

RELACION DE ALGUNOS FACTORES CLIMATICOS CON LA PRODUCCION DE  
CACAO EN LA ZONA ATLANTICA DE COSTA RICA

Tesis de Grado  
Magister Scientiae

Ramón Alcaráz



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA  
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación  
Departamento de Cultivos y Suelos Tropicales  
Turrialba, Costa Rica  
Febrero, 1973

RELACION DE ALGUNOS FACTORES CLIMATICOS CON LA PRODUCCION DE  
CACAO EN LA ZONA ATLANTICA DE COSTA RICA

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados  
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

en el

Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

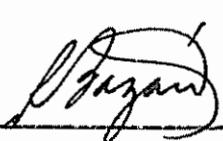
APROBADA:

  
\_\_\_\_\_  
Gilberto Pérez, Ph.D.

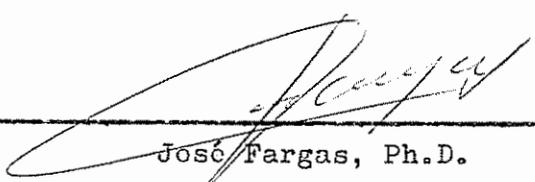
Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Jorge Soria, Ph.D.

Comité

  
\_\_\_\_\_  
Rufo Bazán, Ph.D.

Comité

  
\_\_\_\_\_  
José Fargas, Ph.D.

Comité

Diciembre, 1972

- D E D I C A T O R I A

A mi esposa Ana Lydia

A mis hijos

A mis Padres y Hermanos

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea hacer patente su reconocimiento al Gobierno de Holanda y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de la República Mexicana a cuyo apoyo económico se debe, en gran parte, la ejecución de este trabajo.

Se deja también testimonio del agradecimiento que el autor debe a los miembros de su Comité Consejero por todas sus observaciones y atinada orientación y, en forma muy especial al Dr. Gilberto Páez cuyas ideas y su siempre oportuna y desinteresada ayuda hizo posible la eliminación de múltiples obstáculos para llevar a buen fin este trabajo.

A todos mis profesores y compañeros de estudios en el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de quienes siempre recibí apoyo. A tantos amigos de ese pueblo hermano de Costa Rica. A todos ellos . . . gracias.

## BIOGRAFIA

El autor nació en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México, el 3 de mayo de 1937. Realizó sus estudios en la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, México y se graduó de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia en 1968. Trabajó como auxiliar de investigación en el programa de Maíz y Sorgo del Centro de Investigaciones Básicas del INIA, de 1963 a 1964. En 1965 fue encargado del programa de Maíz y Sorgo del Campo Agrícola Experimental de Culiacán, Sinaloa, cargo que ocupó hasta 1967.

Durante los años de 1966 y 1967 colaboró con la Escuela Superior de Agricultura de la Universidad Autónoma de Sinaloa, dirigiendo al Seminario de Aspectos Agrícolas Actuales. En 1968 fue designado subjefe del Departamento de Fitotecnia de la Escuela Nacional de Agricultura. Ese mismo año fue encargado de la Jefatura del mismo Departamento, cargo que desempeñó hasta 1970. Durante su permanencia en esta Escuela, dictó el curso de Genética General II en la propia Especialidad.

Ingresó al Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA en setiembre de 1970, becado por el Gobierno de Holanda.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION DE LITERATURA .....	3
2.1. Distribución geográfica del cultivo .....	3
2.2. Distribución climática .....	4
2.2.1. Temperatura .....	4
2.2.2. Precipitación pluvial .....	5
2.3. Biología del cacao .....	7
2.3.1. Hábitos de desarrollo .....	7
2.3.2. Ciclo vegetativo .....	8
2.4. El ambiente en relación con la planta de cacao ..	12
2.4.1. El ritmo de brotación foliar .....	13
2.4.2. Floración .....	15
2.4.3. Desarrollo de los frutos .....	16
2.4.4. Ciclos de producción .....	17
3. MATERIALES Y METODOS .....	19
3.1. Descripción del lugar en estudio .....	19
3.1.1. Clima .....	19
3.1.2. Suelos .....	21
3.2. Descripción de la zona muestreada .....	23
3.3. Recolección de los datos .....	25
3.3.1. Datos climáticos .....	25
3.3.2. Datos de producción como variable de respuesta.	25
3.4. Análisis de la información .....	26
3.4.1. Análisis de relaciones simples .....	27
3.4.2. Análisis de correlación simple entre variables sintéticas y la producción .....	30
3.4.3. Análisis de relación donde las variables inde- pendientes incluyen factor suelo .....	32
3.5. Análisis de efectos conjuntos .....	36

	<u>Página</u>
4. RESULTADOS .....	41
4.1. Análisis de relaciones simples .....	43
4.1.1. Variables climáticas simples .....	43
4.1.2. Variables combinadas .....	48
4.2. Análisis de relaciones conjuntas .....	51
4.2.1. Análisis de regresión múltiple .....	51
4.2.2. Análisis de caminos .....	52
4.2.3. Acción de los factores climáticos en los períodos detectados como críticos .....	55
4.2.4. Transcurso periódico de los efectos de los factores climáticos individuales .....	62
4.3. Fenograma del cacao bajo las condiciones de estudio .....	69
5. DISCUSION .....	73
6. CONCLUSIONES .....	85
7. RESUMEN .....	87
7a. SUMMARY .....	89
8. LITERATURA CITADA .....	91
APENDICE .....	96

## LISTA DE CUADROS

Cuadro Nº		<u>Página</u>
1	Características físicas del perfil del suelo en las diferentes clases de suelo de la finca La Lola, según la clasificación de Bazán (14)	22
2	Superficie y producción de las secciones en estudio .....	23
3	Área ocupada (%) por cada clase de suelo en las secciones de La Lola consideradas en esta investigación. Medias con planímetro a postes de los mapas de Bazán (14) .....	24
4	Promedio de las características físicas de los suelos de cada una de las secciones en estudio	34
5	Promedios y desviaciones estándar de los datos de producción correspondientes a intervalos de 28 días. N = 109 .....	41
6	Promedio de datos climatológicos de la Finca La Lola. 1961-1970 .....	42
7	Coeficientes de correlación (r) entre los datos de producción de 5 Secciones comerciales de la finca La Lola .....	46
8	Matriz de correlación entre la evapotranspiración potencial calculada por dos fórmulas y la diferencia de éstas con la precipitación .	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura Nº		<u>Página</u>
1	Transcurso periódico de las relaciones entre las variables climáticas simples y la producción de cacao en la finca "La Lola" ( $T_m, T_M, T, OT, T > 150C$ )	44
2	Transcurso periódico de las relaciones entre las variables climáticas simples y la producción de cacao en la finca "La Lola" .....	45
3	Transcurso periódico de la correlación entre la producción y algunas variables agroclimáticas generadas a partir de variables climáticas simples .....	49
4	Transcurso periódico de los efectos directos de las variables climáticas simples sobre la producción de cacao en la finca "La Lola" .....	54
5	Transcurso periódico de la asociación entre la producción y la acción conjunta de las variables climáticas: temperaturas mínima y máxima, humedad relativa, insolación y precipitación .....	56
6	Fenograma del cacao ( <u>Theobroma cacao</u> ) en las condiciones de la finca "La Lola", zona atlántica de Costa Rica .....	71

## 1. INTRODUCCION

La fenometría es un campo que desde hace mucho tiempo ha suscitado el interés de los investigadores, para dilucidar el complicado problema, estímulo-respuesta. El cacao (Theobroma cacao) no se aparta de este patrón y existen varios estudios llevados a cabo con el propósito de explicar el fenómeno de la producción. Cabe señalar que muchos de los fenómenos que afectan la producción de este cultivo han sido aclarados; sin embargo, todavía permanecen oscuros los efectos de muchos de ellos, fundamentalmente la forma de influencia de los factores climáticos sobre los diferentes procesos fisiológicos que se suceden en la planta.

La mayoría de los estudios realizados se basan en análisis que no siempre son los más adecuados, lo cual ha conducido a interpretaciones insatisfactorias de los resultados obtenidos. De ahí la necesidad de delinear un método de análisis que pueda ser utilizado para la interpretación de factores complejos correlacionados con la producción.

Dada la ineficacia demostrada por el análisis de correlación simple entre variables climáticas y producción para explicar este último, se hace necesario explorar las relaciones conjuntas de variables no controlables y la producción. El estudio se puede enfocar desde dos puntos de vista: el primero generar variables artificiales por combinación de dos o más variables climáticas simples, o sea producir "índices agroclimáticos", luego estudiar su relación con la variable de respuesta. El otro enfoque es el estudio estadístico del efecto conjunto de las variables climáticas sobre la producción mediante un

análisis de regresión múltiple acompañado de un estudio de rutas que rinde información sobre los efectos directos e indirectos de cada variable sobre la producción.

