

# Capítulo XI

## LA ESCOBA DE BRUJA DEL CACAO [*Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer] EN LA REGION DEL PIEDEMONT E LLANERO DE COLOMBIA: LA INFECCION DE YEMAS VEGETATIVAS, COJINES FLORALES Y FRUTOS EN RELACION CON LA FRUCTIFICACION DEL HONGO Y LA FENOLOGIA DEL HOSPEDANTE.

Germán Tovar<sup>1</sup> y Mario Ortíz<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Profesor Titular.

<sup>1-2</sup> Ingenieros Agrónomos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. A.A. 14490. Santa Fe de Bogotá, D.C.

### RESUMEN

Se analiza la infección ocasionada por *C. pernicioso* en yemas vegetativas, cojines florales y frutos de cacao en relación con la cantidad de inóculo y la fenología del cultivo. La relación entre la cantidad de escobas de yema vegetativa y la cantidad de inóculo registrada 4 meses antes fue significativa ( $P < 0,05$ ). Aparentemente no hay una relación entre la brotación foliar y las infecciones de yema, debido a que la brotación es un proceso intermitente y frecuente a lo largo del año. Los picos importantes de brotación, que coinciden con valores máximos del inóculo, no resultan en picos altos de infección en yemas, debido a una eficiencia de infección relativamente baja. Los períodos promedio de incubación para yemas vegetativas

$F_{1-2}$  e  $I_{1-2}$  fueron de 10 y 16 semanas, respectivamente.

Las correlaciones entre el número de escobas de cojín y la cantidad de inóculo fueron significativas para los registros hechos 3 y 4 meses antes. Teniendo en cuenta que sólo a partir de flores polinizadas se obtuvieron escobas de cojín, la tasa de cuajamiento de frutos y el número de frutos formados mensualmente son parámetros más adecuados que la intensidad de la floración para establecer relaciones con el número de escobas de cojín. Las correlaciones entre frutos infectados y la cantidad de inóculo fueron altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre 2 y 4 meses antes.

La mayor cantidad de inóculo se registró durante los 2 primeros meses de desarrollo

de los frutos lo que indica que no sólo la alta susceptibilidad de los frutos jóvenes es la causa de las altas pérdidas, sino también la fuerte presión del inóculo disponible. El número de frutos enfermos por árbol y la cantidad de escobas tanto de yema como de cojín mostraron una correlación altamente significativa, lo cual pone en evidencia la importancia de las fuentes de inóculo al interior de un árbol sobre las pérdidas de frutos.

## INTRODUCCION

La periodicidad en la formación de escobas se correlaciona con los períodos de brotación foliar y la floración del árbol (Baker y Crowdy, 1941). Los ciclos de crecimiento del cacao se repiten en la misma época del año, dentro de una misma región; en Costa Rica las brotaciones ms importantes ocurren en febrero - marzo y septiembre - octubre; en Brasil en septiembre - octubre y febrero - marzo (Soria, 1970; Trojer, 1968), y en Trinidad en abril - mayo y septiembre - octubre (Baker y Crowdy, 1941). Las brotaciones foliares pueden cambiar de un año a otro, presentándose un modelo recurrente de períodos de crecimiento de 8 semanas (3 ciclos) y de 16 semanas (3 ciclos) entre picos, para un total de 6 ciclos de brotación por año; de esta manera se pudo obtener, con algún grado de precisión, el número de patios de infección disponibles en brotaciones ocurridas, durante los períodos de producción de basidiocarpos (Rudgard, 1987). La determinación de la tasa de infección, corregida por la proporción de tejido sano disponible, es un factor de gran importancia en epidemiología (Van der Plank, 1963); sin embargo, en el caso particular de la *escoba de bruja* del cacao el registro de una gran cantidad de puntos en activo crecimiento (yemas) disponibles para ser eventualmente infectados es una labor compleja (Rudgard, 1987).

Las yemas vegetativas permanecen susceptibles, aproximadamente, 3 semanas, y el porcentaje de infección encontrado para dos años de estudio (1984 y 1985) fue de 15 y 32% (Rudgard, 1987). La infección a nivel de flores y cojines está asociada con los períodos de floración, lo cual indica que el hongo es incapaz de estimular el crecimiento de yemas y flores fuera de los períodos normales de crecimiento (Baker y MacKee, 1943). La mayoría de las escobas de cojín se forman durante los períodos de floración intensa (Holliday, 1956). La infección de los cojines florales se relaciona más con la actividad del cojín que con la producción de basidiocarpos, debido a la longitud indefinida del período de incubación y también porque los cojines pueden tener infecciones previas, ocurridas en otros años (Rudgard, 1987).

