer pico de la sequía, al incrementar el stress, caen las más jóvenes y luego los brotes jóvenes se marchitan.

En Trinidad (12), trabajándose con el clon ICS 95, se aplicaron 9 tratamientos (15 % de agua, régimen seco; 50 %, régimen medio y 85 %, régimen húmedo), randomizados en cinco bloques, y en época seca y húmeda; cuadro 2.

Durante la época seca, hubo poca diferencia en las intensidades de brotamiento de las hojas, de los regímenes húmedo y medio y esto ocurría desde las yemas terminales; en tanto las plantas bajo régimen seco brotaban más y éste brotamiento ocurría desde yemas terminales y axilares, sin embargo, muchos de éstos brotes comenzaron a morir después que la hoja comenzaba a expandirse.

Al llegar la estación húmeda y al cambiar el régimen de humedad, ocurrió que las plantas que cambiaron de un régimen húmedo o medio a uno seco, brotaron muy vigorosamente desde algunas yemas axilares y desde la terminal, después muchos de éstos brotes se secaron y murieron durante el próximo ciclo de sequía. Las plantas que estuvieron bajo un régimen seco mostraron un pico similar de brotamiento durante su vida.

Al terminar la estación seca (día 182), aunque era poca la diferencia, las plantas bajo régimen húmedo, tendían a tener más hojas, pero el cambio de éstas era mayor en plantas bajo régimen seco.

En la estación lluviosa, las plantas en régimen aumentaron el número de sus hojas de una manera más rápida que las que tenían un régimen medio o seco, sin importar el régimen que habían tenido en la época seca.

Las hojas de plantas en régimen seco eran más pequeñas que aquellas bajo régimen medio y éstas a su vez sobre las que estuvieron en régimen húmedo.

Por tanto, el desarrollo del stress repetido sobre las hojas

del cacao puede ser resumido así: ocurren vigorosos brotamientos después del humedecimiento al final de cada ciclo de sequía, después de lo que ocurre marchitamiento. Las hojas son delgadas y diferentes a aquellas de plantas que nunca sufren stress. Bajo stress se forman hojas pequeñas que caen rápidamente, comparadas con las hojas grandes y de mayor área foliar producidas por plantas bajo régimen húmedo.

Las plantas con menos déficit de humedad en el suelo, usaron más agua que aquellas que tenían mayor déficit de humedad del suelo, lo que puede atribuirse al incremento del área foliar neta.

Los pesos secos de las raíces, tallos y hojas fueron mayores en plantas de cacao bajo régimen húmedo.

EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE LAS FLORES DEL CACAO.

Resultados demuestran que la mayor producción de flores ocurre cuando las plantas nunca llegan a sufrir más que un pequeño stress de agua (5, 12). En tanto, un período seco de seis meses, estimula grandemente la producción de flores aunque el desarrollo de éstas es pobre.

EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE LAS FRUTAS.

La fructificación puede suspenderse durante períodos prolongados de sequía. El desorden fisiológico conocido como "cherelle wilt" puede transformarse en algo severo durante períodos de sequía (1, 5)

El rebrote intenso de hojas, así como fuertes lluvias que detienen el crecimiento radicular ocasionan marchitamiento prematuro de las frutas, la causa de esto no es bien conocida, pero puede reducir

entre 60 a 93 % el número de frutas afectadas. Alvim (2), señala que la competencia entre mazorcas y rebrotes por potasio que algunos señalan como la causa, no pudo ser comprobado en Costa Rica.

LITERATURA CITADA.

- 1.- ALVIM, P. de T. Las necesidades de agua del cacao. Turrialba 10 (1): 6-16. 1960.
- 2.- _____ . Studies on the cause of Cherelle Wilt of cacao. Turrialba 4 (2): 72-77. 1954.
- 3.- _____ . Algunos estudios fisiológicos del Centro Interamericano de Cacao. In Conferencia del Comité Técnico Interamericano del Cacao, 4a, Guayaquil, Ecuador, 1959. 10 p.
- 4.- _____ . El problema del sombreamiento del cacao desde el punto de vista fisiológico. In Conferencia Interamericana de Cacao, 7a, Palmira, Colombia, 1958. Trabajos presentados. s. n. t. Doc. 32, 13 p.
- 5.- _____ . Eco-physiology of the cacao tree. In Conference Internationale sur les Recherches Agronomiques Cacaoyeres, Abidjan, nov. 15-20, 1965. Paris, jouve, 1967. pp 23-25.
- 6.- CAROLUS, R. Evaporative cooling techniques for regulating plant water stress. Hortscience 6 (1): 23-25. 1971.
- 7.- HUTCHEON, W. V. Physiology section. In Cocoa Research Institute. Annual report 1972-73. Tafo, Ghana, 1975. pp. 148-169.
- 8.- _____ . Stomatal resistance of cocoa leaves in relation to water stress. In Cocoa Research Institute. Annual report 1973-74. Tafo, Ghana, 1976. pp. 182-193.
- 9.- _____ . Water relation. In Cocoa Research Institute. Annual report 1971-1972. Tafo, Ghana, 1973. pp. 192-204.
- 10.- LARCHER, W. Ecofisiología vegetal. Barcelona, Omega, 1977. 305 p.
- 11.- SALE, P. J. Soil moisture regimes. In Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research 1968. St Augustine, Trinidad, 1969. pp. 27-31.
- 12.- SALE, P. J. Soil regimes. In Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research 1968. St Augustine, Trinidad, 1968. pp. 36-45.
- 13.- VERA BARAHONA, J. Influencia de la sequía fisiológica en el desarrollo y nutrición de genotipos contrastados de cacao. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 83 p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Programa de Plantas Perennes
Turrialba, Costa Rica

SEMINARIO ESPECÍFICO
Avances en Producción de Cacao

INSECTOS POLINIZADORES EN CACAO (Theobroma cacao L.)

Jaime A. Crissien E.

Mayo 1979

INTRODUCCION

El problema de la polinización ha sido, en muchos casos considerado como un factor limitante en la producción de cacao, Hernandez (5).

La literatura señala, la importancia de diferentes especies relacionadas con la polinización de este cultivo. Así se ha encontrado como insectos importantes a los trips, áfidos y hormigas entre muchos de los reportados.

Al parecer un factor que contribuye a dificultarla actividad polinizadora de los insectos, es la estructura misma de la flor. Por otra parte la flor, no produce néctar e algún olor para atraer los insectos.

Los porcentajes de polinización alcanzados por la actividad de los insectos raras veces supera el 5%. Para Costa Rica Hernandez (5), señala que se ha estimado que solamente de 0.5 a 1% de las flores son polinizadas.

El propósito de ésta revisión es, señalar cuales son las especies que más contribuyen con la polinización del cacao y algunos de los factores involucrados en su actividad.

Insectos polinizadores en cacao. (Theobroma cacao. L)

La literatura, reporta la importancia del género Forcipomyia en la polinización del cacao. Sin embargo, en este escrito, trataremos de darle énfasis a otros insectos diferentes a dicho género que, también contribuyen en la polinización del cacao.

Wright citado por Hernandez (5), al comentar las experiencias de Uzel, señala la importancia de los trips como polinizadores en cacao. Por su parte Caracciolo (2), en 1910 estudió los hábitos de hormigas, moscas y trips en flores de cacao y, llegó a la conclusión que solo los trips tienen hábito polinizador. De acuerdo con Stahel citado por (5), en trabajo en Surinam, sobre árboles autocompatibles, en cámaras sin insectos, encontró, que solo una de 439 flores dió fruto. -- Cuando las hormigas de algunas especies se introdujeron en las cámaras, 5 de 624 flores dieron fruto. La asociación de hormigas y afidos produjeron 20 frutos de 250 flores.

Gope (3), encontró que los insectos más asociados con las flores del cacao fueron los trips (Frankliniella parvula Hood.) las hormigas rojas (Wasmonia auropuntata Kog) y los afidos (Toxoptera aurontii B de Fonsc.).

Posteriormente, Posnette (8), determinó la presencia de la hormiga (Crematogaster sp), el afido (Toxoptera aurontii), el Psylido (Mesohomatoma testamouni) y el trips (Helio thrips subrocintus). Hernandez (5), trabajando en Costa Rica encontró la presencia del trips (Frankliniella parvula), la hormiga (Wasmonia auropuntata),

y (Solenopsis geminata L. En el cuadro N° 1 tomado de Hernandez (5), se puede observar el resultado de la polinización llevado a cabo por algunos de los insectos por él reportados en la Lola de Costa Rica.

Tamara (2), en Colombia encontró al hacer un inventario sobre insectos polinizadores en cacao como especies más importantes a el afido (Toxoptera aurantii B de Fonsc.), la hormiga (Crematogaster sp L, la hormiga roja (Wasmonia auropuntata Kog), la hormiga (Paratrechina longicornis Latr L, la hormiga (Compunotus abdominalis L y el trips (Frankliniella parvula L.

Según Winder y Silva (16), en el cuadro N° 2 y 3 aparecen una serie de insectos por ellos reportados en las plantaciones de cacao en Itabuna Brasil, como asociados con la polinización del cacao.

Kaufman (6), en Ghana reporta como insectos importantes en la polinización del cacao a el Tyora tesmani y algunos dípteros de la familia Ceratopogonidae. En el cuadro N° 4 se pueden observar, algunos de talles estudiados por dicho autor en la actividad de esos insectos.

Silva, citado por Soría (10), encontró cuatro especies de abejas, visitando las flores de cacao en Brasil. Las especies reportadas por dicho autor fueron: Tetragona jaty (Smith), Paratrigona testaceicornis punetata (Smith), Paratrigona lineata subnuda Moure y Plebeia Mosqueta (Smith). Sin embargo, señala Soría (10), que las abejas Tetragona jaty y probablemente generos afines, no son polinizadores del cacao.

Cardona (1), en Colombia, observó la presencia de Toxoptera aurantii

Cuadro N° 1_ Polinización resultante de varios insectos utilizando
camaras en flores de cacao,
La Lola, Costa Rica, 1961-1962

Insecto	N° de camaras	Insectos por camaras	Flores fertilizadas después de 48 horas.	% de Polinización
<u>Solenopsis geminata</u>	153	5	4	2.6
<u>Solenopsis (Diplorhoptrum) sp.</u>	112	5	4	3.5
<u>Wasmania auro-punctata</u>	100	5	8	8.0
<u>Toxoptera aurantii</u>	100	15-20	25	25.0
<u>T. aurantii + S. geminata</u>	100	(15-20) + 5	16	16.0
<u>Frankliniella parvula</u>	100	5	1	1.0
<u>Trigona jaty</u>	100	1	1	1.0
<u>Amastris obtegens</u>	20	1	0	0.0
Testigo N° 1	102	--	0	0.0
Testigo N° 2	285	---	237	83.1

Testigo N° 1 = Sin insectos pero expuesta a la acción del aire, a semejanza de cuando se introducen insectos dentro de la camara para polinizar.

Testigo N° 2 = Polinización manual manteniendo la flor dentro de la camara.

Tomado de: Hernandez J. (5)

Cuadro N° 2 Insectos colectados de 6.000 flores de cacao en CEPEC de
Febrero a Mayo 1971.

	Número total colectado
Cecidomyiidae	85
Ceratotopogonidae	7
Psychodidae	2
Smittia sp	1
Microhymenoptera	2
Total	97

Tomado de: Winder J. A. y Silva, P. (16)

Cuadro N° 3 Algunos insectos encontrados asociados con la apertura de
3.400 flores de cacao en CEPEC, Itabuna Bahía.

TAXA	Número colectado
Cicodellidae (Hom)	177
Toxoptera aurantii B. de Foësc (Hom)	1.320
Cocoidea (Hom)	5
Formicidae (HYM)	236
Miscelaneos	60

Tomado de: Winder, J. A. y Silva, P. (16)

Cuadro N° 4 Polinización efectiva de flores de cacao por Iyora Tessmanni y Cera-topogonidae de Febrero a Mayo de 1972 en Ghana.

Mes	Total de flores examinadas	Total de flores efectivamente polinizadas	Número de flores efectivamente polinizadas por		
			T. tess	Cerato	Total
Febrero	260	55	7	8	15
Marzo	230	46	11	3	14
Abril	255	48	13	8	21
Mayo	243	51	9	8	17
Total	988	200	40	27	67

Tomado de: Kaufman, T. (6)

tii B de Fonsc (Hemoptero de la familia aphididae), Crematogaster sp (Hymenoptero de la familia formicidae), Frankliniella parvula Hood. (Thysanoptera de la familia Thripidae). Entre estas especies el Exoptera aurantii, ocupó el primer lugar pues se le encontró en un 70% . La mayoría de estos insectos viven en el pedúnculo floral. En segundo lugar se encontró el Crematogaster sp con un 20% aproximadamente y en tercer lugar el Frankliniella parvula con 6%. Investigaciones más recientes, entre ellas las de Kaufman (7), informa de la importancia del Lasioglossum sp (Hymenoptero de la familia Halictidae), como insecto eficiente en la polinización del cacao.

Winder (14) reportó la presencia de microdípteros en la polinización del cacao entre ellos cita a los Cecidomyiidae, Chironomidae, Drosophilidae, Psychodidae y Sphaeroceridae.

Por su parte Wirth y Waugh (18), describieron la procedencia de los adultos de cinco especies de Dasyhelea, criados en vainas descompuestas de cacao en la región neotropical. Dos especies, la Dasyhelea boromeieri sp (de Brasil, Granada, Panamá y Trinidad), y la Dasyhelea williamsi sp (de Brasil, Dominica, Panamá y Trinidad), han sido tomados de flores de cacao, donde ellos son importantes como polinizadores.

Según Privat (9), en Costa Rica, uno de los posibles polinizadores del cacao sea la abeja Trigona clavipes que entra en la flor y se coloca sobre los estambres, aunque no fué observada sobre el pistilo. También encontró muchos Psocopteros, tanto sobre las flores

como en las bromeliaceus, donde también se desarrollan numerosos dipteros, Sciridae y Cecidomyiidae, que fueron observados sobre el pistilo y las antenas de la flor del cacao.

Vello y Magalhaes (13), en Brasil al estudiar la influencia de las hormigas Azteca chartifex spiritalis Forel, encontraron que ésta no tuvo una participación directa en la polinización. Sin embargo, cuando la hormiga se asocia con otros insectos alados, el porcentaje de polinización aumentó. La actividad de la hormiga como atrayente de otros insectos es señalada por dichos autores y, al parecer cuando la hormiga se encuentra en estado de excitación es mayor la actividad de los insectos asociados con ella.

En el cuadro N° 5, se puede observar que cuando la hormiga estuvo asociada con otros insectos alados el porcentaje de fertilización del cacao fué mayor en relación al testigo y al tratamiento donde solamente se tenían insectos alados dentro de las cámaras de experimentación.