Con la existencia de datos de producción y varios datos climáticos en la Finca "La Lola", Costa Rica, se inició esta investigación que tiene como objetivos:

1. Determinar en que medida los factores climáticos pueden explicar el fenómeno de la producción de cacao.
2. Desarrollar una técnica fenométrica para la cuantificación de la relación clima-respuesta del cacao.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Distribución geográfica del cultivo

Es difícil definir el habitat natural del árbol de cacao, debido fundamentalmente al desconocimiento del lugar exacto de su origen y a la información meteorológica deficiente que existe en la zona tropical de la que indudablemente es originaria.

De acuerdo con Chessman (18), el centro de dispersión de cacao es la región de América del Sur que se extiende en las estribaciones orientales de los Andes, cerca de los límites de Colombia, Ecuador y Perú y que forman los valles de los ríos Napo, Putumayo y Coquetá, afluentes del Amazonas; además, probablemente de algunos afluentes del Orinoco, como el Guaviare y el Inírida.

Según Alvim (6), los límites latitudinales del cultivo han sido establecidos por algunos autores entre los 15°N y 15°S, mientras que Nosti (39) lo sitúa entre el paralelo 22°N y el 21°S. Una opinión conciliatoria es la de Urquhart (52) quien sitúa los límites del cultivo más o menos entre los paralelos 20°N y 20°S, con el mayor volumen de producción en la franja comprendida entre los 10° de latitud a ambos lados del Ecuador.

En general se puede decir que la planta prospera bien en alturas relativamente bajas sobre el nivel del mar. Se dice que el cacao no puede cultivarse a alturas superiores a los 620 m; sin embargo, Hardy (26) cita lugares con alturas mayores a ésta, donde se lleva a cabo el cultivo con buenos resultados, como es el caso del Valle del Cauca en Colombia (1000 m) y el Valle Chama en los Andes Venezolanos

(1250 m). Este mismo autor, con cálculos basados en la gradiente térmica debido a la altura, sitúa la altura crítica para el cultivo en los 924 m.

## 2.2. Distribución climática

### 2.2.1. Temperatura

La temperatura media anual de un lugar es una función de la latitud y de la altitud del mismo así como, aunque en pequeña parte, de la topografía. Este elemento meteorológico, que es uno de los más empleados para definir los requerimientos térmicos de los cultivos, no expresa otras características de las manifestaciones térmicas, como las condiciones extremas de temperatura y las oscilaciones de ésta en el tiempo, características que constituyen factores importantes para el desarrollo de las plantas.

La temperatura media anual, en general, varía con la latitud de acuerdo a una gradiente que se puede estimar en 1 a 2°C por cada 100 de latitud, al nivel del mar, mientras que la gradiente altitudinal promedio para las zonas tropicales se estima en 0,6 a 0,7°C por cada 100 m de altura. Las temperaturas máximas en las zonas tropicales su fren poca variación altitudinal cuando la pendiente es pequeña; sin embargo, cuando la pendiente es fuerte se producen gradientes cercanas a la adiabata seca (1°C/100 m) en los meses secos. En general se puede estimar una gradiente promedio de 0,7 a 0,8°C por cada 100 metros (51).

Las temperaturas máximas más elevadas se observan en las fajas comprendidas entre 20-25°N y 10-15°S de latitud, mientras que las más

bajas se presentan en las regiones del Ecuador climático, aproximadamente a una latitud de 5°N. Las temperaturas mínimas (absolutas), en cambio, presentan una distribución latitudinal y altitudinal más simétrica con relación al ecuador climático, con una gradiente de variación vertical que corresponde más bien al adiabático húmedo (0,5°C/100 m) (51).

Erneholm (19) considera que los factores fundamentales que determinan la distribución del cultivo de cacao en forma extensiva en Sur América son: la temperatura, la lluvia y la distribución de la enfermedad denominada "Escoba de Bruja". Con base en sus estudios, este autor estableció que el cultivo de cacao a escala comercial solo puede llevarse a cabo en áreas donde la temperatura mínima diaria, durante el mes más frío, no descienda de 15°C, la mínima absoluta no descienda, como regla de 10°C y nunca que llegue a 0°C. La temperatura media anual para esas zonas no debe ser inferior a 21°C.

### 2.2.2. Precipitación pluvial

La precipitación pluvial es otro de los factores de primordial importancia en la distribución de los cultivos. La distribución latitudinal de este fenómeno depende de los procesos atmosféricos del sistema de circulación intertropical, mientras que la distribución regional es dominada por la influencia que ejercen las características topográficas.

Los cambios diurnos y nocturnos en las circulaciones locales imprimen a las zonas montañosas del trópico, características definidas que influyen en la frecuencia, intensidad y duración de las precipi-

taciones. En las partes altas de las montañas se presenta una mayor frecuencia de lluvias diurnas, mientras que en el fondo de los valles predominan las nocturnas. En los niveles intermedios se manifiestan las influencias de ambas circulaciones, dando como consecuencia un aumento relativo de la pluviosidad en esas zonas. Las cimas de las montañas están más nubladas durante el día y las precipitaciones ocurren generalmente por la tarde, mientras que los fondos de los valles permanecen despejados. Además de esta influencia de la circulación local, se observa un aumento de la pluviosidad según el predominio de las corrientes de aire. Así, las zonas de mayor precipitación anual se concentran a lo largo de las costas por convergencia de corrientes de aire predominantes y las zonas áridas se presentan donde la corriente general es paralela a la costa (51).

La precipitación anual necesaria para el cultivo de cacao sin riego varía grandemente de acuerdo con la distribución de la misma. Sin embargo, aún con una distribución óptima, no puede prosperar el cultivo con menos de 1000 mm de precipitación anual. De esta forma, se considera la isoyeta de 1000 mm como el límite seco para el cultivo. En áreas con precipitaciones anuales mayores de 1000 mm, el límite seco es determinado fundamentalmente por la longitud del período seco que puede estimarse, bajo condiciones óptimas de suelo, en 4 meses (19).

Sin embargo, durante el desarrollo de las plantas se requieren determinadas cantidades diarias de agua, con lo que es posible establecer las necesidades hídricas semanales o mensuales para el cultivo.

Las sumas anuales de la precipitación no pueden expresar las variaciones del fenómeno ya que no especifican sus componentes.

### 2.3. Biología del cacao

#### 2.3.1. Hábitos de desarrollo

El cacao pertenece al género Theobroma, originario de América, dentro del cual se clasifica un gran número de especies: sin embargo, únicamente la especie Theobroma cacao L. es de importancia económica en la industria chocolatera.

En general, el cacao es un árbol pequeño de aproximadamente 7 a 9 metros de altura que presenta con pocas excepciones, una forma de ramificación muy característica. Las plantas originadas de semilla crecen erectas hasta una altura aproximada de 0,9 a 1,0 metros; entonces las yemas terminales detienen el crecimiento y se producen de 3 a 5 ramas laterales formando la llamada "horqueta". La yema terminal cesa entonces sus funciones y el siguiente crecimiento vertical ocurre mediante el desarrollo de un "chupón" que sale de la parte inmediatamente inferior a la horqueta que se desarrolla para formar un poco más arriba una segunda horqueta. El proceso puede repetirse y formar una tercera y aún una cuarta ramificación lateral (53).

Se producen entonces dos tipos de ramas: unas de tipo vertical; incluyendo el eje vertical de las plantas provenientes de semilla y otras de tipo horizontal o de "abanico". Ambos tipos de ramas de abanico producen flores y frutos, pero difieren en el arreglo de las hojas a lo largo de ellas. El crecimiento de las ramas de abanico se

produce por brotaciones repentinas ("flushing") seguidas de un período de reposo. De esta forma, la longitud de los entrenudos aumenta gradualmente hasta que la yema retorna a su estado de reposo (36, 53). Las hojas generalmente persisten durante dos brotaciones y caen a partir del tercer brote, de manera que generalmente hay hojas de tres edades diferentes en cada una de las ramas (53).

El cacao es una planta "cauliflora": es decir que las flores y los frutos se producen en las partes más viejas del tronco y de las ramas desprovistas de hojas. Si las flores no son polinizadas, se desprenden 2 ó 3 días después de abrirse. Una vez que han sido fecundados los óvulos, se producen los frutos de los cuales solo un pequeño porcentaje llega a la madurez debido a un fenómeno, aparentemente de índole fisiológica, denominado "cherelle wilt" que consiste en un arrugamiento y momificación de los frutos jóvenes (1, 2). El fruto, que botánicamente es una baya, contiene entre 20 y 50 semillas rodeadas por una pulpa dulce que se forma en el tegumento externo del óvulo (53).

### 2.3.2. Ciclo vegetativo

El cacao, como muchas plantas perennes tropicales, presenta simultáneamente funciones competitivas en las diferentes fases de su ciclo vegetativo, por lo que es necesario establecer una diferenciación entre dos series de funciones: la primera se refiere al ciclo vegetativo o de regeneración que comprende la preparación de yemas vegetativas, la brotación, el crecimiento de hojas, el crecimiento de ramas y la maduración de los órganos vegetativos. La segunda serie

de funciones es la relacionada con la producción de frutos, dentro de la cual se consideran la preparación de yemas florales, la floración (apertura de las flores), el crecimiento de los frutos hasta su tamaño máximo, la maduración y la cosecha (50).