## MATERIALES Y METODOS

### Producción de escobas de yema y de cojín floral

Los registros de escobas de yema vegetativa y de cojín floral producidos por árbol y por año se efectuaron en una parcela experimental de 16 árboles.

### Frutos enfermos

Las pérdidas de frutos por *C. pernicioso* se registraron en dos parcelas, una con polinización natural y otra con polinización artificial durante 1985, contando mensualmente todos los frutos afectados en todos sus estados de desarrollo.

### Fructificación del hongo

La producción de basidiocarpos fue registrada sobre escobas secas removidas de la parcela experimental, las cuales eran colocadas suspendidas en cuerdas, dentro de

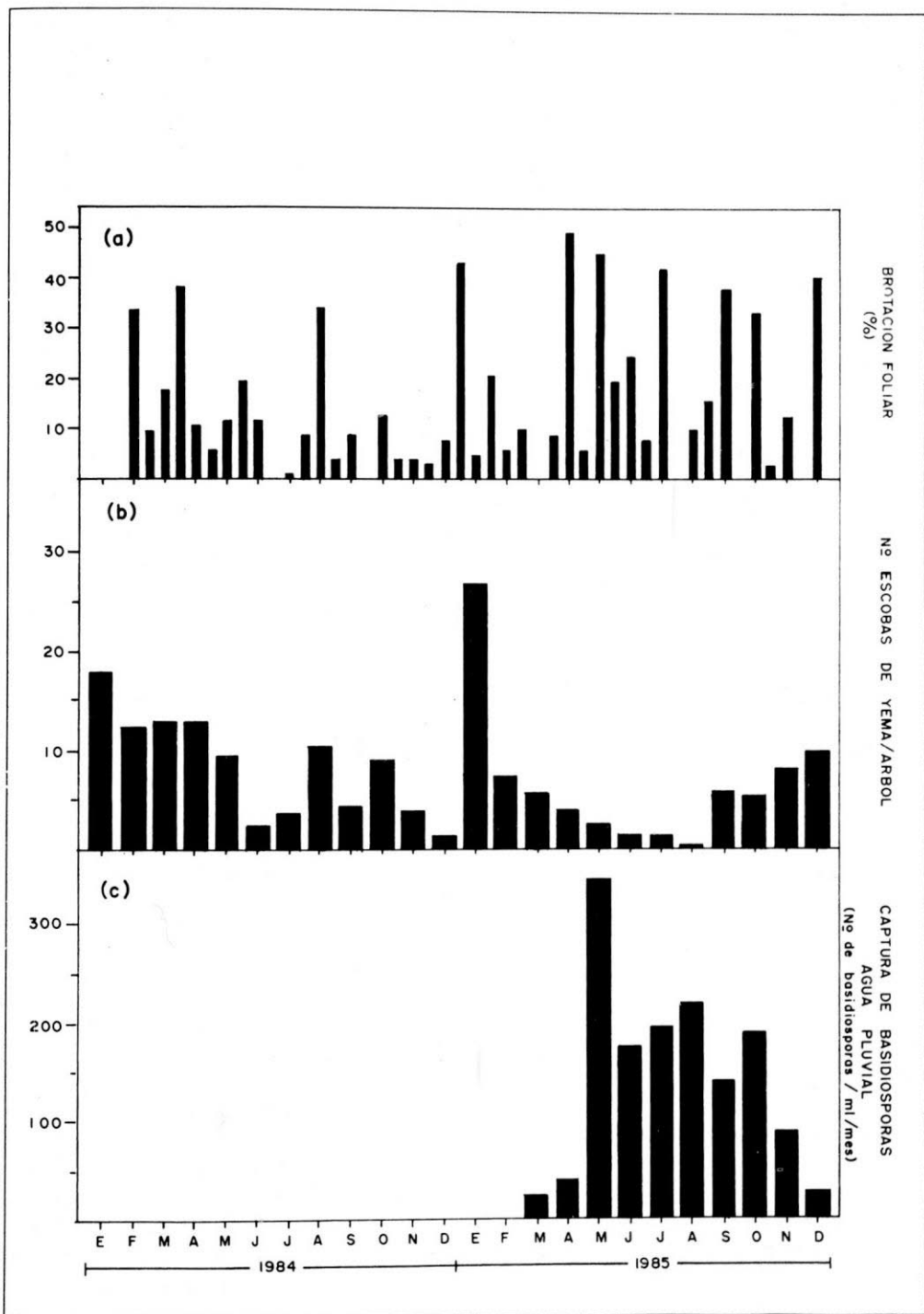


Fig. 1. (a) Brotación foliar, (b) Escobas de yemas vegetativas y (c) captura de basidiosporas en el agua pluvial. Datos registrados para 1984, 1985.