Sitios de cría de insectos asociados con la polinización del cacao.

Los sitios de cría, son un factor que al parecer, es de importancia en la dinámica poblacional de estos insectos. Así Winder (16), en el Brasil señala que las vainas de cacao en descomposición, son un buen habitat para estos insectos; lo mismo que la hojarasca que produce el propio cultivo y, la sombra temporal y permanente.

En los cuadros N° 6 y 7 se puede observar, que para los Culicoides las

Cuadro N° 5 Número de flores y porcentajes de fertilización obtenido anualmente de cuatro clones de cacao por tratamiento, en la estación experimental de Jucari. Mayo de 1965 a Diciembre de 1970.

Años	Insectos alados más cacafema		Solamente insectos alados		Testigo				
	Número de flores Producidas	% de Fertilización	Número de flores Producidas	% de Fertilización	Número de flores Producidas	% de Fertilización			
1965	4.106	405	9.91	12.141	290	2.4	12.835	101	0.8
1966	8.202	460	5.61	11.092	498	4.5	10.045	590	5.9
1967	13,059	701	5.41	10.067	263	2.6	8.345	377	4.5
1968	13.387	409	3.01	9.618	216	2.2	5.669	112	2.0
1969	14.342	601	4.21	16.566	384	2.3	15.126	394	2.6
1970	10.600	323	3.01	11.350	365	3.2	9.285	324	3.5
Total	69.696	2.899	4.5	70.834	2.016	2.8	61.305	1.898	3.1

Tomado de: Votlo, F. y Magalhaes, W. (11)

Cuadro N° 6 Una comparación de el número de Ceratopogonidae colectado de vainas de cacao y hojarasca en CEPEC, de Octubre 1969 a Marzo 1970.

Especies de Insectos	Vainas de cacao en descomposición	Hojarasca
Atrichopagan sp	0	6
Culicoides near globellus Wirth y Plants	14	1
Culicoides paraensis (Gaeldi)	47	1
Culicoides pifanoi (Ortiz)	20	26
Culicoides pusillus (Lutz)	4	1
Culicoides sp	1	0
Qsyhelea sp	186	3
Forcipomyia (F) cextipes Graup	3	3
Forcipomyia (F) genualis hockw	1	9
Forcipomyia (F) sp	2	3
Forcipomyia (F) sp	1	0
Palpomyia sp	10	0
Stilobezzia sp	4	1
Otros dipteros	1456	156
Número total de insectos	1953	210
Número total de muestras de substrato	50	50
Peso total de la muestra del substrato.	7417	4378

Tomado de: Winder J. A. y Silva, P. (16)

Cuadro Nº 7 Ceratopogonidae y Cecidomyiidae emergiendo de diferentes substratos colectados de plantaciones de cacao en CPPEC (Brasil).

	Vainas descompuestas de cacao	Tallos de bananos descompuestos	Residuos de frutos desc.	Epifitas bromeliáceas.
Cecidomyiidae	5	5	5	14
Ceratopogonidae				
<u>Forcipomyia</u> (F) <u>Pictoni</u>	1	34	4	1
<u>Nosyhelea</u> sp (1)		26	19	
<u>Nosyhelea</u> sp (2)	1	3	5	2
Total de Ceratopogonidae.	27	63	74	31

Tomado de: Winder, J. A. (1951)

yainas descompuestas del cacao son un buen sitio de cría, mientras que para los especímenes del género *Forcipomyia*, la hojarasca parece ser un mejor sitio de cría. Para los Cecidomyidae, las epifitas bromeliáceas, parecen ser un buen sitio de cría.

Observaciones entomológicas.

Entwistle (4) hizo observaciones entomológicas y llegó a señalar que, la mayor actividad de algunos de estos insectos se encuentran en determinadas horas del día. En el cuadro 8 se puede observar que, la mayor actividad va desde el amanecer hasta las 9 de la mañana. El mayor porcentaje de polinizaciones se realiza en este período.

Observaciones botánicas.

Según Entwistle (4), el tipo de polinización, juega un papel importante en la producción de frutos de cacao. La polinización de tipo estigmática según dicho autor, produjo un menor porcentaje de fructificación en comparación a la polinización hecha sobre el estilo, como se puede observar en el cuadro N° 9.

Otros factores que pueden influir en la polinización.

Soria (11) trabajando en Costa Rica observó, que las variedades de cacao al parecer tienen diferente potencial de fertilización. Este lo pudo ob-

Cuadro N° 8 Polinización a diferentes horas del día.

Período del día	Porcentaje del total de las polinizaciones en el día
Amanecer - 7.30	37.1
7.30 - 09.00	49.1
09.00 - 12.00	1.0
12.00 - 15.00	12.4
15.00 - 18.00	0.0

Tomado de: Entwistle, H. M. (4)

Cuadro N° 9 Polinización sobre el estigma y el estilo.

Tipo de polinización	N° de flores	N° de frutos	Fructificación %
Estigma	19	14	73.7
Estilo	22	19	86.4

Tomado de: Entwistle, H. M. (4)

seryar al eyaluar el comportamiento de diferentes variedades de cacao en Turrialba siendo polinizados por insectos del género *Forcipomyia*. En la eyaluación realizada por este autor se encontró que la variedad que tenía en promedio un mayor porcentaje de polinización fué la UF - 667, en comparación a las otras variedades como se puede obseryar en el cuadro N° 10,

El mismo Soria (11), señala la importancia de la capacidad de producción de diferentes clones y su relación con la polinización por insectos. Así, la actividad polinizadora de *Forcipomyia* dió en terminos generales mayores porcentajes de polinización sobre clones de alta producción que sobre clones de baja producción, como se puede observar en el cuadro N° 11,

La figura N° 1 tomada de Soria (11), señala la importancia de los trips como insectos que tienen una actividad polinizadora complementaria a la realizada por los dípteros del género *Forcipomyia*,

En dicha figura se puede observar que en los meses en que la actividad de *Forcipomyia* disminuye, por la escasez de insectos de este género, los trips suplen la ausencia de anillos en la actividad polinizadora.

Cuadro N° 10 Porcentajes de flores polinizadas por *Porcinoomyia* spp. en varias variedades de cacao en Turrialba, Costa Rica. Febrero 24 a Agosto 30, 1965.

Clón	% de flores polinizadas							Promedio
	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	
Nº de Muestras	3	21	12	14	8	9	9	
UF-667	2.0	1.6	0.8	0.6	0.1	0.4	0.1	0.81
UF-221	1.6	1.0	0.5	0.6	0.2	0.7	0.3	0.70
ICS-47	1.5	0.4	0.5	0.3	0.2	1.1	0.6	0.67
UF-168	1.7	0.8	0.7	0.5	0.2	0.1	0.1	0.57
UF-676	2.0	1.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.57
R-105	1.0	0.6	0.4	0.1	0.0	1.0	0.7	0.55
UF-668	1.3	1.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.4	0.53
UF-613	1.3	0.8	0.3	0.7	0.1	0.2	0.1	0.51
R-30	2.0	0.8	0.4	0.1	0.2	0.0	0.2	0.51
ICS-29	1.3	0.5	0.4	0.2	0.4	0.2	0.0	0.41
UF-650	0.3	0.8	0.6	0.4	0.2	0.3	0.1	0.39
ICS-39	1.0	0.5	0.4	0.1	0.0	0.2	0.1	0.33
Promedio	1.42	0.86	0.48	0.34	0.17	0.37	0.21	

Tomado de: Sorita S. (11).

Cuadro N° 11 Forcipomyia polinización y producción en híbridos de alta producción versus híbridos de baja producción en Turrialba, Costa Rica. Mayo 16 - Mayo 31, 1960.

Par N°	Altos productores				Bajos productores			
	Total de flores examinadas	% de flores polinizadas	Total de flores polinizadas	N° de frutos en 6 a ños	Total de flores examinadas	% de flores polinizadas	Total de flores polinizadas	N° de frutos en 6 a ños.
1	216	3.7	8	227	236	1.3	8	42
2	200	0.5	1	136	208	1.0	2	18
3	96	0.0	0	175	404	0.7	3	19
4	160	6.9	11	209	252	0.8	2	15
5	395	2.8	11	149	78	2.6	2	3
6	136	2.2	3	218	309	0.6	2	1
7	203	1.5	3	115	57	5.3	3	10
8	94	0.0	0	173	139	1.4	2	28
9	324	1.5	5	115	100	1.0	1	1
10	126	2.4	3	135	229	1.3	3	27
11	236	0.0	0	123	51	2.0	1	10

Tomado de: Sorfa S. (11 L)

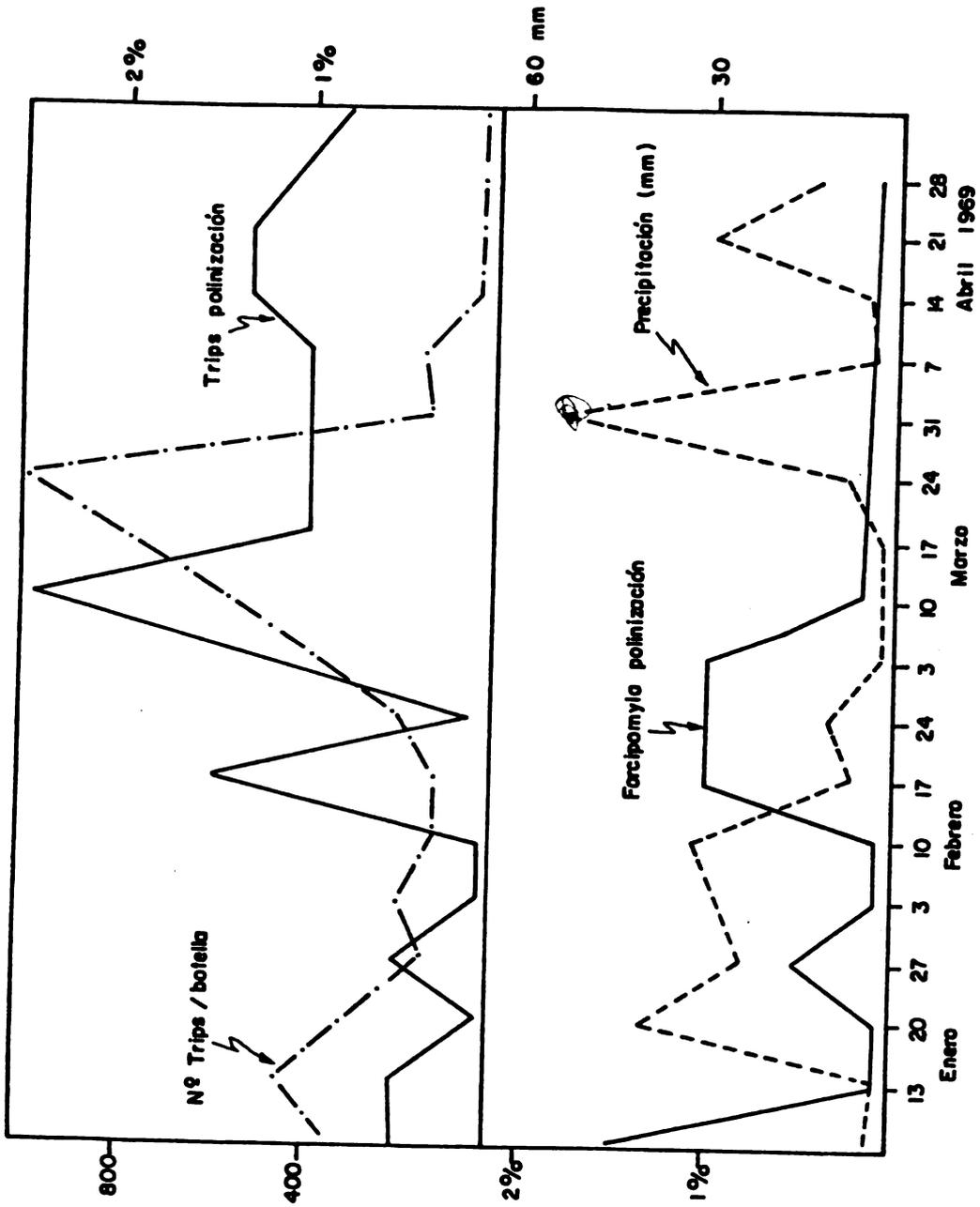


Fig. 1 Porcentaje de polinización por Trips versus porcentaje de polinización de Forcipomyia durante enero a abril de 1969 (Tomado de Soria, S.)

LITERATURA CITADA

1. CARDONA, E. Influencia de siete insecticidas en la polinización y la fructificación del cacao, y breve estudio de los insectos polinizadores. Cacao en Colombia 2:41-61. 1953.
2. CAPACCIOLO, H. A. The pollination of the cacao flower. Agric Soc. of Trinidad and Tobago. Paper nº 439. 2pp.
3. COPE, F. W. Agents of pollination in cacao. Ninth annual report on cacao research, 1939. I. C. T. A. Trinidad. 1940.
4. ENTWISTLE, H. M. Pollination studies. Ann Rep. W. Afr. Cocoa Res Inst. 1956 - 1957, 45 - 47. 1957.
5. HERNANDEZ, J. Insect pollinization of cacao (Theobroma cacao L.) in Costa Rica. Ph. D. Thesis. University of Wisconsin. 1965. 166 p.
6. KAUFMAN, T. Preliminary observations on cecidomyiid midge and its role as a cocoa pollinator in Ghana. Ghana Journal Agric Sci. 6: 193 - 199. 1973.
7. _____ . An efficient, new cocoa pollinator, Laseoglossum sp (Hymenoptera: Halictidae) in Ghana, West Africa. Turrialba 25 (1): 90-91. 1975
8. POSNETTE, A. F. Natural pollination of cocoa in Gold Coast. Tropical Agriculture 19:12-16. 1942.
9. PRIVAT, F. Las Bromeliaceas "estanque" y su relación con los insectos que polinizan el cacao. Turrialba, Costa Rica. 13 julio 1978. 1978. 10 p.
10. SORIA, S. O papel das abelhas sem ferrão (Meliponinae) na polinização do cacau eiro na América Tropical. Theobroma 5(1): 12 - 20. 1975.
11. SORIA, S. Studies on Forcipomyia spp midges (Diptera, Ceratopogonidae) related to the pollinization of Theobroma cacao L. Ph.D. Thesis. 1970. 129 p.
12. TAMAPA H. DE FRANCO. Catalogo provisional de los insectos encontrados en el cacaotero, en 6 Colombia. In septima conferencia Interamericana de cacao, Palmira (Colombia), 13-19 Julio 1958. Mag. Dia pp 231 - 239. 1958.