Las especies frutales de zonas templadas presentan ciclos de desarrollo seguidos por períodos de reposo, bien definidos y controlados por los cambios climáticos estacionales. En el trópico, en cambio, no se pueden diferenciar estaciones climáticas durante el año. Sin embargo, el cacao presenta también períodos de reposo seguidos de períodos de un intenso crecimiento en las diferentes series de funciones vegetativas y reproductivas.<sup>7</sup> La diferencia con los frutales de clima templado estriba en que, mientras en estos se presenta una época de reposo y una de crecimiento durante el año, el cacao puede presentar, dependiendo de las condiciones ecológicas, hasta 4 ó 5 períodos de crecimiento activo, alternando con igual número de períodos de reposo (3). Este ritmo de crecimiento se considera generalmente como estacional en el sentido de que se repiten aproximadamente en el mismo período del año, variando de acuerdo con la región pero mostrando usualmente pocos cambios en diferentes años (11).

El ritmo y duración de las diferentes fases fenológicas son afectadas también por la edad de la planta. De acuerdo con Alvim y colaboradores (11), los ritmos de crecimiento en las plantas jóvenes no están sincronizados, mientras que las plantas adultas sí presentan esa característica.

En algunos estudios, tanto en Brasil (10) como en Africa (15)

se ha encontrado una fuerte relación entre la caída de hojas y la brotación, de tal forma que una fuerte pérdida de hojas de la planta ocurre simultáneamente o un poco antes o después de una brotación intensa.

Greathouse et al. (24), bajo condiciones ambientales controladas, encontraron que el ciclo de crecimiento de un brote dura aproximadamente 65 días y, una vez que se completa ese ciclo comienza automáticamente un nuevo ciclo de brotación.

Se han encontrado algunas relaciones del fenómeno de brotación de hojas con algunos otros ligados a la producción de la planta, especialmente con el marchitamiento prematuro de los frutos ("cherelle wilt") (3, 29). Sin embargo aún no está bien definida la naturaleza de este proceso, pues mientras algunos autores opinan que su ritmo es controlado fundamentalmente por el medio ambiente (12), otros le atribuyen una naturaleza endógena (24). La duración del fenómeno de brotación, desde la apertura de la yema terminal, hasta la maduración completa de la hoja es de aproximadamente 7 a 8 semanas (3), pudiendo presentarse varios ciclos durante el año, con una mayor intensidad en los períodos posteriores a una deficiencia de humedad en el suelo (33).

La fase de floración del cacao tiene también una periodicidad estacional y es afectada por la edad de la planta y tiene, aparentemente, una relación con el ritmo de desarrollo general. En los árboles jóvenes, que brotan casi constantemente, siempre existen algunas flores. Después de una edad de 3 a 4 años, la brotación y la floración se sincronizan, empezando la época sin flores dos meses después de

iniciado el período de brotación. Con base en sus experiencias en Bahía, Alvim, et al. (12) parece probar la hipótesis de que la floración es controlada por hormonas que se forman en las hojas nuevas.

En las zonas en que las lluvias están bien distribuidas, como es la zona Atlántica de Costa Rica, el cacao florece prácticamente durante todo el año, aunque la intensidad de la floración no es uniforme durante todo el año, sino que se presentan períodos de máxima intensidad de floración 5 - 6 meses antes de cada época de cosecha abundante.

Después de la fecundación de los ovarios, se producen una serie de fenómenos que determinan el desarrollo y maduración del fruto.

Humphries (30) divide el período de desarrollo del fruto del cacao en dos fases; una propiamente de crecimiento con una duración de 75 días y otra de maduración de 95 días. También Mc Kelvie (34) distingue varias fases o períodos: el primero de ellos de crecimiento lento hasta los 40 días y luego un rápido período de crecimiento que alcanza su máximo a los 75 días, cuando el fruto tiene unos 11 cm de longitud. El segundo período empieza a los 85 días después de la polinización y durante él, el embrión se desarrolla rápidamente hasta los 140 días. La mayor tasa de desarrollo se observó entre los 80 y 120 días. Nascimento y Alvim (38) encontraron que el ciclo de maduración en 400 frutos estudiados varió entre 128 y 224 días después de la floración con una media general de  $167,84 \pm 0,78$ ; en un trabajo más reciente, Alvim (11) reporta una diferente duración para el ciclo de maduración de los frutos cosechados en las dos diferentes épocas de cosecha, variando de 168 - 205 días para la cosecha principal y de

140 - 175 días para los frutos de la cosecha secundaria. De acuerdo con este autor, los frutos cosechados en la época temprana tienden a acortar su ciclo de maduración.

El número de frutos producidos por la planta sigue también un ciclo estacional, estrechamente relacionando con el ciclo de floración, de tal forma que cuando la planta se encuentra en su máxima intensidad de floración, la carga de frutos es mínima y viceversa (11). En el caso de la finca La Lola se presentan dos etapas bien definidas de producción de frutos en las cuales se cosecha más del 75% de la producción total anual (50).

#### 2.4. El ambiente en relación a la planta de cacao

Todos los fenómenos fisiológicos de las plantas dependen directa o indirectamente de los factores ambientales; por tanto, mediante el estudio del efecto de estos factores es posible determinar la respuesta y en consecuencia la adaptabilidad de los cultivos a regiones nuevas, así como conocer las influencias del medio ambiente sobre la producción.

Según Alvim (6), los factores ecológicos pueden clasificarse en forma general en directos e indirectos. Entre los factores de acción directa se consideran la temperatura, la luz, el agua, el suelo y factores bióticos; mientras que en los de acción indirecta se pueden citar la precipitación pluvial, la latitud, la altitud y la topografía.

#### 2.4.1. El ritmo de brotación foliar

Alvim (1) estudió las causas del marchitamiento prematuro de los frutos de cacao, lo cual puede influir en el número de mazorcas producidas y encontró mayores incidencias de este fenómeno después de una época de intenso crecimiento o de brotación de hojas y/o cuando el crecimiento del diámetro del tronco disminuía o se suspendía. Esta enfermedad fisiológica está íntimamente correlacionada con la brotación de ramas.

Por mucho tiempo se pensó que el ritmo de brotación estaba estrechamente correlacionada con el contenido de agua del suelo y de la atmósfera y con la alternancia de los períodos secos y lluviosos (33). Estudios posteriores llevados a cabo tanto en Costa Rica (5), como en Trinidad y Ghana, pusieron de manifiesto el papel preponderante de la temperatura sobre este proceso.

Humphries (29) encontró que la brotación era controlada por las temperaturas máximas en la sombra; siempre que las temperaturas alcanzaran un valor superior a 28,3°C, las yemas vegetativas eran inducidas a la brotación. Greenwood y Possnett (25) tampoco encontraron correlación con la humedad del suelo y concuerdan con la hipótesis de Humphries.

Hardy (26) reporta que cuando las temperaturas medias máximas bajan de 83°F (28,3°C) disminuiría la brotación en Ghana, concluyendo que el ritmo de brotación parece ser de una naturaleza endógena y que es poco influenciada por el medio extremo. Esta teoría ha sido apoyada posteriormente por los trabajos de Greathouse et al. (24). Sin embargo, Alvim (11) y colaboradores opinan que los ritmos de creci-

miento en las plantas adultas en el campo son predominantemente controladas por los factores ambientales y atribuyen los resultados de Greathouse al hecho de haber trabajado con plantas jóvenes.

Trabajos más recientes (10, 44, 45) parecen apoyar la teoría sugerida inicialmente por McDonald (33) atribuyendo particular importancia al efecto de la humedad del suelo y la humedad relativa del aire sobre la brotación.

Sale (45) trabajando bajo condiciones controladas, encontró que el riego después de un período de deficiencia de humedad en el suelo (15% de humedad aprovechable) daba como resultado una intensa brotación 10 días después del riego con producción de gran número de brotaciones tanto de las yemas axilares como terminales, mientras que con riegos frecuentes, manteniendo el suelo a humedades superiores a 50% y 85%, la brotación fue menos vigorosa y solo en las yemas terminales, en ciclos de cada 5 a 6 semanas.

El mismo investigador (42) encontró que la brotación no se inducía al elevar las temperaturas a más de 83°F ni cuando aumentaba el rango diario de temperatura, como habían sugerido estudios anteriores (5, 24, 29). Encontró, sin embargo, que los intervalos entre los ciclos de brotación disminuyen al aumentar la temperatura, con variaciones de 95 días para temperaturas de 74°F y 26 - 30 días con temperaturas de 80°F.

Estudios realizados por Alvim y colaboradores (11) en Bahía, sugieren que la brotación es inducida por una disminución del potencial hídrico de la planta y no necesariamente por la lluvia después de un período seco.

#### 2.4.2. Floración

Según Alvim (8) parece claro que en Bahía el principal factor asociado con la intensidad de la floración son las temperaturas medias. Cuando estas son inferiores a 23°C la floración se inhibe completamente. En las épocas de altas temperaturas la floración es fuertemente influenciada por la precipitación.