**Tabla 1. Ecuaciones de regresión lineal y coeficientes de correlación para las relaciones entre número de escobas de cojín floral - mes (Y) y la fructificación (X• número de basidiocarpos por escoba), la captura en la trampa Burkard (X•número de basidiosporas por hora-mes), captura en las trampas de agua-pluvial (X•basidiosporas/ml), e índice de floración por mes.**

Relación	Ecuación	r	R <sup>2</sup>	Número de meses precedentes
1. Infección en cojín y Fructificación	$Y = 54,4 + 0,15(X)$	0,72**	0,62	4
2. Infección en cojín y captura Burkard	$Y = 10,7 + 7,6 \times 10^{-3}(X)$	0,78**	0,61	4
3. Infección en cojín y captura trampa-agua	$Y = 27,4 + 1,79(X)$	0,84**	0,70	3
4. Escobas de cojín e índice de floración	$Y = 27,4 + 3,7 \times 10^{-3}(X)$	0,75**	0,5	5

\* (P < 0,05)  
 \*\* (P < 0,01)

la misma parcela. Se determinó un índice de basidiocarpos por escoba y por mes.

#### Captura de basidiosporas en la trampa Burkard

La captura de basidiosporas del aire se hizo mediante una trampa volumétrica tipo Burkard, la cual aspiraba un volumen constante de aire de 10 l/min, es decir, 14,4 m<sup>3</sup>/día. La trampa se localizó al interior de la parcela experimental a 2,5 m de altura sobre el nivel del suelo y la ranura de penetración del aire se separó 1 m de las ramas más próximas.

#### Captura de basidiosporas en trampas de agua - pluvial

Se seleccionaron árboles altamente susceptibles donde se dispusieron colectores de agua fabricados con cilindros de polivinilo (PVC) con embudo basal conectado a un tubo de ensayo de 50 ml, en diferentes estratos del árbol. Estos colectores recibie-

ron el agua que escurre por el arquetipo del cacao después de la lluvia. El registro de basidiosporas se hizo en una muestra de 1 ml.

#### Estudio del ritmo de brotación foliar

El estudio del ritmo de brotación se hizo sobre 16 árboles de la parcela experimental donde se marcaron 10 yemas terminales (160 yemas en total). En cada observación quincenal se estableció el estado de desarrollo del brote según la clave de Orchard *et al.*, (1981).

#### Estudio de la floración

Se utilizó un método indirecto de estimación de la intensidad de la floración, en el cual se contaban y recolectaban las flores caídas sobre mallas sintéticas, en cuadros de 1 m de lado, colocadas debajo de la corona de los árboles. El conteo se realizó con una frecuencia quincenal y con los datos se calculó un índice de floración que