13. VELLO, F. y MAGALHAES, W. Estudos sobre a participacao da formiga cacarema (*Azteca chartifex spiriti* Forel) na polinizacao do cacaueiro na Bahia. *Theobroma* 1 (4): 29-42. 1971.
14. WINDER, J. A. Recent research on insect pollination of cocoa. *Cocoa Growers Bull.* 26 : 11-19. 1977.
15. _____ . Field observations on Ceratopogonidae and other Diptera : Nematocera associated with cocoa flowers in Brasil. *Bull ent. Resch.* 67: 57-63. 1977.
16. WINDER, J. A. y SILVA, P. Current research on insect pollination of cacao in Bahia. *Proceedings 4th Int. Cocoa Res Conf. Trinidad y Tobago, January 1972.* pp553-565. 1975.
17. WINDER, J. A. y SILVA, P. Cacao pollination: Microdiptera of cacao plantations and some of their breeding places. *Bull ent Resch.* 61: 651 - 655. 1972.
18. WIRTH, W. W. y WAUGH, W. T. Five new neotropical *Nasyhelea* midges (Diptera: Ceratopogonidae) associated with culture of cocoa. *Review of applied entomology abstracts,* v 66 N° 1. 1978 pp 1-478.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Programa de Plantas Perennes
Turrialba, Costa Rica

SEMINARIO ESPECIFICO
Avances en Producción de Cacao

ASOCIACIONES DEL CULTIVO DE CACAO (Theobroma cacao)
CON VARIAS ESPECIES DE SOMBRA

Renán Zúñiga

Mayo 1979

ASOCIACIONES DEL CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao*) con
VARIAS ESPECIES DE SOMBRA

La explotación comercial de cacao bajo sombra, clásicamente se ha considerado como un monocultivo y como tal, se ha desarrollado toda una tecnología cuya eficiencia se basa en el cultivo de grandes áreas y en el uso masivo de fertilizantes y pesticidas.

Modernamente en algunos países como Malasia, Ghana, India, Trinidad, Filipinas, entre otros, se ha venido investigando algunas asociaciones de cacao con otras plantas, ya no sólo desde el punto de vista de si éstas sirven o no para sombra sino, además, estudiando las combinaciones que hagan una eficiente utilización de recursos tales como luz solar, suelo y agua.

El éxito en la producción agríola depende, además de los factores socio-económicos, de cómo la tecnología pueda disminuir la resistencia ambiental que ejerce el clima, el suelo y la fisiología sobre el potencial genético de los individuos que componen la población de plantas cultivadas (9).

En su ambiente natural el cacao se encuentra formando parte del estrato más bajo de los bosques de las tierras bajas tropicales, donde prevalecen condiciones húmedas y altas temperaturas (7).

En éstos ecosistemas naturales la productividad resultante de la interacción población - ambiente es la fundamental, sin embargo, en agro-ecosistemas lo que interesa en forma directa es la producción, o sea, aquella parte de la productividad que se logra encausar hacia uno o varios productos de interés económico (9).

El problema del sombreamiento

Parece que el hecho de que naturalmente el cacao se encuentre formando parte del bosque, sombreado por las copas de árboles gigantescos de denso sistema foliar, sirvió como base para el establecimiento de las primeras plantaciones bajo sombra (8).

Las plantaciones de cultivos perennes son las que más se parecen al bosque tropical, una vez establecidas, cubren de hojas el terreno, protegen de la erosión del suelo y permiten que se establezca un cierto reciclaje de nutrientes, particularmente con cultivos de follaje denso y árboles de sombra (17). Adams y McKelvie citados por Urquhart (19) estimaron que en Ghana, una plantación de cacao sombreada derivó de los árboles de sombra alrededor de dos toneladas de horajasca por acre por año; que contenían 70 libras de nitrógeno y 4 libras de fósforo. El mismo autor cita a Hardy, quien encontró que en Trinidad los nódulos de las raíces de Erythrina sp contenían más de un 4% de N, las hojas del 2 a 3% y las flores de 3 a 6%.

Estudios realizados en Turrialba han mostrado que la diferencia entre la cantidad de nutrientes que retornan al suelo y la que remueve la cosecha, varía de acuerdo con la riqueza natural del suelo, pero en general hay una alta proporción de reciclaje. Este fenómeno debe ser tomado muy en cuenta para la formulación de recomendaciones más económicas de fertilizantes; básicamente en los momentos actuales en que hay que buscar alternativas económicas para el uso de fertilizantes (17).

El cultivo de cacao bajo sombra de plantas de interés económico como coco, caucho, palma africana, especies maderables, etc., implica la búsqueda de aso-

ciaciones con especies que no compitan directamente en el uso de espacio aéreo y radicular y que tengan un buen índice de tolerancia mutua.

Hardy (11) estudiando las relaciones agua-suelo-planta implicadas en el uso de árboles de sombra para proteger cultivos, en los siguientes casos:

a) suelo profundo descubierto y suelo profundo con árboles; b) suelo profundo con árboles y suelo profundo con cultivo bajo sombra de árboles; c) suelo profundo con cultivo bajo sombra de árboles y suelo superficial con cultivo bajo sombra de árboles y suelo superficial con cultivo bajo sombra de árboles; concluyó para el primer caso que el hecho de que la copa de árboles intercepte el 20% de la lluvia, pero consuma la proporción correspondiente (20%) de la energía solar para evaporarla, dejando un 80% para la transpiración; explica porque el contenido de humedad del suelo permanece prácticamente igual para un suelo descubierto y para un suelo con cultivo. En el segundo caso, la mayoría de la transpiración ocurre de las copas de los árboles altos, por lo que la absorción de agua y la nutrición de los árboles de cultivo se retarda, debido principalmente a que la temperatura del aire entre el follaje de los árboles de cultivo es considerablemente menor que la del aire entre las copas de los árboles más altos. En el tercer caso, los árboles que crecen en el suelo superficial reducen el abastecimiento de agua del suelo más rápidamente que en el suelo profundo.

La poda de los árboles de sombra o la caída natural de las hojas, conserva la humedad del suelo y permite que el cultivo bajo sombra sobreviva por un tiempo más largo.

El sistema radical del árbol de sombra ayuda a mantener el suelo "abierto" para la percolación del agua y la aereación, lo que tiene especial valor en

terrenos inundables (19).

El estudio del grado deseable de sombra parece no haber adelantado lo suficiente como para establecer reglas sobre la sombra óptima para las diferentes zonas en que se cultiva el cacao. Por lo tanto, hasta que las funciones y efectos de la sombra no sean comprendidos en forma más completa, y el fitomejorador no haya desarrollado un árbol de cacao que puede comportarse satisfactoriamente con poca o ninguna sombra, es en general más seguro usar sombra, en mayor o menor grado (19).

Quansah citado por Wyrley-Birch (22) comenta algunos ensayos sobre sombra y fertilizantes realizados en Ghana, indica que la remoción de sombra con cacao Amelonado dio más altos incrementos en rendimientos que con cacao Alto Amazonico, el cual, bajo sombra rindió más que el Amelonado.

Aunque es generalmente asumido que la principal función de la sombra es reducir la intensidad de luz solar sobre el follaje del cacao, la mayoría de los autores coinciden en que la sombra es tanto o más importante por las siguientes razones:

1. Protege los cacaoteros de los vientos impetuosos, evitando la "falsa absición" provocada por la acción mecánica del viento (2).
2. Proporciona un adecuado microclima, sin oscilaciones bruscas de la temperatura (7).
3. Reduce el peligro de erosión mediante el mantenimiento de una cobertura vegetal sobre el suelo, lo que a la vez, evita la destrucción de la estructura del mismo, aumentando la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua (8, 20).

4. Aparentemente por la distribución diferencial de los sistemas radiculares permite un uso más eficiente de los nutrientes, ya que una especie usa lo que no alcanzó a utilizar la otra (9).
5. Reduce la temperatura del suelo retardando la descomposición de la materia orgánica por la microflora y macroflora del suelo (10).
6. Mantiene la producción en niveles óptimos sin el concurso de fertilizantes (8).
7. Generalmente desarrolla un sistema radicular más profundo y con mayores ramificaciones que el cacao, lo que ayuda en el ciclo de fertilidad del terreno, llevando hasta las hojas y mediante éstas cuando se caen, hasta la superficie del suelo, los nutrientes que continuamente se lixivian hacia los estratos inferiores (10).
8. Reduce la incidencia de malezas (8).
9. Baja los costos de producción cuando la planta usada es otro cultivo o una especie maderable (4).
10. Disminuye la incidencia de ciertas plagas y enfermedades (8).

Las principales desventajas que se le atribuyen al cultivo de cacao bajo sombra son las siguientes:

1. Compite por nutrientes y agua del suelo (4)
2. Disminuye los rendimientos por la baja actividad fotosintética, debido a la reducida incidencia de luz sobre el follaje del cacao (19).
3. Contribuye a la pérdida de agua del suelo por transpiración (11).
4. Aumenta los costos de producción al requerir mano de obra para su regulación por los daños que se ocasionan al cultivo cuando se efectúa esta operación (7).
5. Aumenta la incidencia de algunas plagas y enfermedades (8).

túa esta operación (7).

Tipos de árboles usados para sombra

La plantación de especies para sombra y para barreras rompeviento es una de las fases más importantes en la preparación del terreno para el cultivo del cacao.

El tipo de planta ideal para sombra es fácil de describir, pero es difícil de encontrar. La experiencia ha demostrado que una planta ideal para sombra de cacao debe reunir los siguientes atributos: a) debe ser fácil de establecer, a pleno sol; b) el material de propagación (semillas o estacas) debe ser fácil y rápidamente disponible; c) la copa debe ser densa, abierta y suficientemente alta para no interferir con la del cacao, no debe desparramarse en forma de sombrilla; d) tener rápido crecimiento, particularmente cuando se usa para sombra temporal; e) ser resistente al ataque de plagas y enfermedades; f) requerir un mínimo mantenimiento después de su plantación; g) donde hay estación seca prolongada debe retener las hojas (22); h) debe tener un sistema radical profundo para evitar que los vientos la arranquen fácilmente y no interferir con el sistema radical del cacao; i) no debe competir indebidamente con la planta de cacao por humedad y nutrientes; j) no debe tener tallo quebradizo ni ramas propensas a desprenderse con el viento (19); k) idealmente debe tener valor comercial (22).

En el cuadro siguiente se reúnen algunas especies usadas para sombra en diferentes zonas cacaoteras, evaluadas de acuerdo a los atributos antes mencionados.

TABLA 1. ALGUNAS ESPECIES USADAS PARA SOMBRA DE CACAO Y SUS CARACTERISTICAS MAS SOBRESALIENTES.

Material de Prop	Fácil de Estable	Sin Plagas o Enfermedades	No Competitiva	Rápido Crecimien	Fácil Mantenimie	No Decidua	Raíz Profunda	Tiene Valor come	Temporal (T)	Permanente (P)	C O P A	Observaciones
Albizia chinensis (22)	*	*	*	*	*	*	-	-	T	P	Extendida rala	Mejor en aluviones fértiles
Albizia falcata (10)	*	*	*	*	*	*	-	0	T	P	Extendida rala	muy exuberante, ramas débiles
Acacia auriculiformis (22)	*	*	?	*	*	*	*	0	T	P	abierta	util para pulpa, madura muy rápido
Anthocephalus cadamba (22)	*	*	*	*	*	*	-	0	T	P	abierto	
Albizia longepedata (10)	*	*	*	*	*	*	-	0	T	P	algo abierta	
Ravaisia integerrima (18)	*	*	?	*	*	*	?	*	P	P	Densa	Experiencia limitada
Alocarpum mammosum (10)	*	*	*	*	*	*	?	*	P	P	cerrada densa	Experiencia limitada
Adrelea mexicana (10)	*	*	?	*	*	*	?	*	P	P	alta abierta	Experiencia limitada
Rordia alliodora (4, 22)	*	*	?	*	*	*	-	*	P	P	Pequeña rala	Experiencia limitada
Dybistax Donnell-Smithii (10)	*	*	?	*	*	*	-	*	T	P	dispersa	De gran tamaño
Protalaria anagyroides (19)	*	*	?	*	*	*	-	*	T	P	Densa	Se establece formando cetos
Coccoloba nussifera (16)	*	*	*	*	*	*	*	*	P	P	Poco densa	Experiencia con plantas adultas
Asiaspectabilis (19)	*	*	*	*	*	*	*	?	P	P	ensanchada	
Delonix regia (22)	*	*	*	*	*	*	-	*	T	P	abierto	Altamente competitiva
Durio zibethinus (22)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	densa abierta	Experiencia limitada
Albergia cubilquitzensis (10)	*	*	?	*	*	*	-	*	P	P	poco densa	Experiencia limitada
Erythrina subumbrans (22)	*	*	*	*	*	*	-	*	T	P	abierto densa	Adecuada en áreas sin plagas
Erythrina poeppigiana (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	abierto densa	Atacada por plagas y enfermedad
Erythrina glauca (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	abierto densa	Atacada por plagas y enfermedad
Erythrina lithosperma (19)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	exuberante	No tiene espinas
Lais guinensis (17)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	Poco densa	Experiencia limitada
Enterolobium cyclocarpum (4)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	Extendida	Experiencia limitada
Lycium sp (19)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	abierto	Experiencia limitada
Liricidia maculata (22)	*	*	*	*	*	*	-	*	T	P	Irregular	
Liricidia sepium (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	Irregular	Nombre común: Madre de cacao
Leveillea robusta (22)	*	*	*	*	*	*	-	0	T	P	conica abierta	diezmada por termitas
Levea brasiliensis (17)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	muy densa	Experiencia limitada
Lernandina sonora (18)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	densa	Experiencia limitada
Lymenopsis sp. (22)	?	*	*	*	*	*	-	*	?	?	densa compacta	Experiencia limitada
Linga oerstandiana (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	poco densa	Común en cafetales y cacaotales
Linga fagifolia (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	poco densa	Experiencia limitada
Linga marginata (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	densa	común en cafetales
Linga mollifoliola (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	densa	Experiencia limitada
Linga punctata (10)	*	*	*	*	*	*	-	*	P	P	densa	Atacada por enfermedades