La floración es más abundante cuando la temperatura diurna aumenta, con la condición de que la temperatura nocturna no exceda de 27°C. Una temperatura constante de 31°C durante la noche, impide la floración (41).

La teoría postulada por Alvim (9) de que las bajas temperaturas actúan indirectamente sobre la floración, en el sentido de que debe actuar primero sobre el crecimiento vegetativo el cual a su vez actúa sobre la floración, ha sido revisada por el mismo autor con base en los resultados de estudios posteriores (11), ya que la temperatura no mostró ninguna relación con los ritmos de crecimiento del cacao. Este autor se inclina más a atribuir la disminución de la floración en Bahía, a la competencia interna entre los procesos de fructificación y floración ya que, de acuerdo con sus datos, los períodos de máxima carga de frutos coinciden con los períodos de menor intensidad de floración.

Sale (43), en trabajos también recientes, bajo condiciones controladas encontró que las bajas temperaturas actúan directamente sobre la floración disminuyendo su intensidad. Este autor no encontró relaciones entre el número de flores producidas y la brotación en el

momento de la floración ni en otro período anterior. Tampoco hubo correlación con el área foliar. Se sugiere, sin embargo, una posible relación entre el número de cojines florales y el aumento de extensión de las ramas.

Soria (48) bajo las condiciones de bosque tropical lluvioso de Turrialba, Costa Rica, estudió la relación del ingreso neto de energía solar y la periodicidad de los procesos fisiológicos de cacao, especialmente la floración y la polinización. Este autor encontró un coeficiente de correlación ( $r = 0,64$ ) altamente significativo entre esos dos fenómenos fisiológicos y la fluctuación bimodal del régimen de ingreso neto de energía solar, considerada dos meses antes de observarse la floración. Este retraso de dos meses se atribuye a que se necesita probablemente ese tiempo para que las yemas florales se activen, crezcan y broten flores.

#### 2.4.3. Desarrollo de los frutos

La temperatura afecta el ritmo de desarrollo de los frutos, siendo la tasa de crecimiento más alta al aumentar las temperaturas (9).

Según Schoreder (47) el crecimiento del fruto se realiza por la noche y se ha observado una relación inversa entre la temperatura y el crecimiento de los frutos, lo cual parece explicarse por la alta tasa de transpiración durante el día (9).

El tamaño del fruto es muy afectado por la disponibilidad de agua. Los frutos desarrollados durante las estaciones secas son más pequeños que los que se producen en condiciones adecuadas de humedad (9). Alvim y colaboradores (11) mencionan haber detectado una correlación

altamente significativa entre el número de días de la polinización a la cosecha y la temperatura media del período. Basado en esta correlación propone la siguiente ecuación para estimar el ciclo de maduración del fruto:

$$N = \frac{2500}{T - 9}$$

En la que N es el número de días y T la temperatura media diaria durante el período en °C.

#### 2.4.4. Ciclos de producción

Los ciclos de producción del árbol de cacao varían tanto con la edad como con las variaciones ecológicas estacionales. Fennah en Trinidad (20) estudió la variación anual de los rendimientos de árboles de cacao y encontró una gran fluctuación de los rendimientos en los primeros 4 - 6 años, lo cual se atribuye a la influencia del desarrollo juvenil del árbol. Pudo apreciar también una fuerte influencia de la precipitación sobre las variaciones anuales de la producción.

Alvim (4) indica que el cacaotero presenta generalmente un ciclo de producción más o menos estable para cada zona, con períodos de altas y bajas de acuerdo con la época del año. En sus estudios de la zona cacaotera de Costa Rica, este autor encontró una correlación altamente significativa del rendimiento con la temperatura media, de 5 meses antes de la cosecha ( $r = 0,519$ ) para la zona Atlántica, donde la lluvia es distribuída durante todo el año, sin una estación seca marcada. En la zona del Pacífico, que presenta un período seco de

4 meses, los rendimientos correlacionaron positivamente con la precipitación de 2 a 5 meses antes de la cosecha, pero no con la temperatura.

Según Alvim (7), en muchas áreas cacaoteras la distribución de las lluvias tiene una influencia muy definida sobre el ciclo de producción y muy a menudo la distribución de la cosecha sigue la distribución de las lluvias dentro de los 5 - 7 meses anteriores a la época de cosecha. El mismo autor cita que se han reportado también correlaciones negativas entre el rendimiento y la precipitación de 2 - 3 meses antes de la cosecha. Estas correlaciones negativas, las atribuye a la probable incidencia de enfermedades, como Phytophthora palmivora, bajo condiciones de excesiva humedad del aire. En Bahía se encontró también que las lluvias de verano están correlacionadas positivamente ( $r = 0,89$ ) con el rendimiento del cultivo dos años después.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del lugar en estudio

La finca "La Lola" está localizada en el litoral Atlántico de Costa Rica, aproximadamente a 20 Km de la costa. La topografía es relativamente plana con una diferencia en altura entre la parte más alta y la más baja de aproximadamente 33 m (48).

##### 3.1.1. Clima

El clima de la finca "La Lola" se considera típico para una zona tropical húmeda, ya que los valores de los diversos factores climáticos se encuentran enmarcados entre los límites que definen el trópico húmedo, en sentido ecológico (52). La temperatura media anual es de 25°C, con medias máximas de 29,5 y medias mínimas de 20°C (48). La precipitación anual promedio es de 3501 mm y solamente en el mes de setiembre ésta no supera a la evapotranspiración potencial, calculada por el método de Holdridge (28). Sin embargo se pueden observar dos períodos menos lluviosos (febrero-abril y agosto-setiembre) que alternan con dos períodos de precipitaciones más intensos (mayo-julio y noviembre-enero).

El promedio mensual de horas de sol por día es aproximadamente el 37% de la insolación máxima teórica a 10°N de latitud, que es la que corresponde a la finca. Este corto período de horas de sol se debe a la presencia de nubes.

El balance calórico estimado por Trojer (50) utilizando el cociente P/B (Precipitación en mm/horas de sol), arroja un valor superior

a 2,0 para el promedio anual. La cifra es mayor a 2,27 para los meses de mayo a julio y de noviembre a enero. El mes de setiembre presenta un valor inferior a 0,97. Esto significa, que, durante la mayor parte del año, la energía calórica recibida en la superficie de la finca La Lola, es inferior a la requerida para la evapotranspiración del agua precipitada.

El mismo autor hace una descripción de las características del tiempo reinante en la finca, de la siguiente manera: durante los meses relativamente secos (predominio de buen tiempo), después de leves lluvias al anochecer se puede observar el cielo despejado por la noche y por la madrugada se forma una neblina característica de la zona, que se disuelve entre las 8 y 10 a.m. Por esta razón, se observa en estas horas un alto valor de relación P/B (15,0). Durante el resto de la mañana hay buena insolación y perdura hasta la 1 ó 2 p.m., siendo la relación P/B de 0,66 a 0,75. Después de las 3 p.m. con frecuencia el cielo se cubre; a veces hay precipitación entre las 5 y 7 p.m. Además ocurre un calentamiento relativamente alto en todo el año, que alcanza en setiembre el promedio mensual más alto. En consecuencia la humedad relativa baja hasta menos del 50 por ciento, la cual, en conjunto, con una brisa local, aumenta la evaporación de 6 a 7 mm por día (según evaporímetro Piché), así como la evapotranspiración. Días excepcionales de buen tiempo registran más de 10 horas de insolación.

Las lluvias se repiten varias veces al día, con mayor frecuencia entre las 5 y 9, las 11 y 12, y las 15 y 17 horas y también durante la noche. En estas condiciones, la evaporación es mínima, de 1 a 2 mm

por día.

El tipo del tiempo reinante descrito, se caracteriza por un ciclo diario bien definido; el despeje del cielo después de las lluvias de la madrugada ocurre durante el tiempo variable más temprano (entre las 7 y 8 horas); el calentamiento temprano activa los vientos locales que, unidos a una alta humedad del aire, forman durante la mañana una gran nubosidad variable, lo cual alcanza suficiente extensión vertical para producir luego cortos aguaceros alrededor de las 11 de la mañana. El despeje sucesivo puede repetir esta situación y así pueden registrarse aguaceros más fuertes entre las 14 y 16 horas volviendo a llover al anochecer y durante ciertas horas de la noche. Este tipo del tiempo se caracteriza por intensidades pluviales máximas y por la variabilidad de la radiación global.

### 3.1.2. Suelos

Bazán (14), Sands (46) y Hardy (27) han efectuado estudios de los suelos de la finca La Lola. Según Bazán en La Lola se pueden diferenciar 7 clases de suelos, clasificados con base en la textura y la presencia o ausencia de una capa de piedra. En el Cuadro 1 se detallan dichas clases de suelos. A continuación se ofrece un resumen de la descripción de los 20 perfiles de suelos:

a) Textura. En los suelos de la finca "La Lola" predomina la textura fina. Aproximadamente el 69,1 por ciento del área total está ocupada por los suelos del grupo Arcillo-Limoso (Clases 1, 2 y 3); aproximadamente el 21,3 por ciento por suelos del grupo Arena Gruesa (Clases 6 y 7) y un 9,6 por ciento por suelos del grupo Arcillo-Limoso

sobre Arcillo Arenoso (Clases 4 y 5).