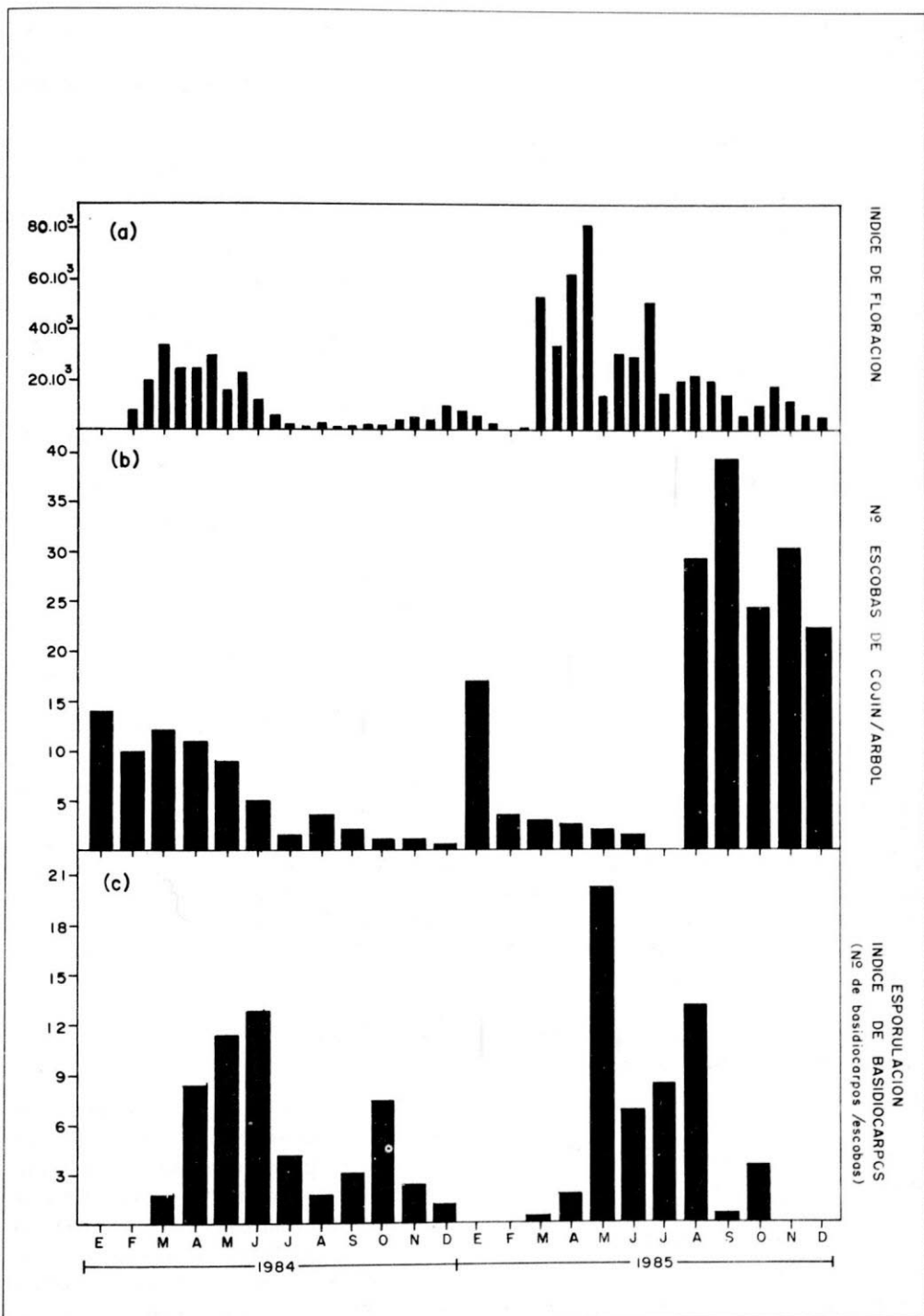


Fig. 2. (a) Índice de floración, (b) número de escobas de cojín por árbol y (c) fructificación del hongo. Datos registrados para 1984 y 1985.

expresa el número de flores para cualquier árbol de la plantación en un momento dado.

### **Estudio de la producción de frutos**

La fructificación del cacao se estudió en parcelas con polinización natural y artificial. Los pepinos formados se registraron mensualmente, lo mismo que los frutos presentes de diferentes edades.

### **Registro de variables climáticas**

Las variables inherentes al clima se registraron dentro de la parcela experimental, para lo cual se dispuso de un higrómetro-*Thies*, colocado a 2,5 m de altura en una caseta meteorológica. La precipitación fue registrada en un pluviógrafo colocado sobre una base a nivel del suelo.

## **RESULTADOS**

### **Relación entre escobas de yema, el inóculo y la brotación foliar**

Las correlaciones entre yemas infectadas y la fructificación del hongo y la captura de basidiosporas en la trampa Burkard, no fueron significativas. Sin embargo, cuando se correlacionó la infección en yemas con la captura de basidiosporas en el agua de escurrimiento se encontró una correlación significativa ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,05$ ), con la captura registrada 4 meses antes (Fig.1). La correlación entre yemas infectadas y la brotación no fue significativa.

### **Relación entre escobas de cojín floral, el inóculo y la floración**

Las correlaciones entre cojines infectados y la fructificación del hongo, de 4 meses precedentes, y la captura en las trampas Burkard y de agua pluvial, de 4 y 3 meses precedentes, fueron sig-

nificativas ( $P < 0,05$ ) (Tabla 1; Fig.2). La correlación entre las escobas de cojín y la floración de 5 meses precedentes fue altamente significativa.

### **Relación entre frutos infectados, el inóculo y el número de frutos formados**

Las correlaciones encontradas entre frutos infectados y la fructificación del hongo, y la captura en las trampas BURKARD y de agua fueron altamente significativas (Tabla 2). El pico de fructificación de mayo de 1985 correspondió con el comienzo del incremento acelerado en la formación de frutos, lo cual se reflejó en el pico de frutos infectados en el mes de agosto (12 semanas) (Tabla 2; Figs. 3 y 4). Se encontró una correlación altamente significativa entre el número de frutos infectados y el número de frutos formados del mismo mes.