E S P E C I E S

O B S E R V A C I O N E S

	Material de Prop Facilmente Dispo	Facil de Estable	Sin plagas o Enfermedad	No competitiva	Rápido crecimien	Facil Mantenimie	No Decidua	Raíz Profunda	Tiene valor come	Temporal (T) Permanente (P)	C O P A	O B S E R V A C I O N E S
Inga ruiziana (10)	*	*	?	*	*	*	*	*	*	P	Abierta	Tamaño mediano
Inga edulis (10)	*	*	?	*	*	*	*	*	*	P	Abierta	común en cafetales
Inga vera (10)	*	*	?	*	*	*	*	*	*	P	Poco densa	Se adapta a sitios secos
Inga tonduzii (10)	*	*	?	*	*	*	*	*	*	P	abierta	No se aconseja para café
Inga sapindoides (10)	*	*	?	*	*	*	*	*	*	P	Poco densa	Frutos muy apetecidos
K oorderlindendron pinnatum (22)	?	?	*	?	*	*	*	-	0	P	cilíndrica	Experiencia limitada
Lansea grandis (22)	*	*	?	?	*	*	*	-	-	T	redonda	Experiencia limitada
Leucaena glauca (15, 22)	*	*	*	?	*	*	*	*	*	T	abierta	Competitiva
Leucaena leucocephala (22)	*	*	*	?	*	*	*	?	*	T	abierta	Poco competitiva
Mora excelsa (6)	*	*	*	?	*	*	*	?	*	P	Poco densa	Experiencia limitada
Musanga smithii (19)	*	*	*	?	*	*	*	?	*	T	Poco densa	Arbol secundario
Musa sp. (3)	*	*	*	?	*	*	*	?	*	T	Poco densa	Muy usada
Manihot glaizovii (22, 10)	*	*	*	*	*	*	*	-	-	T	Densa redonda	No debe dejarse más de dos años
Parkia javanica (22)	*	*	*	*	*	*	*	-	0	P	Abierta	Sólo para sombra permanente
Parkia Roxburghii (18)	*	*	*	*	*	*	*	-	0	P	Abierta	Sólo para sombra permanente
Poinciana regia (18)	*	*	*	*	*	*	*	?	-	P	Form.sombriilla	Experiencia limitada
Pentaclethra macroloba (19)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	P	Alta extendida	Arbol grande
Peltophorum ferrugineum (18)	*	*	*	*	*	*	*	-	-	?	Extendida	Requiere regulación de copa
Peltophorum inerme (19,22)	*	*	*	*	*	*	*	-	-	?	d. form. somb.	Experiencia limitada
Pithecolobium samán (10)	*	*	*	*	*	*	*	-	-	P	abierta	La copa se extiende rápido
Pinus caribaea (6)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	P	densa	Experiencia limitada
Resinus communis (10)	*	*	*	*	*	*	*	-	*	P	abierta	Experiencia limitada
Spondias mombis (10)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	T	abierta	Experiencia limitada
Sesbania grandiflora (18)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	P	abierta	Experiencia limitada
Schizolobium excelsum (18)	?	*	*	*	*	*	*	?	*	T	abierta	Tiene corta vida
Tabevia pentaphylla (18)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	P	Poco densa	Experiencia limitada
Tephrosia candida (19)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	P	Alta abierta	Madera de gran demanda
Terminalia superba (19, 22)	*	*	*	*	*	*	*	?	*	T	Densa	Se establece en setos
Terminalia catappa (22)	-	*	*	*	*	*	*	?	*	T	Pagoda rala	Atacada por plagas
Terminalia subspatulata (22)	?	*	*	*	*	*	*	-	0	P	Pagoda rala	susceptible a Die-back
Terminalia ivorensis (22)	-	*	*	*	*	*	*	-	0	P	Pagoda densa	Atacada por plagas

H. R. Lancaster, citado por Urquhart (19), calificó como proveedores de buena sombra las siguientes especies: Croton mubango, Trema guineensis, Phyllanthus discoideus, Ricinodendron africanum, Pterocarpus soyauxii, Fagara macrophylla, Macaranga spinosa, Alstonia congensis y Picnanthus kombo.

Modalidades de Provisión de sombra

Es ampliamente reconocida la imposibilidad de establecer cacao sin sombra. Al salir las plantitas del vivero, en donde han estado bajo sombra, sufren un impacto violento si no encuentran en el campo definitivo, condiciones parecidas a las del vivero. Esto hace necesario, por lo tanto, disponer de sombrero provisional, ya sea natural o plantado.

El uso de la jungla adecuadamente clareada mediante una adecuada eliminación de plantas que pudieran impedir el normal desarrollo del cacao, ha sido una forma tradicional de provisión de sombra. Cuando se ha comprobado competencia negativa de la vegetación de la jungla clareada, generalmente se ha optado por removerla progresivamente, sustituyéndola por plantas adecuadas para sombra. Cuando el terreno a plantar no posee vegetación adecuada para sombra se procede a plantarla.

La sombra permanente generalmente se establece conjuntamente con la temporal, para que cuando ésta deje de funcionar lo haga la permanente.

El establecimiento de plantas para sombra que tengan valor comercial es una de las formas de obtener mayor producción por unidad de tiempo y área. Uno de los ejemplos bien conocidos de esta modalidad es la siembra de cacao bajo plantaciones de coco (16).

En Ghana se ha reportado que la siembra de cacao bajo Duria zibethinus es altamente rentable tanto por los buenos rendimientos del cacao como por el alto valor de los frutos y la madera del Duria zibethinus (22).

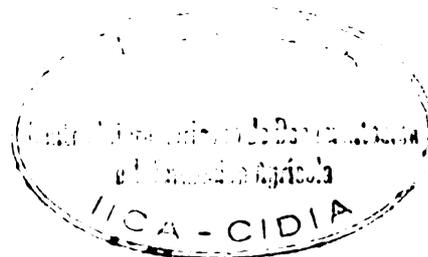
Holdridge (10) y Budowski (4) coinciden en recomendar Laurel (Cordia alliodora) como una especie prometedora para sombra de cacao, por su rápido crecimiento y producción de valiosa madera.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVIN. Cacao. In Alvin, P. de T. and Koslowsky, T. T. eds. Ecophysiology of tropical crops. New York. Academic Press. 1977. 512 p.
2. ALVIN, P. de T. y DE OLIVEIRA, R. M. Aço do vento e do sombreamento sobre a queda de folhas do cacauero, C.E.P.E.C., Bahia (Brasil). 1976.
3. BARTOLOME, R. Planting shades and windbreaks. Coffee and Cacao Journal, 7(5): 93-115, 116. 1964.
4. BUDOWSKI, G. Prácticas forestales de interés para el cultivo del café. Café (Costa Rica). 1(3):49-52. 1959.
5. CADIMA Z., A. y ALVIN, P. de T. Influencia del árbol de sombra Erithrina glauca sobre algunos factores edafológicos relacionados con la producción del cacaotero. Turrialba 17(3):330-336.
6. CHALMERS, W. S. Shade trees for cacao. In Annual report on cacao research 1969, University of the West Indies (Trinidad). 1970.
7. CHOK, D. K. Shade - its cultivation, management and problems at Bal cocoa estate. Planter 47(539):47-53. 1971.
8. COUNTINHO, A. A importancia do sombreamento na cultura de cacauero. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Curso Internacional de cacao, Itabuna, Bahia, Brasil, 1970. Trabajos. Itabuna, Bahia, Brasil, 1970. 11 p.

9. FOURNIER, L. A. El concepto de ecosistema. San José, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 1978. 20 p.
10. HOLDRIDGE, L. R. Arboles de sombra para cacao. In Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Manual de Cursos de Cacao, Turrialba, Costa Rica. 1957. pp. 113-117.
11. HARDY, F. Edafología tropical. México D. F., Herrero Hermanos. 1970. 416 p.
12. NAIR, S. K. Beneficial effects of crop combination of coconut and cacao Indian J. Agric. Sci. 45(4):165-171. 1975.
13. NAIR, S. K. y BALAKRISHNAN. Patterns of light interception by canopies a coconut-cacao crop combination Indian J. Agric. Sci. 46(10):453-462. 1976.
14. _____ y SUBBAR R., N. S. Microbiology of the root region of coconut and cacao under mixed cropping Plant and Soil 46:511-519. 1977.
15. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Leucaena promising forage and tree crop for the tropics. Washington. 1977. 115 p.
16. NELLIAI, E. V. et al. Multi-storeyed a new dimension in multiple cropping for coconut plantation World Crops. 26(6): 262-266. 1974.
17. SORIA V., J. La agricultura de cultivos perennes en el trópico americano. Turrialva, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1978. 22 p.
18. THOROLD, C. A. Observations on a trial of trees as shade for cacao. Tropical Agriculture (Trinidad). 22(11):203-206. 1945.
19. URQUHART, D. H. Cacao. Trad. de la 2a. ed. inglesa por Juvenal Valerio. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, 1963. 322 p.
20. VERNON, A. J. New Developments in cocoa shade studies in Ghana Journal of the Science of food on Agriculture. 18(2):44-48. 1967.
21. DE VERTEUIL, L. L. Further observations on trial of trees as for cacao. Tropical Agriculture 32(3):241-243. 1955.
22. WYRLEY - BIRCH, E. A. Shade for cocoa. Planter (Ghana) 47(539): 54-62. 1971.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
Programa de Plantas Perennes
Turrialba, Costa Rica



SEMINARIO ESPECIFICO
Avances en Producción de Cacao

EXTREMOS DE ALTITUD Y LATITUD DEL CULTIVO DEL CACAO

David S. Gardella

Mayo 1979

REPORTE DEL SEMINARIO:

EXTREMOS DE ALTITUD Y LATITUD DEL CULTIVO DEL CACAO

INTRODUCCION

Para entender como los extremos de altitud y latitud afectan el cultivo del cacao, hay que saber qué es un factor limitante para un cultivo. Un factor limitante es cualquier factor ambiental o biótico que limite la producción económica de un cultivo. El cultivo puede crecer o sobrevivir bajo el efecto adverso de un factor limitante, pero la producción o rendimiento va a ser afectado.

Un factor limitante puede ser afectado por otros factores que aumentan o disminuyen el efecto del factor limitante. Un ejemplo es la diferencia entre las dos temperaturas que se encuentran a los dos lados opuestos de una montaña. Si un lado está expuesto a la influencia de un mar con aguas frías, este lado va a tener temperaturas más bajas que el otro lado de la montaña a la misma altura. Entonces si uno conoce hasta que altura se puede sembrar cacao en el lado de la montaña no influenciado por el mar, no podría decir que se puede sembrar cacao hasta la misma altura en el lado expuesto al mar.

EFFECTOS DE ALTITUD SOBRE UN CULTIVO

Un cambio de altitud tiene dos efectos asociados que son: cambios de temperatura y aumento de radiación solar.

Con cambios de altura hay un cambio de temperatura de un promedio de 0,7 °C por cada 100 metros, o se puede calcular que la diferencia

de temperatura entre dos puntos separados por 1000 metros de altura es 7°C. Pero, como fue mencionado anteriormente, un factor como la temperatura, puede ser afectado por otros factores que podrían aumentar o disminuir esta diferencia.

También, con más altura hay un aumento de radiación solar que tiende a aumentar el metabolismo de un cultivo. Con un aumento del metabolismo, el cultivo tiene más demanda para nutrientes y agua. En el caso de cacao, que está cultivado bajo sombra natural, este efecto no parece ser importante. Nada más es una cuestión de manipular la cantidad de árboles de sombra que están sembrados con el cacao.

EFFECTOS DE LATITUD SOBRE UN CULTIVO

Con más distancia fuera del ecuador, hay cambios de clima y temperatura por la disminución de radiación solar. Estos cambios de temperatura pueden tener un efecto sobre el cacao, que es un cultivo del trópico.

También con más distancia del ecuador, hay cambios en la duración del día. El número de horas de luz en el día tiene un efecto sobre cultivos fotoperiódicos; este efecto puede ser en la floración y crecimiento del cultivo.

El cacao no es un cultivo fotoperiódico porque se evolucionó en el trópico donde el número de horas de luz en el día no varía mucho durante el año. Un ejemplo es Trinidad que tiene 10° de latitud norte y queda en la faja cacaotera. Aquí el día más largo del año tiene 12,75 horas de luz y el más corto 11,50 horas.

Se puede decir, entonces, que el único factor importante asociado con cambios de altitud y latitud es la temperatura. Hardy (2) notó las siguientes medidas de temperatura que están relacionadas con el cultivo del cacao:

- 1) "Temperatura promedio del año (TPA) - No más baja que 21°C"
- 2) "Temperatura promedio del mes (TPM) más frío - No más baja que 15°C"
- 3) "Temperatura absoluta (TA) - No más baja que 10°C y nunca 0°C"
- 4) "Para floración normal - TPM no más baja que 22°C"
- 5) "Para no tener brotación en exceso - Temperatura máxima no debe sobrepasar 28°C; rango diario no debe sobrepasar 9°C"
- 6) "Para tener crecimiento rápido del tronco - TPA no más alto que 25,5°C"
- 7) "Para tener menos infección con Phytophthora palmivora temperatura promedio diario no debe bajar más de 15°C"
- 8) "Para conservar materia orgánica del suelo - temperatura no debe sobrepasar 25°C"

LOS LÍMITES DEL CULTIVO DE CACAO EN AMERICA DEL SUR

Para poner los límites de altitud y latitud para el cultivo del cacao, las primeras tres medidas de temperatura anteriormente mencionadas son las más importantes. La temperatura promedio del año (TPA) es el promedio de todas las medidas del año y no debe ser menos de 21°C. La temperatura promedio del mes más frío (TPM) es el promedio de las medidas en el mes más frío del año y no debe ser más baja que 15°C. La última medida es de la temperatura absoluta del año (TA) o la temperatura más baja de todo el año. Esta temperatura absoluta no debe bajar más de 10°C porque habrían efectos en la producción. Si la temperatura en una ocasión llega a 0°C, los árboles de cacao se mueren o la producción estaría afectada por varios años después.

Ernehohlm (1), en un viaje por América del Sur, recogió datos de estaciones meteorológicas y observaciones en el campo para describir los límites de la siembra del cacao según latitud y altitud. Incluido en este reporte hay un mapa de América del Sur con los límites para la producción económica del cacao. Estos límites fueron marcados según las tres medidas de temperatura mencionadas.

Las plantaciones de cacao más al sur de todo el mundo quedan en Brasil, en el municipio Santa María Magdalena, en el Estado de Río de Janeiro, a 22° latitud sur, y en Santos en el valle de Cubatão, a 24° latitud sur. Las dos áreas tienen alturas muy cerca al nivel del mar. En Santa María Magdalena, la TPA es 22,4°C y la TA es 13,2°C. En Santos la TPA es 22,0°C y la TA es 14,7°C. Las dos áreas sufren bajas de temperatura en exceso de 10°C de vez en cuando y los años en que ocurre estas bajas la cosecha está arruinada.