Cuadro 1. Características físicas del perfil del suelo en las diferentes clases de suelo de la finca La Lola, según la clasificación de Bazán (14).

Clase	Textura y/o Estructura	Tipo de Drenaje	Profundidad de la capa de piedras
1	Granular, agregados finos (Pseudoarena)	Imperfecto	Ausente
2	"	"	90 - 180 cm
3	"	"	30 - 90 cm
4	Arcillo limoso sobre arcillo-arenoso	Imperfecto o impedido	Ausente
5	"	"	90 - 180 cm
6	Mono-granular; arena gruesa, suelta	libre	90 - 180 cm
7	"	"	30 - 90 cm

b) Piedras y cantos rodados. Aproximadamente un 92,7 por ciento del área total de la finca está afectada por una capa de piedras y cantos. De esta área, el 47 por ciento tiene esa capa entre 90 y 180 cm (36-72") de profundidad (Clases 2, 5 y 6) y el 53 por ciento la tiene entre 30 y 90 cm (12-36") de profundidad (Clases 3 y 7). Sólo en un 7,3 por ciento del área total no hay piedras y cantos dentro de la profundidad examinada (Clases 1 y 4). Por tanto, gran parte de la finca se encuentra sobre una capa de piedras y cantos a profundidades

variables. El grosor de dicha capa es probablemente mayor de 60 cm (24") de acuerdo con las observaciones hechas en los diferentes perfiles. La presencia de piedras y cantos también se nota en la superficie del terreno, en donde una faja en forma de S que corre en dirección noreste a través de la finca, y posiblemente representa al antiguo cause de un río que pudo haber atravesado la finca, como parte del amplio sistema de ríos del litoral Atlántico.

### 3.2. Descripción de la zona muestreada

El área total de la finca es de 102 hectáreas. Se encuentra dividida en 27 secciones rectangulares de 100 m de ancho y 500 m de largo en la parte oeste (Secciones 1 al 10) y de 400 m de largo en la parte este (Secciones 11 al 27). Después de una inspección visual de las secciones, se eligieron 5 de ellas para este estudio. Las superficies y rendimientos de cada una de esas secciones se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Superficie y producción de las secciones en estudio.

Sección Nº	Superficie (ha)	Rendimiento Promedio de Cacao seco (1955-1967)	
		Kg/ha	Kg/ha/año
12	2,28	12.135,59	933,55
17	3,80	7.557,25	581,33
21	3,80	5.741,95	441,69
25	3,80	7.516,27	578,17
27	2,73	6.268,83	486,22

Desde luego, las condiciones de suelo de cada sección no son uniformes, por lo que se determinó con base en los mapas de clases de suelo de la finca (4), el área de cada sección ocupada por las diferentes clases de suelo, datos que se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Área ocupada (%) por cada clase de suelo en las secciones de La Lola consideradas en esta investigación. Medias con planímetro a postes de los mapas de Bazán (14).

Sección	Clases de Suelo			
	1	2	3	7
12	-----	75,77	19,23	5,00
17	-----	5,36	44,99	49,65
21	-----	28,33	71,67	-----
25	26,27	28,18	45,55	-----
27	52,42	35,48	12,10	-----

Las 5 secciones de la finca, objeto de este estudio, están plantadas con árboles de más de 20 años de edad, de la variedad local Matina. Dado que la finalidad de estas plantaciones ha sido la producción comercial, el tratamiento recibido por cada una de las secciones no es necesariamente igual, pero la condición aleatoria del efecto de esta fuente de variación, así como el hecho de contar con observaciones de un buen número de años diferentes dan confianza en los datos obtenidos.

Las diferentes secciones fueron seleccionadas con base en varios criterios, tratando de tener representadas condiciones ecológicas diversas; así, se eligió una sección que se encuentra a pleno sol (Sección 12), una que tiene sombra mal distribuida (Sección 17) y 3 secciones con sombreamiento normal (Secciones 21, 25 y 27). Estas últimas secciones difieren fundamentalmente en sus condiciones edáficas, lo cual se manifiesta en diferencias de rendimientos anuales.

### 3.3. Recolección de los datos

#### 3.3.1. Datos climáticos

En la finca La Lola se cuenta con equipo meteorológico relativamente completo instalado en 1960. A partir de esta fecha se han llevado registros diarios de los siguientes factores: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa e insolación (No de horas de brillo solar).

Estos datos se han transcrito a tarjetas IBM que permiten su manejo mediante la computadora del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación del IICA en Turrialba, Costa Rica. A partir de las observaciones básicas se estimaron: la temperatura media diaria, el rango diario de oscilación térmica - Acumulación térmica (suma de temperatura máxima - 15°C) y precipitación media diaria.

#### 3.3.2. Datos de producción como variable de respuesta

A partir del año 1958 se ha llevado registro de la producción semanal de cada sección de la finca. Para efectos de este estudio se recopilaron los datos de producción de las 5 secciones los cuales

fueron también debidamente codificados y perforados en tarjetas IBM. Los datos de producción así obtenidos no resultaron confiables para el uso que se pensaba darles, ya que hubo épocas en las que la producción de una sección durante la semana era tan escasa que no resultaba económica la cosecha. Esto dio lugar a que existan semanas en las que la cosecha registrada era nula, acumulándose la producción en las semanas posteriores. Después de un detenido examen de los datos se concluyó que la forma en que se reduciría el error era tomando las producciones acumuladas en períodos de 4 semanas. Estos datos son los que se presentan en el Cuadro 1 del Apéndice. La clave que se encuentra a la derecha representa la fecha en que termina el período considerado. Se observará la ausencia de datos en el lapso comprendido entre el 15 de diciembre de 1967 (15-12-67) y el 27 de junio de 1969 (27-06-69). Esto se debe a que en este lapso no se obtuvieron registros climáticos completos, por lo que se eliminaron esos datos, lo mismo que en los datos climáticos que se presentan en el Cuadro 2 del Apéndice.

Algunos de los períodos considerados no son exactamente de 28 días debido a circunstancias fuera de nuestro control; sin embargo, esto fue considerado al estimar las variables climáticas y agroclimáticas que entran en el estudio.

### 3.4. Análisis de la información

La metodología del análisis de las informaciones climáticas y de producción se describe a continuación:

### 3.4.1. Análisis de relaciones simples

Con base a los datos climáticos observados, las variables climáticas generadas y los datos de producción, se establecieron correlaciones simples entre todas las variables en el período de la cosecha. Se establecieron el mismo tipo de correlaciones entre los datos climáticos un período, dos, etc. hasta 11 períodos de 28 días antes de la cosecha, con el objeto de determinar la época en la que cada una de las variables climáticas simples tiene mayor influencia sobre el rendimiento.

El coeficiente de correlación ( $r_{ij}$ ) se puede considerar como un estimador de la asociación entre dos variables. La fórmula general para la obtención de este coeficiente es la siguiente:

$$R = D_{sii}^{-1/2} (X'X) D_{si}^{-1/2}$$

donde:

R = Matriz de correlación

X'X = Matriz de la suma de cuadrados y suma de productos  
corregidos

$D_{sii}^{-1/2}$  = Matriz diagonal cuyos elementos son los inversos de la raíz cuadrada de la diagonal de (X'X)

Cada uno de los elementos de la fórmula general puede expresarse matricialmente de la siguiente forma:

$$D_{sii}^{-1/2} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{\Sigma(X_{1i} - \bar{X}_1)^2}} & & & & \\ & \frac{1}{\sqrt{\Sigma(X_{2i} - \bar{X}_2)^2}} & & & \\ & & \frac{1}{\sqrt{\Sigma(X_{3i} - \bar{X}_3)^2}} & & \\ & & & \frac{1}{\sqrt{\Sigma(X_{ni} - \bar{X}_n)^2}} & \\ & & & & \end{bmatrix}$$

$$X^1 X = \begin{bmatrix} \Sigma(X_{1i} - \bar{X}_1)^2 & \Sigma(X_{1i} - \bar{X}_1)(X_{2i} - \bar{X}_2) \dots \Sigma(X_{1i} - \bar{X}_1)(X_{ni} - \bar{X}_n) \\ \Sigma(X_{2i} - \bar{X}_2)(X_{1i} - \bar{X}_1) & \Sigma(X_{2i} - \bar{X}_2)^2 \dots \Sigma(X_{2i} - \bar{X}_2)(X_{ni} - \bar{X}_n) \\ \dots & \dots \Sigma(X_{3i} - \bar{X}_3)^2 \dots \\ \dots & \dots \dots \dots \Sigma(X_{ni} - \bar{X}_n)^2 \end{bmatrix}$$

$$\hat{R} = D_{sii}^{-1/2} (X^1 X) D_{sij}^{-1/2} = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{13} & r_{23} & 1 & \dots & r_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1n} & r_{2n} & r_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Puede hacerse una interpretación más adecuada de "r" mediante el porcentaje de asociación que se obtiene con la fórmula:

$$\% \text{ de Asociación} = (r)^2 \cdot 100$$

cuya interpretación cuantitativa es la siguiente\*:

Valor $r^2$ :	25	25-50	50-75	75-100
Interpretación	Baja	Media	Fuerte	Muy fuerte

Las variables utilizadas en la matriz de correlación fueron las siguientes:

#### Variables Dependientes

$Y_{ij}$  = Rendimiento (Kg/ha) en cacao fresco en el período considerado.