### **Relación entre frutos infectados y escobas de yema vegetativa y de cojín floral**

Se encontró una correlación altamente significativa ( $r = 0,73$ ;  $P < 0,01$ ) entre el número de frutos infectados y el número de escobas de yema y de cojín a nivel del mismo árbol. La ecuación de regresión hallada fue la siguiente:

$$Y = 0,26 (X)^{0,96}$$

## **DISCUSION**

Las relaciones entre infección a nivel de diferentes órganos, el inóculo y la fenología del cacao determinan la dinámica de la enfermedad en el tiempo y en el espacio y permiten dilucidar aspectos de importancia para el manejo de la enfermedad. Las relaciones entre los diferentes procesos deben analizarse, de una parte, con un enfoque retrospectivo, teniendo en cuenta que en el proceso de infección hay un lapso rela-

**Tabla 2. Ecuaciones de regresión lineal y coeficientes de correlación para las relaciones entre número de frutos infectados por mes (Y) y la fructificación (X = índice de basidiosporas por escoba), la captura en la trampa Burkard (X = número de basidiosporas por hora - mes), captura en las trampas de agua pluvial (X = número de basidiosporas por ml) y el número de frutos formados por mes.**

Relación	Ecuación	r	R <sup>2</sup>	Número de meses precedentes
1. Frutos infectados y Fructificación	Y = 14,6 + 0,03(X)	0,71**	0,50	2
	Y = 25,9 + 0,12(X)	0,81**	0,65	4
2. Frutos infectados y captura Burkard	Y = 9,2 + 5,2x10 <sup>-3</sup> (X)	0,73**	0,53	3
	Y = 9,6 + 17,4x10 <sup>-3</sup> (X)	0,96**	0,92	4
3. Frutos infectados y captura agua-pluvial	Y = 3,7 + 0,15(X)	0,82**	0,67	2
	Y = 69,4 + 1,1(X)	0,87**	0,76	4
4. Frutos infectados y Frutos formados	Y = 2,3 + 0,10(X)	0,76**	0,58	mismo mes

\* (P < 0,05)

\*\* (P < 0,01)

tivamente prolongado entre el estímulo y la respuesta, y de otra, con la ayuda de los conocimientos adquiridos sobre la infección a nivel de yemas vegetativas, cojines florales y frutos, por cuanto la confrontación cuantitativa de los datos en una secuencia de tiempo determinada no siempre muestra las asociaciones entre procesos de una manera clara. Hay que distinguir el

efecto óptico aparente de la verdadera interrelación entre los procesos. El análisis que se pretende hacer en esta discusión no es sólo de tipo puntual, sino de conjunto, es decir, que aunque la coincidencia entre dos procesos en un momento dado conduce a un efecto parcial relevante en el estudio de la interacción, el énfasis se pone en el proceso en general.

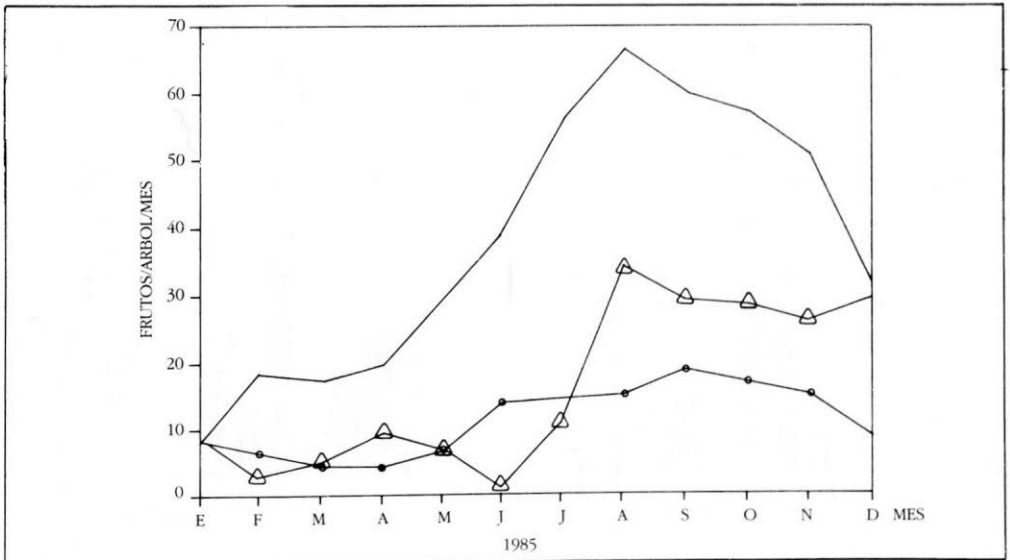


Fig. 3. Número de frutos formados en la parcela de polinización artificial (—●—), en la parcela de polinización natural (—○—) y número de frutos afectados por *Crinipellis perniciosia* en la parcela de polinización artificial (—△—) durante 1985 (Parcela de 27 árboles).