LIMITES DEL CULTIVO DE CACAOS EN AMERICA DEL SUR

- X - MONTAÑA
- - AREA DONDE TEMPERATURA NO ES FACTOR LIMITANTE



De estas plantaciones del sur, el límite para la producción económica del cacao sube de altura, siguiendo el isoterma de TPM = 15°C, en la dirección del norte hasta que se llega a la meseta alta de Brasil. Aquí, a 13° de latitud sur y a 800 metros de altura se marca el límite sur-oeste para cacao. Toda esta área, entre este límite hasta la costa, está influenciada por las aguas cálidas del mar cercano, que tienden a alzar las temperaturas que normalmente deben ser bajas. Debido a esta influencia, se puede sembrar cacao a más altura y en un área que debe ser demasiado fría comparándola con un área de la misma latitud pero sin esta influencia.

Toda el área de la meseta alta que tiene más de 800 metros y no está expuesto a la influencia del mar, tiene TPM's de 12°C o menos y no es adecuada para el cultivo del cacao. De la meseta, el límite va en una dirección al oeste, siguiendo la línea de latitud 11° sur, hasta que se llega al Río Madeira. Toda el área al sur de este límite no es apropiada para cacao.

Casi todo Bolivia y el sur de Perú tiene TPA's demasiado bajas para cacao. La única excepción es la zona baja en el norte de Bolivia, cerca de Río Beni, donde no se encuentra TA's más bajas que 10°C. El resto del área sufre olas de aire frío durante el año y a veces la temperatura puede bajar hasta menos de 0°C.

Toda el área entre la costa sur de Perú y los Andes hasta Chiclayo en la costa norte, está influenciada por las aguas frías del mar cercano. Aquí no se puede sembrar cacao por las temperaturas bajas que son resultado de esta influencia.

De Chiclayo en la costa, a 6° latitud sur, el límite para cacao sube por el lado oeste de los andes hasta llegar al ecuador (0° latitud) donde se puede sembrar a 1000 metros de altura. Siguiendo más al norte en el mismo lado de los Andes en Colombia, se puede sembrar en altitudes en exceso de 1000 metros.

En el lado este de los Andes, en el área del ecuador (0° latitud), el límite de altura está a 1.100 a 1.200 metros. En la dirección sur este límite baja hasta 800 metros en San Ramón de Perú; aquí la TPM es menos de 16°C durante muchos años. En la dirección opuesta o sea al norte del ecuador, el mismo límite baja hasta 900-1000 metros en los Andes de Venezuela.

En el interior de Colombia, se encuentra mucha variación y es difícil marcar el límite con mucha seguridad. Un ejemplo es Pereira de 1.467 metros de altura, que está situado en un valle protegido y tiene una TPA de 22,0°C y una TPM de 16,4°C. Aquí existen plantaciones de cacao con buena producción.

Para terminar, en el este de Venezuela y el oeste de Guiana se puede sembrar cacao hasta una altura de 1000 metros. El resto del norte de América del Sur se puede cultivar con cacao, si no hay limitaciones por otros factores además de la temperatura.

En conclusión se puede decir que es difícil poner un límite absoluto de latitud o altitud sin conocer los otros factores que pueden influenciar el factor de temperatura. Pero conociendo la temperatura promedio del año, temperatura promedio del mes más frío y la temperatura absoluta, se puede decidir si la altitud o latitud va a ser un factor limitante para un lugar.

BIBLIOGRAFIA

1. ERNEHOHLM, I. Cacao production of South America; historical development and present geographical distribution. Gothenburg, Sweden, 1948. 279 p.
2. HARDY, F. ed. Cacao manual. Turrialba, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1960. 395 p.

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA

Programa de Plantas Perennes

Turrialba, Costa Rica

SEMINARIO ESPECIFICO

Avances en Produccion de Cacao

MEJORAMIENTO DEL CACAO (Theobroma cacao) PARA CALIDAD

Florencio Zambrana S.

Mayo 1979

SEMINARIO ESPECIFICO

MEJORAMIENTO DEL CACAO PARA CALIDAD

Ing. Florencio Zambrana S.

1. Introducción.

La producción de cacao fino (criollo) de alta calidad, en el mundo es muy pequeña (5 - 10%) en relación con el total mundial, debido a que solo unos pocos países están sembrando las variedades de las cuales provienen: Venezuela, Ecuador, Sri Lanka y Samoa (10).

El cacao de primera calidad más antiguo sembrado en América Latina a comienzos del siglo XVI y propagado por los españoles y portugueses por muchas partes del mundo, fue el tipo criollo. Pero este criollo puro, a semejanza del café arábico de buena calidad, tenía un desarrollo débil, poca resistencia a plagas y enfermedades y no recibió el beneficio de un cruzamiento adecuado.

Soria y Esquivel (25), indican que el cacao producido en el mundo proviene de plantaciones de baja productividad (300 - 400 Kgr/Ha.). Según los autores, la causa principal de la baja producción de esas plantaciones, reside en que en su formación no se usó material seleccionado.

En la mayoría de los países productores de cacao se están produciendo trabajos de mejoramiento genético, con el fin inmediato de producir cultivares de alta producción, con resistencia a una o más de las principales enfermedades y plagas, y de mayor calidad.

La calidad del cacao es un atributo muy difícil de evaluar, ya que además de las características genéticas, intervienen factores poco estudiados aún, cuando el efecto de la fermentación y los diferentes sistemas de cura del cacao. Sin embargo, hay la idea generalizada de que la calidad está asociada al color claro y tamaño de semilla (13).

2. Factor calidad y heterogeneidad genética del cacao.

La calidad del cacao es típicamente hereditaria, sin embargo, para

./.

que se manifieste es necesario que esté bien beneficiado. Si hay esas dos condiciones, es lógico que se obtenga un producto de buena calidad (1, 7).

El cacao es una planta altamente alógama, favorecida por la estructura misma de la flor y por sistemas de incompatibilidad presentes en las diferentes poblaciones. Por esta razón es de esperar una gran variabilidad de caracteres en una misma población de árboles provenientes de semilla (13).

La autofecundación del cacao, tiene como consecuencia inmediata la disminución del vigor y la productividad media de la descendencia. La hibridación entre dos clones escogidos por su aptitud en proporcionar una descendencia que asocie los caracteres interesantes de ambos padres y que presente el máximo vigor (heterosis), constituye la espina dorsal de un programa de selección (5).

Phoelman (21) presenta las dos hipótesis principales para explicar el vigor híbrido en la siguiente forma:

- a) El vigor híbrido es el resultado de reunir genes dominantes favorables.
- b) Resulta vigor híbrido si la heterozigosidad es superior a la homocigosidad.

El vigor híbrido tendrá tantas más probabilidades de manifestarse, cuanto más diferente sea el origen genético de los generadores.

3. Selección y mejora del cacao.

La baja productividad del cacao es debida principalmente a malas condiciones de cultivo y a la falta de una lucha más eficaz contra los insectos y enfermedades (5). Sin embargo, no es aventurado pensar que los rendimientos del orden de tres toneladas por hectárea, obtenidos actualmente en estaciones experimentales, puedan en el futuro ser obtenidas normalmente en las plantaciones.

La selección de plantas superiores, se realiza generalmente tomando cualquier caracter de importancia, como resistencia a enfermedades o insectos, rendimiento, calidad, etc.

Son posibles dos modalidades de selección (5):

- O bien se escoge un árbol que, por sus características propias, se muestra mucho más interesante que la población de donde ha salido y se multiplica este árbol por vía vegetativa para constituir un clon compuesto por individuos todos idénticos al de partida (selección vegetativa.).
- O bien se intenta obtener por siembra una descendencia que presente en conjunto una mejora respecto a los caracteres usados como criterios.

Aunque son generalmente prioritarios los criterios de productividad y de resistencia a las enfermedades o plagas, no son omitidos, sin embargo, los criterios de calidad (13).

3.1. Selecciones por alto rendimiento.

Uno de los objetivos principales en los trabajos de mejoramiento ha sido el obtener plantas de alto rendimiento. Para cumplir esta finalidad son necesarios ciertos pasos. El más importante es la obtención del llamado "índice de la mazorca", que es el número de mazorcas que se necesitarían para hacer una libra de cacao seco.

A continuación se presenta el cuadro 1, en el que se observan los cruces que han tenido el menor número de Escobas de Bruja, es decir, menos precoces (14).

Cuadro 1. Rendimiento expresado en qq / Ha. y número de Escobas de Bruja de los diez cruces más promisorios tanto para la producción como para la resistencia.

Cruces	qq/Ha.	No. de Escobas	Cruces	No. de Escobas	qq/Ha.
EET - 72 X Silecia - 1	9.95	14.15	SCA - 6 X EET - 64	2.16	2.72
EET - 24 X SCA - 12	7.85	8.51	ICS - 40 X SCA - 6	2.30	3.61
ICS - 1 X SCA - 12	6.49	13.45	EET - 121 X SCA - 12	2.30	3.66
EET - 114 X Silecia - 1	6.39	14.46	UF - 654 X SCA - 6	3.19	0.25
ICS - 6 X SCA - 6	6.39	4.29	SCA - 6 X Silecia - 1	3.22	1.89
ICS - 1 X SCA - 6	6.24	3.82	EET - 236 X SCA - 6	3.39	2.58
EET - 94 X SCA - 12	5.89	13.83	EET - 143 X SCA - 12	3.52	2.23
EET - 47 X SCA - 12	5.69	10.45	EET - 192 X SCA - 12	3.65	1.10
EET - 162 X SCA - 12	5.11	11.94	EET - 164 X Silecia - 1	3.68	1.98
EET - 12 X Silecia - 1	5.05	13.33	EET - 26 X SCA - 6	3.78	2.74

Según se puede notar de estos datos, algunos de los cruces son muy precoces, con producciones bastante altas.

En el cuadro 2. se presentan rendimientos de cruces productores en relación al número promedio de Escobas, % de Monilia e índice de mazorcas.

Cuadro 2. Rendimientos en qq/Ha., número promedio de escobas, % de momilia e índice de mazorcas de los cinco mejores cruces para rendimientos y resistencia (16).

Cruces productores (††) Resistentes a Escoba	qq/Ha.	Escoba de Bruja	% Momilia	Indice de mazorca
EET-96 X EET-333(††)	18.73	375.08 abcd ^x	5.30	10.66 f
EET-96 X EET-392(††)	17.29	313.07 abcd	8.30	14.58 cdef
EET-62 X EET-374(††)	17.19	201.11 bcd	12.80	12.45 ef
EET-480 X EET-11(††)	16.57	426.32 abcd	11.50	22.65 abcd
EET-48 X 12291(††)	16.81	215.26 bcd	8.10	15.38 odef
EET-392 X 12839	3.45 o	111.71 cd	22.70	9.25 g
EET-399 X EET-11	9.66 o	248.41 bcd	12.05	17.28 abodef
EET-399 X EET- 332	3.63 o	91.73 d	27.60	11.05 f
EET-110 X 12291	2.94 o	166.19 cd	5.15	16.38 bcdef
EET-62 X EET-374	17.19 bc	201.11 bcd	12.80	12.45 ef

† Promedios con diferentes letras difieren estadísticamente al nivel de 5% de probabilidades.

3.2. Selección para resistencia a enfermedades.

Otro objetivo de las selecciones es obtener tipos o clones resistentes a alguna o varias de las enfermedades que afectan localmente al cultivo de cacao.

3.2.1. Podredumbre negra de la mazorca. (*Phytophthora palmívora* Butl Butl).

La podredumbre de la mazorca causada por la *P. palmívora* es una de las enfermedades que mayores pérdidas ocasiona a los cultivares de cacao en todas las áreas de cultivo.

Enriquez y Soria (8) reportan el siguiente material como tolerantes o resistentes a dicha enfermedad.

Cultivar:

C-26 y 73, CF - 176, LCS - 6, Pa 24

ACU - 85

CAS - 1

CAS - 2, PA - 30, TSA - 792, TSH: 516, 565 y 774

Hardy (13) menciona a los siguientes híbridos como resistentes a dicha enfermedad:

V - 11 - 12

SK - 28

Lafi - 7

Clon 12B

SIC - 28

ACU - 85

3.2.2. Resistencia a Escoba de Bruja (*Crinipellis perniciosus* STAHE) y Monilia (*Monilia rozeri* CIF y PAR).

El año 1966, en la hacienda "La Delicia" se estableció un ensayo para evaluar la producción de varios híbridos y resistencia a Escoba y Monilia (16). En el cuadro siguiente se muestra el comportamiento de los considerados en el ensayo.

Cuadro No. 3. Promedios de producción, Escoba de Bruja y % de Monilia.

HIBRIDOS	qq/Ha	Escoba de Bruja	% Monilia
EET-11 X EET-162	11.635 b [†]	40.31	0.63
EET-275 X EET-110	15.315 b	66.63	2.86
EET-275 X EET-11	27.205 a	44.10	0.76
EET-62 X EET-11	11.628 b	41.48	0.56
EET-95 X EET-332	10.095 b	49.29	0.78
EET-96 X EET-11	10.033 b	49.18	0.88
EET-19 X EET-11	10.486 b	45.24	6.03
EET-11 X EET-116	13.460 b	41.63	0.78

† promedios con letras diferentes son estadísticamente diferentes al nivel del 5% de probabilidad.

El análisis de variancia de los datos, muestra una diferencia altamente significativa entre el híbrido EET-275 X EET-11 y el resto de los cruces; entre éstos últimos no se presentó diferencia significativa alguna.

† Hardy (13) menciona a los clones SCA-6 y SCA-12 en Trinidad, Silecia 1 y Silecia 5 en Ecuador como resistentes a Escoba de Bruja.

3.2.3. Resistencia a Mal de Machete (*Ceratozystis fimbriata* - ELLIS y HALST).

Esta enfermedad se conoce en la literatura con diversos nombres (24). En la actualidad el más conocido en Latinoamérica es "Mal de Machete" por encontrarse la enfermedad asociada a heridas.

Según Montes de Oca (19), los cruces resistentes a la Escoba de Brujas son:

IMC-67, Pound-I2, SPA-9, UF-613

IMC-67 X Pound-12

IMC-67 X T₃BA₆

IMC-67 X T₃BA₂₁

IMC-67 X ICS-1

ICS-1 X IMC-67

SPA-9 X ICS-1

3.3. Selección por calidad.

En la actualidad el mercado mundial para calidades superiores de cacao es limitado. Por tanto el mejorador pondrá menos atención a seleccionar este atributo como tal, sino considerando al mismo tiempo la incorporación de otros caracteres importantes, como la resistencia a enfermedades y plagas y el buen rendimiento (13).