$i$  = 1, 2, 3, 4 y 5 que corresponden a las secciones 12, 17, 21, 25 y 27.

$j$  = Número de períodos de observaciones acumuladas cada 28 días de cada sección

Para cada uno de los períodos de 28 días para los que se obtuvo información de la producción, se calcularon los valores correspondientes a cada una de las variables simples independientes que se enumeran a continuación.

#### Variables Independientes

$X_{1j}$  = Precipitación promedio en el período "j"

$X_{2j}$  = Temperatura mínima promedio en el período "j"

---

\* Curso de Introducción a la Estadística. IICA-CTEI, 1970. (Notas de Clase).

- $X_{3j}$  = Temperatura máxima promedio en el período "j"  
 $X_{4j}$  = Humedad relativa promedio en el período "j"  
 $X_{5j}$  = Insolación (Nº de horas de brillo solar) promedio para el período "j"  
 $X_{6j}$  = Precipitación total en el período "j"  
 $X_{7j}$  = Temperatura media del período "j"  
 $X_{8j}$  = Oscilación térmica diaria promedio durante el período "j"  
 $X_{9j}$  = Suma de temperaturas superiores a 15°C durante el período "j"

El segundo subíndice en las variables independientes indican el período considerado a partir de la cosecha

Se establecieron las correlaciones de las variables climáticas simples (Cuadro 1 del Apéndice) con el rendimiento (Cuadro 2 del Apéndice) en el período de cosecha así como entre ellas mismas y el rendimiento 1, 2, 3, etc., hasta 11 períodos de 4 semanas antes de la cosecha.

Así, se ha formado una matriz de correlación simple (14 x 14), con 109 observaciones en la que intervienen como variables dependientes, el rendimiento correspondiente a 5 diferentes sitios y como variables independientes las 9 variables climáticas simples.

### 3.4.2. Análisis de correlación simple entre variables sintéticas y la producción

Tomando como base las variables climáticas simples se generaron variables agroclimáticas que sintetizan más de una variable simple y que además, toman en cuenta la vegetación. Tales variables fueron:

Evapotranspiración potencial calculada por la fórmula de García y López (22) que tiene la siguiente expresión algebraica:

$$ETP = 1,21 \times 10^{\frac{7,45 T}{234,7 + T}} \times (1 - 0,01 HR) + 0,21T - 2,30$$

donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en mm/día

T = Temperatura media en °C

HR = Humedad relativa media de las horas diarias

Aproximadamente igual a  $\frac{HR(8:00) + HR(14:00)}{2}$

Esta fórmula le ha dado un mejor ajuste con las mediciones directas de evapotranspiración bajo condiciones de trópico húmedo, teniendo además la ventaja de requerir solo dos factores relativamente fáciles de medir (22). Otro método que ha dado buenos resultados para calcular la evapotranspiración potencial bajo las condiciones de este trabajo es el de Papadakis, cuya fórmula se expresa a continuación:

$$ETP = 0,562 (C_{ma} - C_{mi} - 2)$$

donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

C<sub>ma</sub> = Tensión de vapor a la temperatura máxima.

C<sub>ma-2</sub> = Tensión de vapor a la temperatura mínima - 2.

Con base en esta fórmula se generó otra variable, que es el déficit de saturación de vapor de agua de la atmósfera. Dos variables más se generaron obteniendo las diferencias entre la precipitación registrada y la evapotranspiración potencial calculada mediante las dos

fórmulas antes mencionadas, para cada período. Las cuatro variables sintéticas, sufrieron el mismo tratamiento a que fueron sometidas las variables climáticas simples; es decir se sometieron a un análisis de correlación con la variable de producción ( $Y_1$ ).

Estas correlaciones se establecieron también para cada uno de los 11 períodos considerados en la primera etapa.

### 3.4.3. Análisis de relación donde las variables independientes incluyen factor suelo

Esta parte del trabajo es semejante a las dos etapas anteriores en el tratamiento dado a los datos, pero las variables consideradas tratan de sintetizar, además de los factores del clima, el factor suelo. Las variables generadas para esta etapa fueron:

- 1) Evapotranspiración real (ETR)
- 2) Excesos hídricos
- 3) Deficiencias hídricas

Para la estimación del valor de estas variables se obtuvo el balance hídrico del suelo, siguiendo el método de Thornwaite (12). De acuerdo con este método, es necesario conocer: a) la capacidad de retención de humedad del suelo (C.R.) para el cálculo de la cual se utiliza la fórmula:

$$C.R. = (C.C - PMP) Da \times Pr$$

donde:

- C.R. = Capacidad de retención de agua del suelo  
C.C = Capacidad de campo

PMP = Punto de marchitez permanente

Da = Densidad aparente del suelo

Pr = Profundidad radicular

Para la determinación de estas características físicas del suelo, se tomaron muestras de cada una de las clases de suelo que se presentan en las diferentes secciones; es decir, de las clases 1, 2, 3 y 7. Las muestras se tomaron utilizando un cilindro metálico de 80 c.c. de volume, a una profundidad de 0-15.

A cada una de las muestras se le determinó la capacidad de campo (succión a 0,3 bares); punto de marchitez permanente (succión a 15 bares), utilizando platos de succión. Se determinó también la densidad aparente de cada muestra.

Con base en lo anterior, fue posible obtener los valores promedio de C.C., PMP y Da de cada clase de suelo. Estos valores, multiplicados por el porcentaje de área ocupada por cada clase de suelo en cada sección, permitió obtener un promedio ponderado de las 3 características físicas en cada una de las secciones estudiadas.

Las capas de piedra y canto rodado en el suelo, al permitir la libre circulación del agua, actuan físicamente como una capa de agua libre (succión 0) o capa freática. Basándose en este conocimiento y en los estudios de Sands (46), se consideró la profundidad de esas capas como el límite de la profundidad radicular, de los árboles de cacao en la finca. Dado que para obtener la capacidad de retención era necesario un promedio ponderado de la profundidad radicular, se determinó utilizando los mapas de pedregosidad de la finca (14),

mediante un planímetro, el porcentaje del área ocupada por las distintas profundidades de las capas de piedra.

La suma de los productos del área (en %) por la profundidad, en la sección se consideró como la profundidad radicular promedio. Con los datos de suelos así obtenidos se estuvo en posibilidad de calcular la CR de cada una de las secciones. Sin embargo, dadas las altas precipitaciones que se registran en la finca, se consideró que es prácticamente imposible que el suelo se encuentre en algún momento con una tensión de 15 atmósferas (PMP), por lo que la capacidad de retención de humedad del suelo se calculó eliminando esa característica física. Con esto la fórmula se redujo a:

$$CR = (C.C.) Da Pr$$

La información sobre los valores promedios de las características físicas por sección se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Promedio de las características físicas de los suelos de cada una de las secciones en estudio.

Sección	Capacidad de campo % (Hum)	Densidad aparente gr/ml	Profundidad radicular (cm)	Capacidad de retención mm
12	37,65	0,961	86,44	312,75
17	35,22	0,941	54,37	180,18
21	36,31	0,951	62,08	214,37
25	36,66	0,973	86,20	307,48
27	37,22	0,997	119,69	444,20

Como pasos del cálculo del balance hidrológico del suelo es necesario calcular: Evapotranspiración potencial (ETP), precipitación-evapotranspiración potencial (P-ETP), almacenaje de agua en el suelo, variación del almacenaje, evapotranspiración real (ETR), deficiencias de humedad en el suelo y excesos de humedad en el suelo.

Las tablas que presenta Thornthwaite para el cálculo del almacenaje de agua en el suelo, son para capacidades de retención de 75, 100, 125, 200, 250, 300, 350 y 400 mm (12). Dado que cada una de las secciones presenta una capacidad de retención diferente; que no coincide en ninguno de los casos con las capacidades para las que hay tablas disponibles, para el cálculo del balance de cada una de ellas se utilizaron las tablas que más aproximaban a la capacidad de retención observada. Así, se consideró una capacidad de retención de 200 para las secciones 17 y 21, 300 para las secciones 12 y 25 y 400 para la sección 27.

Se obtuvieron entonces 6 balances hidrológicos:

- 1) Para C.R. = 200 mm ETP (López y García)
- 2) C.R. = 300 mm ETP (López y García)
- 3) C.R. = 400 mm ETP (López y García)
- 4) C.R. = 200 mm ETP (Papadakis)
- 5) C.R. = 300 mm ETP (Papadakis)
- 6) C.R. = 400 mm ETP (Papadakis)

Los valores obtenidos en los balances hidrológicos se presentan en los Cuadros 4 y 5 del Apéndice, y fueron usados como variables independientes para establecer correlaciones con los rendimientos de cada parcela. Obviamente, los resultados son los mismos para aquellas

parcelas que se consideraron con la misma capacidad de retención (17 y 21 y 12 y 25).