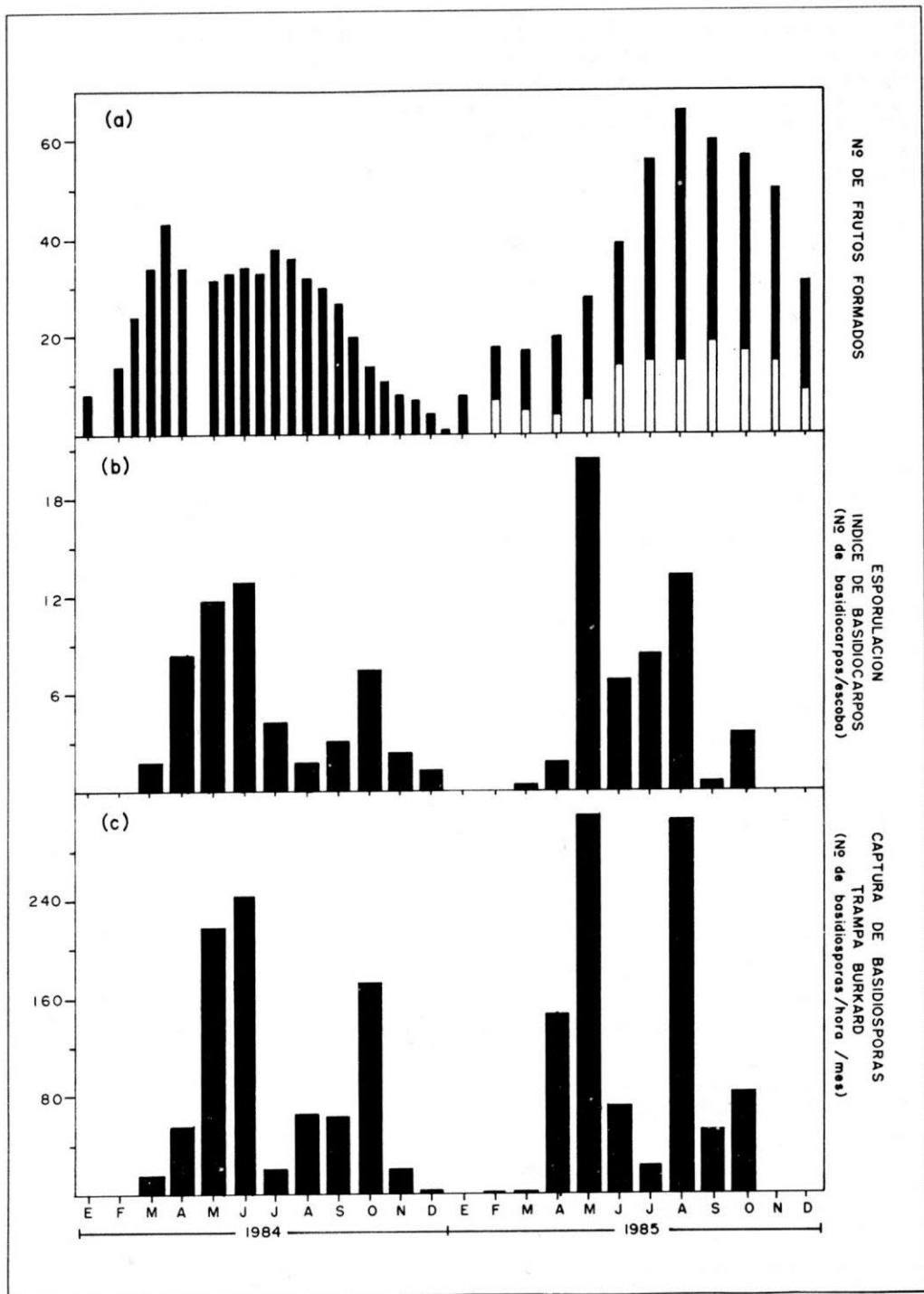


Fig. 4. (a) Número de frutos formados por mes, (b) fructificación mensual del hongo y (c) captura mensual de basidiosporas en la trampa Burkard. Datos registrados para 1984 y 1985.



La relación entre escobas de yema vegetativa y el inóculo sólo fue significativa con la captura en las trampas de agua pluvial de 4 meses antes. Aunque entre el número de basidiocarpos, la captura de basidiosporas en la trampa Burkard y la captura en el agua lluvia se presentó una alta correlación (cap. X), parece que el inóculo transportado por el agua lluvia tiene una relación más directa con las yemas. En general, la fructificación del hongo, ocurre continuamente entre marzo y noviembre (cap. IX) con dos picos importantes en mayo - junio y agosto; sin embargo se trata de dos máximos, que coinciden con dos picos de brotación, pero existen fructificaciones más discretas que están continuamente interactuando con los patios y que originan infecciones más o menos importantes.