3.3.1. Facilidad de fermentación.

Los cruces que con mayor facilidad fermentan son (14):

EET-103 X EET-387

EET-156 X SCA - 6

EET-156 X SCA -12

SCA-6 X EET-95

SCA-6 X EET-19

Según Garot (10) los granos de color blanco, morado claro fermentan en menor tiempo que los granos de color púrpura o púrpura oscuro. El cacao de alta calidad puede fermentarse en 2.1/2 y 3 días, mientras que las calidades de origen masal requieren hasta 7 días para una buena fermentación.

3.3.2. Calificación de sabor.

Los cruces que alcanzaron mejores puntajes en la calificación del

./.

sabor, son:

SCA-12 X EET-250

ICS-6 X SCA-12

EET-103 X EET-387

SCA-6 X EET-64



Con promedios de 4 casos de elaborados de diferentes lugares con valores que van del 6.33 al 5.94.

3.3.3. Factores que determinan la calidad del cacao.

Según Hancock citado por Hardy (13), los factores que determinan la calidad del cacao comercial curado pueden subdividirse en 3 grupos:

A) Herencia, B) Medio Ambiente y C) Cura (15, 20).

A) Factores de herencia.

Desde un punto de vista general, el cacao comercial pertenece a alguno de los tres siguientes grupos principales: i) criollo, ii) aromático y iii) amilonado (26). Las almendras del primer grupo son grandes, rellenas y tienen cotiledones blancos que después de la cura adquieren un color pardo canela. Tienen distintivos característicos de sabor y solamente se usan para fines especiales. El segundo grupo comprenden a almendras que varían en forma y tamaño y tienen cotiledones púrpuras que una vez fermentados adquieren un color pardo rojizo. Las almendras del tercer grupo son pequeñas y aplastadas, con cotiledones púrpuras que al curarse se vuelven pardo-rojizos (13).

B) Factores ambientales.

Se sabe que la falta de una cantidad adecuada de agua y de nutrientes en el suelo reduce el tamaño de las mazorcas y de las almendras producidas por un árbol de cacao.

C) Cura.

Los factores de calidad determinados por la cura, son sin duda los más importantes de todos los atributos deseables del cacao comercial.

Casi no se tiene en la actualidad conocimiento de la genética de la calidad del cacao, aunque se cree que los sabores característicos, tal como el sabor del cacao de Trinidad, resultan probablemente de la interacción de numerosos genes (9). Sin embargo, como el sabor depende en parte de la cura y no puede evaluarse por ningún carácter externo de la planta, el problema de selección y cruzamiento de variedades de cacao con propósitos de calidad presenta muchas y muy grandes dificultades.

4. Características del cacao fino.

Los granos del cacao de buena calidad son, en general redondos, en forma de huevo, de buen tamaño, de color blanco o púrpura claro y esta última característica es acorde con algunos trabajos de investigación, la razón por la cual el periodo de fermentación es mucho más corto que el de granos procedentes de cultivos masales, los cuales en su mayoría tienen un color que varía de púrpura a púrpura oscuro (10).

Según Braudeau (5), los cacaos finos proporcionados, en general por los híbridos trinitarios cuyos cotiledones son de una coloración general - mente más clara que la de los Forastero. Entre estos cacaos finos, cuyo sabor es particularmente muy apreciado, está clasificado igualmente, a pesar de su pertenencia al grupo de los Forastero, el cacao "Nacional" producido en Ecuador y comercializado con el nombre de "Arriba".

4.1. Como obtener cacao de calidad superior.

Dos métodos pueden seguirse para obtener cacao de calidad superior (10): ./.

- a) Importar material vegetativo directamente de otros países, donde el cacao es de calidad superior ya es conocido en todos los mercados mundiales.
- b) Seleccionar cacao de calidad superior de las progenies existentes.

4.2. Selección del material básico.

De las primeras generaciones pueden escogerse los mejores árboles para observación y posterior provisión del material para injertar, con el fin de establecer un almácigo de clanes (híbridos de calidad).

Los siguientes criterios deberán observarse (10):

- a) Buen vigor.
- b) Buena capacidad de fructificación.
- c) Chequeo de frutos.

Según Capot y Besse (6), entre las selecciones locales de cacao, se deben tomar en cuenta el grosor de las habas en particular (calidad).

Garot (10), menciona las siguientes desventajas de cacaos de mala calidad (cultivos masales):

- Periodo de fermentación más largo.
- Granos más pequeños con más mucílago.
- Precios más bajos (25 - 30%).

Debido a sus caracteres mixtos y heterogéneos, ciertos tipos de trinitarios son muy apropiados para usarlos como femeninos, debido a su vigor, dominancia de granos grandes y mayor tolerancia a la interperie (10).

Según los autores, los clanes recomendados para estos propósitos son:

ICS : 1, 16, 6, 39, 40, 45, 60, 89 y 95.

IMC : 60 y 76; VIT : 1, 2, 3 y 4.

Los progenitores masculinos deben seleccionarse cuidadosamente. Debe tenerse en cuenta la precosidad, el vigor y la resistencia a enfermeda-

des. Uno de los mejores progenitores masculinos es el PA7 con buena precosidad y vigor.

5. Influencia del medio ambiente en la manifestación de ciertas características.

Los genes genes no pueden hacer que se manifieste un caracter, si no tienen el ambiente adecuado y al contrario, ninguna manifestación del ambiente hará que se desarrolle una cierta característica, si están ausentes los genes necesarios (2). Por consiguiente, si en una progenie; la variación debida al ambiente es considerable con relación a las variaciones hereditarias, la hereditabilidad será baja, y al contrario si la variación debida al ambiente es pequeña, la hereditabilidad será alta (21).

La variación fenotípica es el resultado de la acción de un gran número de genes y la influencia de las variaciones del medio externo, al aumentar este último componente, aún las más directas diferencias genéticas pueden quedar ocultas.

6. Preparación del cacao.

Los factores directos que influyen en el mejoramiento del cacao implica: Cosecha o recolección, fermentación, secado y clasificación del cacao (3, 17).

6.1. Cosecha.

Generalmente la madurez de las mazorcas se aprecia por su cambio de color: el verde pasa al amarillo y el rojo al anaranjado. No obstante, para ciertos frutos que tienen una pigmentación rojo-violeta muy acusada, este cambio de color puede no ser muy aparente y se corre el riesgo de no cosechar a tiempo las mazorcas que han alcanzado su plena madurez (5). La calidad y el rendimiento pueden sufrir menoscabo si se aprovechan

mazorcas sobremaduras e insuficientemente maduras (23).

Por consiguiente, no se debe aguardar mucho tiempo para recolectar una mazorca madura en razón a los riesgos de podredumbre y germinación de las habas.

6.2. Fermentación.

La forma de cura "fermentación" o beneficio de las semillas de cacao influye notablemente en la calidad final (20).

La fermentación adecuada del cacao, es el proceso fundamental necesario para que el valor del mismo se incremente en forma apreciable, ya que por medio de este se hacen patentes en el grano las características de textura, aroma, sabor y mayor rendimiento en grasa, las cuales son determinantes en la demanda que existe para el mismo por parte de la industria.

La fermentación tiene como consecuencia el entrañar una disminución del amargor y la astringencia, y el permitir el desarrollo de los "precursores" del aroma, sustancias aún no identificadas, pero cuya presencia es indispensable para que las habas del cacao puedan emanar después de la torrefacción, el aroma característico que se denomina "aroma de chocolate" y que condiciona la calidad del mismo producto (5).

6.2.1. Factores que influyen a la fermentación.

a) Factor temperatura.

La influencia de la temperatura en el grado de fermentación es importante (22).

Sack mencionado por Lainez (18), usó la habilidad de la semilla para germinar como un indicador para saber si el cacao se encontraba todavía vivo después de un periodo de calentamiento en la estufa y obtuvo los siguientes datos:

después de tres horas a 43°C de 10 semillas germinaron 10

después de seis horas a 43°C de 10 semillas germinaron 4

después de nueve horas a 43°C de 10 semillas no germinó ninguna.

Según el autor, el calor producido por la fermentación acelera la muerte del embrión y no habrá cambios en el interior de la semilla mientras esto no suceda.

La temperatura afecta la composición química y consecuentemente las características físicas de la manteca de cacao, durante el desenvolvimiento de los frutos. Las almendras de frutos desarrollados en invierno, poseen manteca de 5% más de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico) que las almendras desarrolladas en verano; consecuentemente presentan menor resistencia a la fusión que estas últimas (4).

b) Factor aereación.

El aire es necesario para la fermentación del cacao.

Sack citado por Lainez (18), obtuvo una buena fermentación del cacao en un cilindro abierto, pero obtuvo malos resultados cuando usó un cilindro cerrado.

Otros investigadores comprobaron que una ventilación eficaz durante la fermentación, beneficia este proceso.

c) Otros factores.

Los siguientes factores también influyen en la fermentación (20): acción enzimática, acción microorgánica, factor acidez, factor humedad, factor medio ambiente, factor madurez, factor grasa, factor sabor y factor duración de la fermentación.

6.3. Secado.

El secado tiene la misión de llevar el contenido del 60% aproximadamente en la humedad de las habas fermentadas a un valor de 6 ó 7%. El contenido de humedad del cacao seco debe ser mantenido de cualquier modo por

debajo del 8% si se quiere asegurar al cacao buenas condiciones de conservación (25).

El secado de cacao puede obtenerse de dos maneras:

- Secado natural al sol.
- Secado artificial.

El secado natural o sol, en algunas zonas es problemático, debido principalmente a las lluvias frecuentes que ocurre en las zonas productoras.

Un sistema tradicional de secado es la exposición de las almendras al sol, sin embargo en varios países usan varios métodos artificiales a fin de completar y/o acelerar el proceso de secado.

Para conseguir un secado mecanizado del cacao sin afectar la calidad del producto final es necesario un conocimiento de la interfase o procesos biológicos y de ingeniería. Esto incluye información sobre las propiedades físicas del material biológico (almendras de cacao) y sobre los materiales de construcción tales como el tipo de madera para evitar la contaminación de las almendras de olores extraños (11).

6.4. Clasificación del cacao.

En la mayoría de los casos la clasificación del cacao consiste simplemente en la eliminación de almendras planas y las quebradas. Algunas veces las almendras curadas se ciernen en un tamiz giratorio que las separa por tamaños, empacándose luego en sacos y vendiéndolas separadamente.

7. Almacenamiento.

El cacao fermentado y secado es un artículo delicado cuya calidad puede malograrse a causa de muchas condiciones de almacenamiento (5).

Según Ghosh (12), los problemas de almacenamiento de cacao son:

a) Absorción de humedad. La almendra de cacao es altamente higroscópica, por tanto en un ambiente bastante húmedo ésta puede absorber bastante agua y elevar su contenido de humedad a más de 8%.

b) Crecimiento de moho. El cacao almacenado por algún tiempo con una humedad teórica de 8% y 80% de humedad relativa, el moho crece más fácilmente en estas condiciones y puede causar serios daños a la calidad del cacao.

c) Absorción de olores. El cacao comercial absorbe fácilmente cualquier olor extraño. Por tanto los sitios de almacenamiento del cacao deben estar alejados de otras construcciones, residencias de trabajadores, etc.

LITERATURA CONSULTADA

1. AKINWOLEMIWA, J. O. Improvement of cacao quality in Nigeria. *Coffee and cacao Journal* 4(1): 214 - 218. 1961.
2. ALLARD, R. W. Principios de la mejora genética de las plantas. Traducción del inglés por José L. Montoya. Barcelona, Omega. 1967. 498 p.
3. ASMAR, S. R. y BARROCO, H. E. Melhoria do qualidade do cacau: Níveis diferenciais de associação de algumas variáveis. *Boletín Técnico* No. 46. CEPLAC, Brasil. 1976. 27 p.
4. HERBERT, P. R. F. Influencia das condições climáticas na composição química e características físicas da manteiga do cacau. *Revista Theobroma* 6(3): 67 - 76. 1976.
5. BRAUDEAU, J. El cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Ed. Blume. Barcelona, España. 1978. 297 p.
6. CAPOT, J. and BESSE, J. Les cacaoyers haut-amazoniens en Côte-d'Ivoire. *Cocoa Conference*, Londres. 1961.
7. CHACON, J. La fermentación y la calidad del cacao. *El cacaotero (Costa Rica)* 2(4): 7 - 8. 1961.
8. ENRIQUEZ, G. A. y SORIA, V. J. Mejoramiento genético para resistencia a cinco enfermedades de cacao. *CATIE*. Turrialba, Costa Rica. 1977. 35 p.

9. DE WITT, K. W. and COPE, F. W. Notes on the quality factor in Trinidad cocoa. In Cocoa Chocolate and Confectionery Alliance, Ltd. A report of the Cocoa Conference, 1951. London 1951. pp: 64-68.
10. GAROT, A. Cacao de alta calidad de Mahasia. El cacaotero colombiano. Medellín, Colombia. No. 4. 1978. pp: 18 - 29.
11. GHOSH, B. N. Engineering aspects of cocoa drying in Brasil. Revista Theobroma. No. 4. 1972. pp: 23 - 37.
12. GHOSH. B. N. y SILVA, P. Algunas observaciones sobre armazeneriagen de cacao no Brasil. Cacao. Actualidades 9 (1): 11 - 21. 1972.
13. HARDY, F. Manual de cacao. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica. 1961. 439 p.
14. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Informe 1967. Quito- Ecuador. 1967. pp: 151 - 161.
15. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Informe 1968. Quito- Ecuador. 1968. pp: 96 - 101.
16. INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. Informe técnico 1971. Quito- Ecuador. 1971. pp: 285 - 301.
17. JUNTA DE ADMINISTRACION PORTUARIA Y DE DESARROLLO ECONOMICO DE LA VERTIENTE ATLÁNTICA. Proyecto económico de mejoramiento y rehabilitación de cultivo de cacao. San José, Costa Rica. 1964. p: irr.

18. LAINEZ, J. Estudio sobre el beneficio del cacao de algunas selecciones cultivadas en el Ecuador. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 1959. 75 p.
19. MONTES DE OCA, G. E. Estudio de la resistencia a Caratocys fimbriata ELLIS y HALST en híbridos y clones de cacao (*Theobroma cacao* L.), utilizando dos métodos de evaluación. Tesis Mg. Sc. IICA/CTEI. Turrialba, Costa Rica. 1975. 62 p.
20. ORDÓÑEZ, B. E. A. Comparación de calidades de cacao clonal e híbrido mediante un nuevo método de fermentación en pequeña escala. Tesis Ing. Agr. Facultad de Ingeniería Agronómica y Veterinaria. Universidad de Guayaquil. Ecuador. 1964. 76 p.
21. PHOELMAN, J. M. Mejoramiento genético de las cosechas. Traducción del inglés por Nicolás Sánchez D. México, D. F., Limusa-Wiley, 1969. 453 p.
22. QUESNEL, V. C. Measurement of degree of fermentation. Annual report on cacao research. 1966. ICIA. University of the West Indies. Trinidad. 1967. 63 p.
23. ROHAN, T. A. El beneficiado del cacao. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Boletín no oficial de trabajo No. 5. Roma, Italia. 1960. 106 p.
24. SCHEIBER, E. and SOSA, O. N. Cacao conker in Guatemala incited by Ceratocystis fimbriata. Plant Disease Reporter 44(8): 672. 1960.