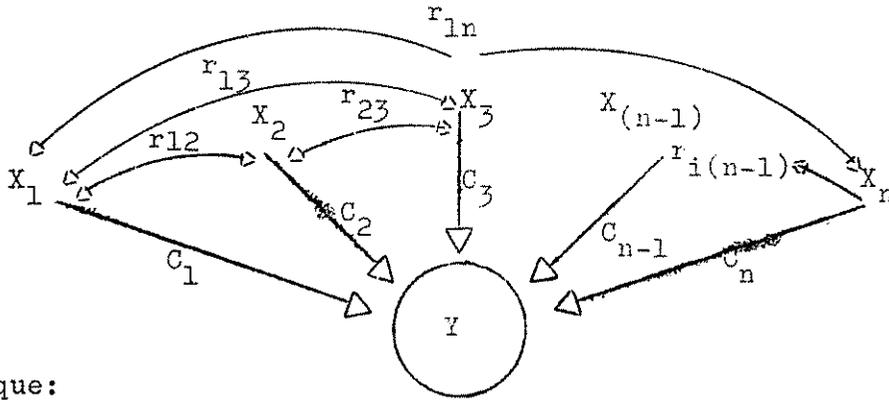
### 3.5. Análisis de efectos conjuntos

La correlación simple es una expresión de la relación total que existe entre las variables  $y$ , como tal, puede dividirse en componentes que representan tanto el efecto directo " $C_i$ " (camino directo), como los efectos indirectos ( $C_i r_{ij}$ ) de una variable a través de las demás.

En la correlación total hay factores que actúan positivamente, mientras que otros lo hacen en forma negativa, dando resultados que no son muy indicativos del grado de relación entre las variables, por lo que el coeficiente de correlación no siempre produce resultados satisfactorios. Igualmente es posible obtener correlaciones altas entre variables que se sabe que no están relacionadas casualmente aunque lo estén matemáticamente.

La teoría del análisis de caminos críticos se usa para el estudio estadístico de un sistema de variables correlacionadas por una función de causa y efecto (30).

El método general puede entenderse mejor mediante el siguiente esquema:



En el que:

$X_1, X_2, \dots, X_n$ , son las variables causales

$r_{12}, r_{13}, r_{(n-1)n}$ , son los coeficientes de correlación  
entre dos variables causales

$C_1, C_2, \dots, C_n$ , es el efecto (camino) directo de una variable  $X_i$  sobre  $Y$

$Y$  es la variable de respuesta

Generalizando se puede estimar los componentes directos e indirectos de la correlación total, con la siguiente fórmula:

$$C = R \underline{I}_\beta'$$

donde:

$C$  = Matriz de caminos directos e indirectos

$R$  = Matriz de correlación entre variables independientes

$\underline{I}_\beta'$  = Matriz diagonal, cuyos componentes son los coeficientes de la regresión múltiple, estandarizados.

La propiedad de la matriz C es:  $\sum_j C_{ij} = r_{xi}y$ ; es decir, que la suma de los elementos de la hilera de C es igual al coeficiente de correlación simple entre  $X_i$  y  $Y_i$ .

La expresión matricial del cálculo de los caminos es la siguiente:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{12} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ r_{13} & r_{23} & 1 & \dots & r_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ r_{1n} & r_{2n} & r_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad I_{\beta} = \begin{bmatrix} \beta'_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \beta'_2 & \dots & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \dots & \beta'_n \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} \beta'_1 & \beta'_2 r_{12} & \beta'_3 r_{13} & \dots & \beta'_n r_{1n} \\ \beta'_1 r_{12} & \beta'_2 & \beta'_3 r_{23} & \dots & \beta'_n r_{2n} \\ \beta'_1 r_{13} & \beta'_2 r_{23} & \beta'_3 & \dots & \beta'_3 r_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \beta'_1 r_{1n} & \beta'_2 r_{2n} & \beta'_3 r_{3n} & \dots & \beta'_n \end{bmatrix}$$

La correlación simple entre  $X_i$  y  $Y_i$  es igual al efecto o camino directo  $C_i$ , más los efectos indirectos  $C_i r_{ij}$ , de  $X_i$  a través de las otras variables. La suma de los caminos directos más indirectos

deberá ser igual al coeficiente de correlación simple o total  $r_{x_i y_i}$ .

A fin de obtener los valores de los caminos, es necesario contar con un estimador de los coeficientes de regresión múltiple " $\beta_i$ ", así como con las desviaciones estándar de las variables dependientes  $S_{y_i}$  y de las independientes  $S_{x_i}$ . Con ésto, es posible calcular los caminos directos  $C_i$ , mediante la siguiente fórmula:

$$C_i = b_i \frac{S_{x_i}}{S_y}$$

donde:

$C_i$  = camino o efecto directo

$b_i$  = coeficiente del modelo de regresión múltiple, calculado por el método de mínimos cuadrados

$S_{x_i}$  = desviación estándar de la variable  $X_i$

$S_y$  = desviación estándar de la variable Y

Los coeficientes de regresión lineal múltiple se obtienen del siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \sum \beta_{ij} X_j + e_{ij}$$

donde:

$Y_{ij}$  = Producción media de las parcelas en los diferentes períodos considerados

$\beta_{ij}$  = Coeficiente de correlación múltiple entre elementos variables del clima y la variable de respuesta Y

$X_j$  = Variable independiente, que representa los factores climáticos simples considerados

$\epsilon_i$  = Componente debido al azar

Para estimar  $\beta_i$  se utiliza el método de mínimos cuadrados mediante la fórmula estándar:

$$\underline{y} = X \underline{\beta} + \underline{\epsilon}$$

Resolviendo el sistema, se obtiene

$$\underline{\hat{\beta}} = (X'X)^{-1} X' \underline{y}$$

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio se presentan en la secuencia: características generales de la información utilizada, estructura de relaciones simples entre variables de respuesta (producción) y variables climáticas, relaciones múltiples de variables ; . . . \_  
tición del efecto total en componentes directos e indirectos.

Las características de los datos primarios empleados aparecen en los Cuadros 1 y 2 del Apéndice. El Cuadro 5 muestra las medias y desviaciones de las variables de respuesta ( $Y_i$ ), correspondientes a cinco secciones o lotes de producción, y el Cuadro 6, las medias y desviaciones estándar de las variables climáticas utilizadas ( $X_i$ ) en cada uno de los períodos considerados.

Cuadro 5. Promedios y desviaciones estándar de los datos de producción correspondientes a intervalos de 28 días. N = 109.

	Lotes sin sombra		Lotes sombreados		
	12	17	21	25	27
Media	173,03	103,83	67,05	96,55	79,85
Desviación estándar	162,57	104,39	62,08	104,04	83,46

El Cuadro 5 indica la gran variabilidad que existe entre la producción semi-mensual (período de 28 días) del cacao. Este hecho se debe a que la producción no es uniforme a través del año y sugieren la existencia de picos que es bien conocido en este cultivo. Las

Cuadro 6. Promedio de datos climatológicos de la Finca La Lola. 1961-1970.

Mes	Precipitación	Temperatura		Diferencia máxima-mínima	Humedad relativa	Insolación	Evaporación
		media	mínima				
Enero	12,36	23,96	28,46	19,45	83,71	4,63	0,66
Febrero	7,50	23,95	28,61	19,30	81,85	5,16	0,62
Marzo	7,02	24,43	29,00	19,86	72,01	4,71	0,73
Abril	9,79	24,89	29,38	20,40	81,25	4,90	0,83
Mayo	9,82	25,43	29,97	20,88	82,10	4,56	0,84
Junio	9,76	25,73	30,24	21,22	84,34	3,99	0,74
Julio	12,72	25,17	29,41	20,93	84,62	3,45	0,53
Agosto	7,61	25,35	29,91	20,79	83,93	4,63	0,71
Setiembre	6,82	25,56	30,36	20,75	84,50	4,75	0,29
Octubre	9,35	25,32	30,10	20,54	84,64	4,88	0,32
Noviembre	17,14	22,09	25,73	18,45	75,93	4,15	0,19
Diciembre	19,47	23,07	27,08	19,05	80,35	3,85	0,24

desviaciones con respecto a las medias es muy alta con los dos picos de producción principal. De las variables climáticas, las que presentan mayor variabilidad son la precipitación, y la insolación, mientras que las variables térmicas son más estables a través del año. Esto, en general, es de esperarse en zonas tropicales como la que nos ocupa en este estudio.

#### 4.1. Análisis de relaciones simples

##### 4.1.1. Variables climáticas simples

Como se puede observar en el Cuadro 3 del Apéndice, los valores de los coeficientes de correlación ( $r$ ), que expresan la relación de las variables climáticas con los rendimientos, son bajos. Valores superiores a 0,300 pueden ser altamente significativos dado al alto número de grados de libertad (108); sin embargo, no es recomendable interpretar en esta forma ya que, aunque estos valores sean significativos, los valores del por ciento de asociación son muy bajos. El máximo valor de  $r$  obtenido es de -0.476 para la temperatura máxima 11 períodos antes de la cosecha en la Sección 17. Esto significa que la producción se puede explicar en un 23% por medio de la temperatura, mientras que en el 77%, son otros los factores responsables de ese comportamiento.