Otro aspecto hace referencia a que, aparentemente, no hay una relación entre brotación y yemas infectadas cuando se hace el análisis de conjunto. Esto se debe, en parte, a que la brotación es un proceso intermitente muy frecuente a lo largo del año. Los picos importantes no sobrepasan el 50% de yemas activas y los más pequeños varían entre 0 y 25%. Además, parece que las infecciones ocurridas en una misma época no conducen, necesariamente, al desarrollo de síntomas en el siguiente ciclo del renuevo, sino que pueden permanecer latentes por más tiempo, lo que puede disminuir las probabilidades de una correlación significativa.

La infección de yemas vegetativas ( $F_{1-2}$ ) e ( $I_{1-2}$ ) con suspensión de esporas fue de 32% y 10%, respectivamente, (cap. III) cuando se considera únicamente la formación de escobas típicas. Esto significa que la eficiencia es baja aún en los casos de mayor probabilidad de éxito (yemas  $F_{1-2}$ ); por esta razón picos importantes de brotación que coinciden con picos importantes de fructificación del hongo no resultan

en picos altos de infección de yemas; además, muchas infecciones no se registran, tales como la necrosis de yemas, el cáncer, la hipertrofia local, que, en promedio, pueden representar el 30% de la infección a nivel de la yema. En infecciones naturales sobre yemas marcadas en los árboles se registró entre 15 y 32% de infección (Rudgard, 1987), lo cual coincide con los resultados de la inoculación artificial.

Los períodos de incubación, promedios, para yemas ( $F_{1-2}$ ) e ( $I_{1-2}$ ) estuvieron alrededor de 10 y 16 semanas y la correlación entre yemas infectadas y captura en el agua se encontró para 16 semanas antes. En un contexto general la inoculación artificial y la infección natural tienen una aproximación adecuada.

El ciclo anual de producción de escobas muestra que invariablemente el pico mayor se obtiene en enero - febrero como consecuencia de las infecciones causadas entre agosto y octubre, según el año, donde los picos de fructificación del hongo no coinciden con los picos más altos de brotación. Esto se debe, probablemente a que durante el segundo semestre la actividad vegetativa es muy intensa y la pérdida de brotes es menor. En los estudios sobre brotación (cap. VI) se observó que no todas las yemas que entran en actividad terminan su ciclo, sino que un porcentaje elevado se pierde, dependiendo de la época y de la competencia entre procesos fenológicos, por lo que se propuso el término de *brotación efectiva* para designar la proporción de brotes que completan el ciclo; esta brotación *efectiva* es mayor hacia fines del año cuando la competencia entre procesos es menor, lo cual debe influir en el pico máximo de escobas registradas en enero. Este factor ecofisiológico generalmente no se observa fácilmente en el campo, a no ser que se siga la evolución de cada brote, como efectiva-

mente se hizo con las 160 yemas marcadas en 16 árboles.

La deducción más relevante es que el proceso de infección en yemas vegetativas presenta un nivel de complejidad alto, por la diversidad de eventos que pueden ocurrir; sin embargo, desde el punto de vista práctico, para la aplicación de una medida de control la situación es diferente, teniendo en cuenta que la enfermedad es preferencialmente monocíclica dentro de un año. La remoción de escobas para reducir el inóculo potencial siempre deberá hacerse en la estación seca principal cuando se expresa el mayor número de escobas.

Las correlaciones entre las escobas de cojín y el inóculo (basidiocarpos, captura Burkard y captura agua) fueron significativas para los 3 y 4 meses antes, lo mismo que la relación entre escobas y la floración de 5 meses antes. La floración en el cacao presenta un ritmo completamente diferente al vegetativo, y la mayor producción de flores se presenta en el primer semestre, con una distribución de tipo normal entre febrero y agosto, con un máximo entre marzo y abril; sin embargo, un gran porcentaje de flores se caen, y mientras la producción de flores es alta el cuajamiento de frutos es muy bajo. En mayo, cuando declina la floración, comienza a incrementarse la tasa de formación de frutos, que alcanza un máximo en agosto.