25. SORIA, J. y ESQUIVEL, O. Algunos resultados del programa de mejoramiento genético de cacao en el IICA, Turrialba. Cacao: Centro de Enseñanza e Investigación. IICA, Turrialba, Costa Rica. 13 (2): 1 - 9. 1968.
26. WADSWORTH, R. V. The quality of raw cocoa as it affects the manufacturas. Tropical Agriculture (Trinidad) 32 (1): 1 - 9. 1955.

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
Programa de Plantas Perennes
Turrialba, Costa Rica

SEMINARIO ESPECIFICO
Avances en Producción de Cacao

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA PRODUCCION DE CACAO

Leopoldo E. González

Mayo 1979

INTRODUCCION

Como en el cacao lo que interesa es la semilla, la producción dependerá del éxito en la polinización. Algunas veces la reproducción sexual se ve limitada en su objetivo debido a la no unión entre el gameto masculino y el femenino.

La Reproducción Sexual en plantas con flor ocurre como consecuencia de la unión entre el grano de polen y el óvulo. Es decir, el tubo polínico que el grano de polen desarrolla penetra por el estilo hasta alcanzar el ovario. Sin embargo muchas veces el tubo polínico no puede pasar del estilo debido a una interacción con éste, la que inhibe su desarrollo. Otras veces como ocurre en el caso del cacao, el tubo polínico puede pasar del estilo pero al llegar al saco embrionario no ocurre la fertilización. Es ahí donde se origina el tema de este seminario, y a este fenómeno se le ha llamado Incompatibilidad.

Se han realizado muchas investigaciones en este y otros cultivos para determinar el porqué no ocurre la fecundación del óvulo.

Ya en 1925 East y Mangelsdorf citados por Nettancourt (15) reportaron el fenómeno en Nicotiana sanderae.

En 1940 East estimó que la incompatibilidad se encontraba presente en más de 3000 especies distribuidas en 20 familias.

Lewis (1954) citado por Williams (23) consideró que la estimación hecha por East era una pequeña fracción del número actual de especies incompatibles.

Posteriormente, han aparecido nuevas investigaciones, en especial, relacionadas con cacao.

La distribución del fenómeno es bastante amplia entre familias y variable entre géneros de una misma familia.

Entre las familias en que se ha determinado que existe el fenómeno se citan las siguientes: leguminosae, onagraceae, rosaceae, solanaceae, compositae, cruciferae, papaveraceae, gramineae (23).

Las distintas especies pueden ser autocompatibles o autoincompatibles pero el tipo correspondiente es siempre constante dentro de una familia.

La incompatibilidad puede ser definida como la incapacidad de las plantas con polen y óvulos normales para producir semillas debido a algún impedimento fisiológico que evita la fertilización (17).

Genéticamente está determinada por el genotipo y el curioso mecanismo genético que regula las interacciones entre el grano de polen y el pistilo.

Se diferencia de la esterilidad en que las semillas no llegan a formarse pero por anomalías cromosómicas unas veces o por alguna alteración funcional que afecta la formación de gametos o el desarrollo del embrión.

La incompatibilidad puede ocurrir para una misma planta, denominándose autoincompatibilidad o para plantas distintas que se entrecruzan, y se le llama incompatibilidad cruzada o alógama.

Los tipos de incompatibilidad pueden ser:

1. Gametofítica
2. Esporofítica
3. Heteromórfica

Otros tipos pueden ser incluidos dentro de los mencionados.

La importancia o funciones de la incompatibilidad pueden resumirse así:

- a) Impedir la autogamia y
- b) Facilitar el cruzamiento libre o alogamia entre individuos no emparentados.
- c) Permite que las especies hermafroditas se defiendan de las pérdidas de vigor y disminución para la adaptabilidad que se manifiesta en la descendencia consanguínea.
- d) Aseguran la máxima economía de gametos femeninos al impedir las combinaciones gaméticas desfavorables antes de tener lugar la fecundación. Esto es un complemento para el mantenimiento de un máximo potencial engendrador de simiente.

INCOMPATIBILIDAD GAMETOFITICA

También se le conoce por tipo Nicotiana, o incompatibilidad individualizada o incompatibilidad debida a factores oposicionales (15).

Se caracteriza por:

- a) la acción independiente, tanto en el polen como en el estilo, de los alelos pertenecientes al locus de la incompatibilidad.
- b) No hay dominancia ni ninguna otra forma de interacción interalélica (Fig. 1).
- c) En el estilo diploide hay completa independencia de acción y el efecto de cada alelo en el gametofito es estrictamente autónomo.
- d) Está controlada por una amplia serie de alelos múltiples pertenecientes a un solo locus.

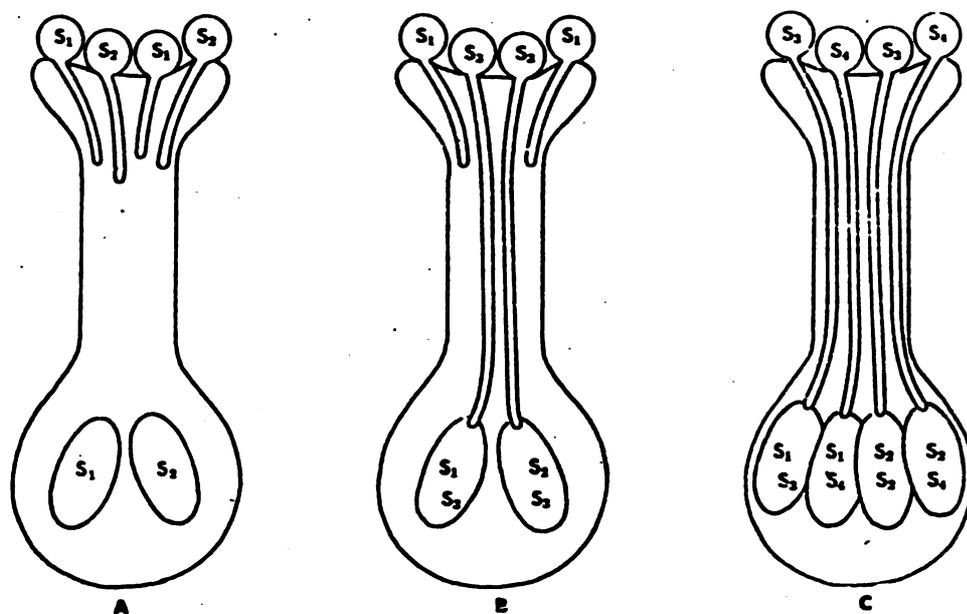


FIG. 1: Desarrollo de tubo polínico en polinizaciones compatible e incompatible. A: Los tubos polínicos no se desarrollan en los estilos que contienen alelos similares para incompatibilidad. B: Solamente los granos de polen con alelos de incompatibilidad diferentes de aquellos en el estilo, desarrollan tubos polínicos normales. C: Cuando todos los granos de polen contienen alelos de incompatibilidad diferentes a los de los estilos, desarrollan tubos polínicos normales.

Tomado de Poehlman (17).

Trifolium hybridum = 22 alelos

Trifolium pratense = 212 alelos

Denothera organensis = 56 alelos

Esta amplitud alélica para un solo locus es única en el campo de la genética.

- e) La reacción de incompatibilidad tiene lugar invariablemente en el estilo. El crecimiento de los tubos polínicos portadores de un mismo alelo presente en el estilo queda detenido.
- f) Más del 50% de las especies estudiadas pertenecen a este tipo.
Pag. 65 Poehlman y Pag. 39 de Ellgot.

INCOMPATIBILIDAD ESPOROFITICA

Se caracteriza por:

- a) La reacción de incompatibilidad está determinada por el núcleo diploide del esporofito, o sea por el genotipo del individuo.
- b) Como resultado de ello, los alelos pueden exhibir dominancia, acción individual o competencia en el polen y estilos, dependiendo de las combinaciones alélicas. Esto significa una gran complejidad de relaciones de incompatibilidad debido a la variabilidad de las reacciones (Fig. 2).
- c) No se ha determinado si la variación alélica es tan extensa como en la gametofítica.
- d) La reacción de incompatibilidad está controlada por una amplia serie de alelos múltiples en un solo locus.

Modelos de compatibilidad en las progenes A.B.C y D.

Cruzamiento A $S_{12} \text{♀} \times S_{34} \text{♂}$ da una descendencia $S_{13}, S_{14}, S_{23}, S_{24}$
 " B $S_{13} \text{♀} \times S_{24} \text{♂}$ da " " $S_{12}, S_{14}, S_{23}, S_{24}$
 " C $S_{14} \text{♀} \times S_{23} \text{♂}$ da " " $S_{12}, S_{13}, S_{24}, S_{23}$
 " D $S_{13} \text{♀} \times S_{23} \text{♂}$ da " " $S_{12}, S_{13}, S_{24}, S_{23}$

Interpolinización de la progenie

A					B				
♀ \ ♂	S_{13}	S_{14}	S_{23}	S_{24}	♀ \ ♂	S_{12}	S_{14}	S_{32}	S_{34}
S_{13}	O	O	F	F	S_{12}	O	O	O	F
S_{14}	O	O	F	F	S_{14}	O	O	F	F
S_{23}	F	F	O	O	S_{32}	F	F	O	O
S_{24}	F	F	O	O	S_{34}	F	F	F	O

C					D				
♀ \ ♂	S_{12}	S_{13}	S_{42}	S_{43}	♀ \ ♂	S_{12}	S_{13}	S_{32}	S_{33}
S_{12}	O	O	O	F	S_{12}	O	O	O	F
S_{13}	O	O	F	O	S_{13}	O	O	F	O
S_{42}	F	F	O	F	S_{32}	F	F	O	O
S_{43}	F	F	F	O	S_{33}	F	F	F	O

FIG. 2. Compatibilidades de cruces en cuatro descendencias de los cruzamientos A, B, C y D, suponiendo que la dominancia en el polen es como sigue: $S_1 > S_2 > S_3 > S_4$, y la acción individual en el estilo ($S_1 > S_2 = S_3$ dominante con relación al S_4 , etc.). (Según Lewis, 1974.)

Tomado de Williams (23).

- e) Este tipo de incompatibilidad ocurre en un 33% de los casos estudiados (19).
- f) Los homocigotos son normales.
- g) Ocurren frecuentes diferencias recíprocas.
- h) Si hay dominancia completa las reacciones polen-estilo son de un solo tipo.

Por ejemplo. si S_1 es dominante con respecto a S_2 en el polen, todos los granos de polen $S_{1.2}$ se manifestarán en sus reacciones como S_1 y serán capaces de poder penetrar en estilos S_2 (que portan S_2) independientemente de si la constitución genética del tubo polínico es S_1 o S_2 .

Además dado que S_1 es también dominante en el estilo todos los granos de polen de una planta $S_{1.2}$ serán incompatibles en todos los estilos portadores de S_1 , aunque lleven un alelo S_2 .

ASPECTOS QUE DIFERENCIAN LA IE DE LA IG

- 1) Como resultado de la Dominancia puede encontrarse Homocigotos en el locus S entre los alelos del grano de polen y el estilo.
Por esto, los sistemas esporofíticos de incompatibilidad No son tan eficaces para reducir la ENDOGAMIA como lo son los sistemas gametofíticos.
- 2) Un GRUPO DE INCOMPATIBILIDAD puede contener 2 genotipos, por ejemplo, $S_{1.2}$ y $S_{1.3}$ los cuales caerán dentro del mismo grupo si S_1 es dominante para S_2 y S_3 .

- 3) La inversión de la dominancia en el grano de polen y en el estilo puede dar lugar a diferencias recíprocas que afectan la compatibilidad en cruces individuales.

Si S_1 es dominante para S_3 en el grano de polen y en el estilo y $S_1 > S_2$ en el estilo pero $S_1 < S_2$ en el grano de polen. Entonces el cruce $S_{1.3}^7 \times S_{1.2}^{00}$ es compatible pero $S_{1.2}^7 \times S_{1.3}$ no es compatible.

- 4) Una familia puede tener 3 grupos de cruzamientos compatibles: bajo el control gametofítico el N° de clases regrezantes es de 2 ó 4.

NATURALEZA DE LA INCOMPATIBILIDAD

SEGUN WILLIAMS (23)

Se ha tratado de explicar el proceso por el cual el grano de polen no se combina con el saco embrionario, aduciendo que cuando el tubo polínico es binucleado la I es gametofítica y si es trinucleado la I es esporofítica. También se ha querido relacionar a los tubos polínicos binucleados con inhibición en el grano de polen y a los trinucleados con inhibición tanto en el grano de polen como en el estilo.

Otras veces se explica a través de cambios de temperatura y según ésta, tubos polínicos compatibles aumentan su crecimiento por cada aumento de 5.5°C y los tubos polínicos incompatibles lo reducen. Esta contradicción significa que el crecimiento en los tubos polínicos compatibles se haya regido por factores fisiológicos distintos.

Dos mecanismos posibles han sido sugeridos para explicar la incompatibilidad: a) un mecanismo de estimulación complementaria, según el cual

los tubos polínicos incompatibles no se desarrollan porque en los estilos no se encuentra presente una sustancia estimuladora que sea complementaria con los productos transportados en el grano de polen. Esta inhibición lleva consigo la acción de una sustancia inhibidora específica contra los alelos.

INCOMPATIBILIDAD EN CACAO

Pound (1931) citado por Knight y Rogers (11) publicó los primeros resultados experimentales que indicaban la existencia del fenómeno.

Encontró que el polen de árboles AC era efectivo en cualquier estigma mientras que el de árboles AI era efectivo solamente en los AC.

Otros investigadores confirmaron estos resultados posteriormente. Entre ellos Cope (4) quien estudió las bases citológicas del fenómeno, no encontró diferencias estadísticas significativas en el crecimiento del tubo polínico de granos de polen provenientes de árboles AC y AI. Sugirió entonces que el mecanismo causante de la abrición de las flores depende del grado de actividad nuclear dentro de los óvulos.

Knight y Rogers (11) estudiaron el sistema de control genético de la incompatibilidad en cacao. Ellos investigaron los patrones de abrición floral y retención de la polinización cruzada dentro y entre tres grupos de progenies derivadas de cruces de tres padres AI del Amazonas. Estos materiales fueron:

Pa 7

Pa 35

Na 32

Los híbridos obtenidos

T. 60: Pa 7 x Na 32

T. 63: Pa35 x Na 32

T. 86: Pa 7 x Pa 35

Knight y Rogers plantearon la hipótesis de que en los clones estudiados operaban 5 alelos en un locus simple y que estos diferían en dominancia; pero dos de ellos eran iguales. La secuencia sería la siguiente:

$S_1 > 2 = 3 > 4 > 5$ y la dominancia es exhibida por los dos organismos (macho y hembra).

También postuló que el éxito o fracaso de un cruce depende de la constitución diploide de los padres o sea que el tipo de incompatibilidad es esporofítica.

Asumió que los clones probados tenían la siguiente constitución:

Pa 7 = $S_{1.5}$

Pa 35 = $S_{3.5}$

Na 32 = $S_{2.4}$

Las progenies obtenidas en los híbridos evaluados fueron AI y dentro de cada uno distinguió tres o cuatro grupos intraincompatibles pero algunos fueron intercompatibles. Estos resultados confirmaron la hipótesis planteadada.

En síntesis, Knight y Rogers concluyen que el sistema de control de la incompatibilidad en cacao sigue el modelo esporofítico y se desarrolla en el saco embrionario. Es decir que el tubo polínico atravieza el estilo y alcanza el saco embrionario, pero no llega a consumarse la

fecundación de la oosfera y los núcleos endospermáticos cuando los alelos "S" que se presentan en los gametos masculino y femenino son idénticos. - Este sistema se encuentra bajo el control de 5 alelos por lo menos, los cuales exhiben un complejo modelo de dominancia (10).

- La incompatibilidad con alelos múltiples puede depender de tantas reacciones como grupos incompatibles se distingan.
- En cacao la reacción inhibitoria no se encuentra en el estilo, lo cual sugiere que las sustancias inhibidoras están en el citoplasma del óvulo y del polen. Es posible que estas sustancias se formen antes de la gametogénesis y estará determinada por la constitución diploide del organismo.

Posnette citado por Pandey (16) en 1945 hizo una evaluación de la colección de materiales introducidos por Pound a Trinidad en 1938. Encontró que todos los árboles que provenían del Alto Amazonas era AI pero que había algo de intercompatibilidad. También tuvo éxito al cruzarlos con la población AI de Trinidad.

Mutzing (1947), Villamil (1950) citados por Knight y Rogers (11) lograron éxito al cruzar árboles AI en Ecuador y Colombia respectivamente. Cope (4) reporta el mismo resultado con árboles AI de Grenada y Colombia.

Cope (5) demostró que la reacción de incompatibilidad se localizaba en el saco embrionario, con la fusión y no fusión de los óvulos y de los núcleos del polen en el momento de la singamia. Es decir que se basa en el éxito o fracaso de la singamia y propuso que los gametos que no se fusionan son aquellos que llevan el mismo alelo dominante.

Esto da la impresión de un control gametofítico de la incompatibilidad.

Cope llegó a estas conclusiones cuando obtuvo resultados que no eran explicados por la teoría propuesta por Knight y Rogers. Encontró que en los clones AI había 25, 50 y 100% de óvulos no fusionados mientras que en los AC había 100% de fusión. Genéticamente estas tres proporciones eran determinadas en forma distinta (Cuadros 1, 2, 3). Sugirió la combinación de aspectos del control esporofítico y del gametofítico. La reacción esporofítica sucede antes de la formación de las tétradas por influencia de 2 pares de genes complementarios A (a) y B (b) independientes entre sí de los alelos "S". Estos genes complementarios producen un precursor para la activación de la serie de alelos "S" ya propuesta por Knight y Rogers y a la que agrega uno nuevo S_0 . La reacción gametofítica sucede después de la formación de las tétradas y la fusión y no fusión de los gametos depende solamente de la diferencia o similitud de los alelos "S" en presencia de la reacción esporofítica de los genes A/-, B/-.

Uno o varios de los loci S, A y B puede volverse homocigota para un mutante inactivo en el cual la condición AI se pierde y la condición de AC y compatibilidad cruzada pueden aparecer.

Pandey (16) explica el fenómeno mencionando la existencia de 2 loci uno (P_{1p}) el cual controla la producción de un precursor de la incompatibilidad y muestra dominancia simple y recesividad y actúa antes de la meiosis. El otro locus ($S_1 \dots S_n$) imparte especificidad al precursor, muestra alelomorfismo y actúa después de la meiosis.

Cope citado por Pandey (16) sugirió que la AC de las poblaciones de cacao en Centro América y Trinidad era debido a que uno o ambos loci estaban siendo inactivados por la presencia de un alelo amorfo S_f .

Cuadro 1. Relación de No fusión de óvulos cuando existe un alelo dominante en ambos padres.

25%

♀ / ♂	S1	S2
S1	-	S1.2
S2	S1.2	S2.2

Cuadro 2. Relación de no fusión de óvulos cuando los alelos portados por ambos padres muestran igual dominancia.

50%

 / 	S2	S3
S2	-	S2.3
S3	S2.3	-

Cuadro 3. Relación de no fusión de óvulos cuando los padres son homocigotas.

100%

♀ +	♂	S5	S5
S5		-	-
S5		-	-

Glendinning (10) trabajando en Ghana ha mostrado que:

- a) Un alelo puede ser independiente de otros 2 alelos, uno de los cuales es dominante sobre el otro. Como ejemplo, un alelo presente en el clon Iquitos 47 y en Iquitos 60, el cual es independiente de ambos alelos 1 y 2 y sin embargo el alelo 1 es dominante sobre el alelo 2.
- b) Algunos de los alelos de incompatibilidad son recesivos para el alelo de AC. Un ejemplo es el alelo 4. Una progenie obtenida de un cruce de un árbol que se conoce porta los alelos 1 y 4 con un AC Amelonado consiste de árboles AC y AI en iguales proporciones y los árboles AI portan el alelo 1. Similar evidencia se obtiene de progenies provenientes de cruzar árboles AC x árboles que llevan los alelos 2 y 4 y los alelos 3 y 4.

Carletto (1) en una prueba para determinar la existencia de grados de AC no encontró resultados positivos y concluye que las diferencias en AC se deben a factores fisiológicos o morfológicos de los órganos florales y a la eficiencia en la mecánica de las polinizaciones. Tampoco se cumplió la teoría de Cope de que para considerar a una planta AC debe tener 100% de óvulos fusionados, pues ninguno de los clones AC obtuvo esa proporción.

Enríquez citado por Carletto (2) hace ver que los trabajos que existen sobre la estructura cromosómica del cacao son escasos.

Opeke y Jacob citados por Carletto (2) formularon la hipótesis de que el cacao era un tetraploide, dado que al trabajar con el clon Na 32, éste presentaba asociaciones cromosómicas mono, bi y tetravalentes. Sin embargo SRB. Owen y Edgar (21) indican que en la meiosis de los tetravalentes las asociaciones cromosómicas normalmente son tetravalentes, pero pueden aparecer

pares de bivalentes, un trivalente y un monovalente.

Carletto (2) estudió el número de asociaciones cromosómicas en los clones AC UF-667, UF-29 e ICS-1 y en los AI IMC-67 y SCA-6. Los resultados obtenidos difirieron de los obtenidos por Opeke y Sacob, sin embargo, concuerdan con los de SRB, Owen y Edgar.

Varas (22) evaluó el comportamiento de 10 clones promisorios de la EET y 2 clones de Trinidad en todas sus posibles combinaciones. (Cuadro 4). Obtuvo que el 25% de los clones son AI, un 3.8% del total de cruces son AC en el mismo % en ambas direcciones y solo un 41.6% (5 clones) de los 12 clones estudiados presentó un promedio de compatibilidad cruzada en ambas direcciones superior al 70% de cruzamiento.

Lockwood (12) evaluó el efecto de la AC y CC en 6 progenies de híbridos entre Amazónico x Trinitario o Amelonado en Ghana. Determinó que las relaciones de compatibilidad tienen influencias tanto en el rendimiento como en el tiempo a cosecha. Los árboles AC rindieron más que los AI y más temprano. Además el efecto en el movimiento del pico anual de cosecha con la AI puede ser una de las causas del extenso patrón de cosecha de los híbridos de cacao. Este movimiento a su vez está relacionado con la época de mayor incidencia de mancha negra (*Phytophthora palmivora*), enfermedad que es responsable por un alto porcentaje de pérdida en el rendimiento (19%) en Ghana. Lockwood (13) encontró una correlación $r = +0.90$ entre época de cosecha y pérdidas por mancha negra, llegando a concluir que los clones AI susceptibles a *Phytophthora palmivora* eran los más afectados.

COMPATIBILIDAD EN CRUCES INTERCIONALES

	EET-	ICS-	ICS-	PROMEDIOS											
	19	48	62	64	67	94	96	103	114	162	6	95	68.7	65.3	62.0
EET-19	45	90	45	90	45	75	95	85	65	10	95	85	68.7	65.3	62.0
" "	45	95	45	55	45	60	80	75	45	25	80	95	63.7	65.8	67.9
EET-48	95	0	20	0	90	80	95	95	75	80	75	60	70.4	65.4	60.4
" "	90	0	95	5	95	100	85	85	50	70	100	40	57.9	62.7	67.5
EET-62	45	95	0	75	80	70	60	90	85	70	90	85	74.5	68.8	63.3
" "	45	20	0	90	60	60	50	70	90	50	95	95	79.1	74.3	69.6
EET-64	55	5	90	5	50	80	80	70	85	25	90	60	73.3	75.8	78.3
" "	90	0	75	5	65	85	90	100	85	40	85	90	74.5	82.4	90.4
EET-67	45	95	60	65	85	70	80	100	80	55	90	65	69.1	73.3	77.5
" "	45	90	80	50	85	70	55	85	15	15	75	75	61.6	62.2	62.9
EET-94	60	100	60	85	70	65	90	100	75	55	95	75	82.0	84.9	87.9
" "	75	80	70	80	70	65	80	55	60	45	75	80	85.8	79.5	73.3
EET-96	80	85	50	90	55	80	55	90	75	60	95	65			
" "	95	95	60	80	80	90	55	60	90	80	65	90			
EET-103	75	85	70	100	85	55	60	90	70	85	60	60			
" "	85	95	90	70	100	100	90	90	95	100	80	90			
EET-114	45	50	90	85	15	60	90	95	75	65	85	75			
" "	65	75	85	85	80	75	75	70	75	75	80	90			
EET-162	25	70	50	40	15	45	80	100	75	65	95	80			
" "	10	80	70	25	55	55	60	85	65	65	95	90			
ICS-6	80	100	95	85	75	75	65	80	80	95	85	70			
" "	95	75	90	90	90	95	95	60	85	95	85	100			
ICS-95	95	40	95	90	95	80	90	90	90	90	100	75			
" "	85	60	85	60	70	95	65	60	75	80	70	75			

* Tomado del original (22)

BIBLIOGRAFIA

1. CARLETTO, G.A. Testes de grãos de autocompatibilidade em cacaeiro (*Theobroma cacao* L.). *Revista Theobroma (Brasil)* 3(1):26-35. 1973.
2. _____. Observações citológicas em células mães de pólen de cacaeiros. *Revista Theobroma (Brasil)* 4(2):34-40. 1974.
3. _____. Seleção de cacaeiros. *In* Curso Internacional de cacau, 3º Itabuna, Brasil. 1974. *Notas del curso, Itabuna, Brasil, IICA y CEPLAC, 1974.* 8 p.
4. COPE, F.W. The mechanism of pollen incompatibility in *Theobroma cacao* L. *Heredity* 17:157-182. 1962.
5. _____. The effects of incompatibility and compatibility on genotype proportions in populations of *Theobroma cacao* L. *Heredity* 17:183-195. 1962.
6. CORAL, F.J. Estudo comparativo das teorias sobre o controle genético das incompatibilidades do cacaneiro *Theobroma cacao*). Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1970. 51 p.
7. ENRIQUEZ, G.A. y ALARCON, E. The nature of self-incompatibility. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 1977. 27 p. 58 ref.
8. _____ y CABANILLA, H. Estudios de compatibilidad en cacao híbrido (*Theobroma cacao* L) en una hacienda de Ecuador. *In* International Cocoa Research Conference, 3th. Accra. Report 1969. Pag. 560-4.
9. GLENDINNING, D.R. Selfing of self incompatible cocoa. *Nature* 187(4732): p170. 1960.
10. _____. Incompatibility alleles of cocoa. *Nature* 213(5073): 306. 1967.
11. KNIGHT, R. and ROGERS, H.H. Incompatibility in *Theobroma cacao*. *Heredity* 9(1):69-77. 1955.
12. LOCKWOOD, G. Studies on the effects of cross-incompatibility on the cropping of cocoa in Ghana. *Journal of Horticultural Science*. 52:113-126. 1977.
13. _____ and DAKWA, J.T. The influence of self-incompatibility on the time of harvesting of cocoa in Ghana in relation to losses from black pod disease. *Journal of Horticultural Science* 53: 105-108. 1978.

14. MUÑOZ, J.M. Estudios cromosómicos en el género *Theobroma* L. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 1948. 43 p.
15. NETTANCOURT, D.D. Self incompatibility in basic and applied researches with higher plants. *Genética Agraria* 26(1,2): 163-216. 1972.
16. PANDEY, K.K. Incompatibility system in *Theobroma cacao*. *The American Naturalist* 94(878):379-381. 1960.
17. POEHLMAN, J.M. Mejoramiento genético de las cosechas. Trad. de la versión inglesa por Nicolás Sánchez Durón. 4a. Ed. México, D.F., LIMUSA, 1974. pp. 41-70.
18. SORIA, J. A preliminary report on experiments of hand pollination and fertilizers in cacao. *In International Cocoa Research Conference. 3th Report. Accra, 1969. Pag. 608 13.*
19. _____. Las teorías genéticas sobre la incompatibilidad en cacao. *In Curso Internacional de cacao, 3º, Itabuna, Brasil. 1974. Notas del curso. Itabuna, IICA y CEPLAC, 1974. 11 p.*
20. _____. De polinização de cacao por insetos. *In Curso Internacional do cacao, 3º, Itabuna, Brasil, 1974. Notas del curso. Itabuna, Brasil, IICA y CEPLAC, 1974. 7 p.*
21. SRB, OWEN y EDGAR. *Genética general. Trad. de la versión inglesa por Griselda Ribó. 2a. edición. Barcelona, OMEGA, 1971. pp. 223-275.*
22. VARAS, J. Conservación del polen de cacao y compatibilidad de cruces interclonales. Tesis Ing. Agr. Universidad de Guayaquil. 1960. 73 p.