Como se observó en el estudio de la infección en cojines (cap. III), las inoculaciones sobre cojines inactivos y en los activos en sus primeros estadios de desarrollo no condujeron a la formación de escobas, las flores inoculadas sin polinizar se cayeron en su mayoría (92%) y el 10% presentaron necrosis. Fue a partir de flores polinizadas que se comenzaron a obtener escobas de cojín posiblemente por infección indirecta a través del ovario fecundado

(70%). Por consiguiente, la tasa de cuajamiento de frutos y el número de frutos formados mensualmente serían parámetros más adecuados que la intensidad de la floración para el establecimiento de relaciones con la cantidad de infección a nivel de los cojines florales. Sobre esta base se podría entender la correlación significativa entre escobas de cojín e inóculo obtenida en este trabajo, la cual no fue encontrada por Rudgard (1987), fundamentándose en la longitud indefinida del período de incubación, en el cojín y en las infecciones previas latentes.

Aunque la intensidad de la floración en el segundo semestre es baja comparada con la del primer semestre, lo mismo que la formación de pepinos, la tasa de cuajamiento es relativamente alta, lo que explicaría el gran número de escobas de cojín en enero - febrero. Los efectos prácticos de la producción de escobas de cojín son los mismos que aquellos encontrados para las escobas de yema.

Las correlaciones entre frutos infectados por *C. pernicioso* y el inóculo (basidiocarpos, captura en trampa Burkard y en trampas de agua pluvial) fueron altamente significativas ( $P < 0,01$ ) entre 2 y 4 meses antes. Las relaciones en el caso de frutos infectados son más directas, debido a que la curva de formación de frutos, que es de tipo normal, presenta una coincidencia muy alta con la producción del inóculo, principalmente, entre el ascenso de la curva de frutos y el máximo. Por consiguiente, en esta concomitancia de los procesos se fundamenta la correlación altamente significativa, encontrada.

El otro aspecto importante es que la mayor cantidad de inóculo se produce cuando los frutos están en sus dos primeros meses de desarrollo, luego, no es sólo la sensibilidad del fruto joven la causa de la alta pér-

dida de frutos en los primeros 60 días (cap.XII), sino también la alta presión del inóculo sobre ellos. Las correlaciones se establecen entre 2 y 4 meses antes, lo cual concuerda con los resultados de infección de frutos a través de inoculaciones sobre frutos de diferentes tamaños y edades, es decir, que los frutos infectados menores de 1 cm se necrosan e infectan indirectamente el cojín, produciendo escobas de cojín; los frutos mayores presentan desde necrosis hasta afecciones parciales de la corteza y pérdida de algunas semillas, en tiempos diferentes, de acuerdo con su estado de desarrollo al momento de la infección.

El número de frutos infectados por árbol y el número de escobas, tanto de cojín como de yema vegetativa presentan una correlación directa muy alta ( $P < 0,01$ ), lo cual indica la importancia de las fuentes de inóculo al interior de un árbol sobre las pérdidas de frutos.

Las correlaciones encontradas en este estudio contribuyen a la elaboración de ecuaciones de pronóstico sobre todo en lo que concierne a frutos infectados en función del inóculo disponible y de la dinámica de formación de frutos a través del año.

## BIBLIOGRAFIA

- Baker, R.E.D. and Crowdy, S.H. 1941. Witches' broom disease investigations. I. Seasonal variations in intensity of infections and their effect on control methods. *Tropical Agriculture, Trinidad*, 18 (6). 107 - 116.
- Baker, R.E.D. and MacKee, R.K. 1943. Witches' broom disease investigations: VI. The infection of flower cushions and pods of cocoa by *Marasmius perniciosus* Stahel. *Tropical Agriculture, Trinidad*, 20, 188-194.
- Holliday, P. 1956. Further observations on the susceptibility of Imperial College Selections to witches' broom disease. *Report Cocoa Research of the Imperial College of Tropical Agriculture, Trinidad*, 1955 - 1956. pp. 48 - 53.
- Orchard, J.E.; Collin, K. and Hardwick, K. 1981. Biochemical and Physiological Aspects of Leaf Development in Cocoa (*Theobroma cacao* L. V. Changes in Auxins and Cytokinins. *Café, Cacao, Thé*, 25, (1): 25-28.
- Rudgard, S.A. 1987. Witches' broom disease on cocoa in Rondonia, Brazil: infection of vegetative flushes and flower cushions in relation to host phenology. *Plant Pathology*, 36, 523 - 530.
- Soria, S. de T. 1970. La periodicidad del cacao bajo condiciones climáticas del bosque húmedo tropical en Turrialba y La Lola, Costa Rica. *Cacao (Costa Rica)*, 15 (4), 1 - 4.
- Trojer, H. 1968. El clima y el desarrollo de la producción de cacao en la finca La Lola. *Cacao (Costa Rica)*, 13 (4), 1 - 9.
- Van der Plank, J.E. 1963. *Plant Diseases: Epidemics and Control*, Academic Press, pp. 1 - 5.