Parece más interesante, en cambio, observar la variación que presentan estos valores de  $r$  en los diferentes períodos. En las Figuras 1 y 2 se presentan las curvas obtenidas al graficar dichos valores. En estas figuras se han tomado como ordenadas los valores del coefi-

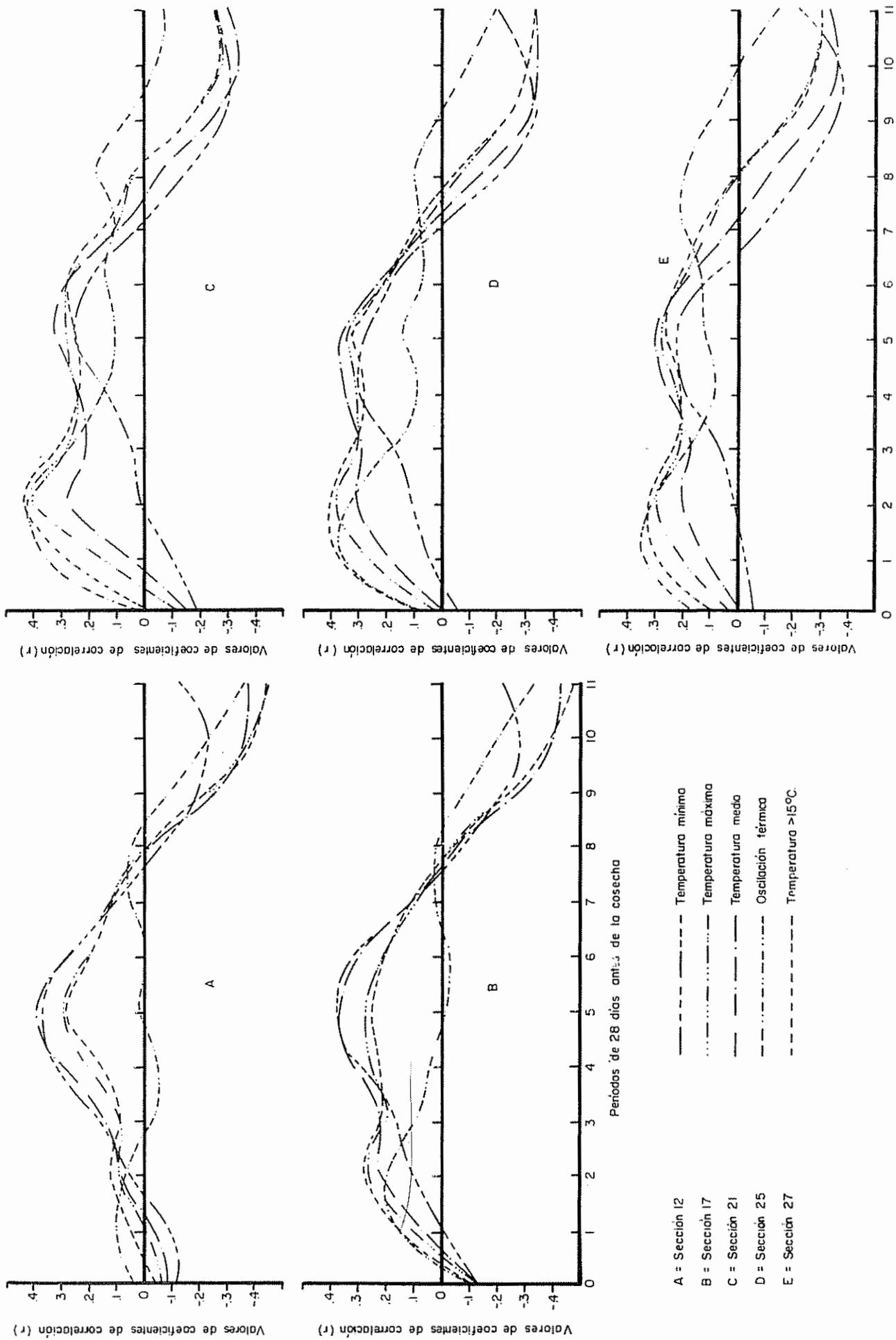


Fig. 1 Transcurso periódico de las relaciones entre las variables climáticas simples y la producción de cacao en la finca "La Lola" ( $T_m$ ,  $T_M$ ,  $T$ ,  $OT$ ,  $T > 15^\circ C$ )

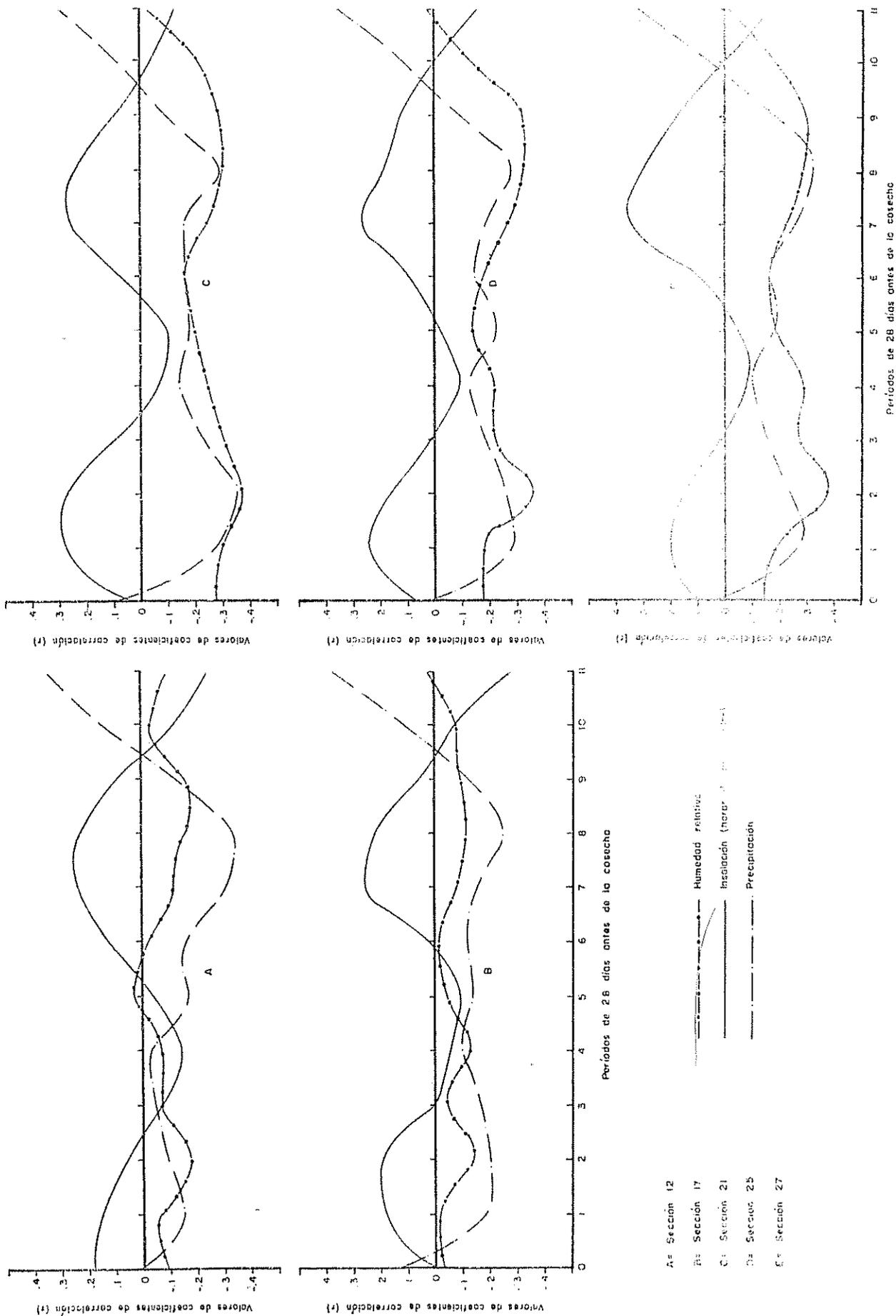


Fig 2.- Transcurso periódico de las relaciones entre las variables climáticas simples y la producción de cacao en la finca "La Lolo"

ciente de correlación y como obsisas los períodos considerados con respecto a la cosecha. Estos valores se pueden considerar como una expresión del efecto relativo de cada una de las variables climáticas sobre la producción obtenida después de 1, 2, etc., períodos transcurridos.

Al comparar las curvas de correlación de cada una de las variables en las diferentes parcelas con la producción, se puede observar un gran paralelismo entre ellas, aunque difieren en magnitud o intensidad del efecto.

Las tendencias de las curvas correspondientes a las parcelas 12 y 17 son muy semejantes, indicando con esto una similitud en la respuesta de las plantas bajo las condiciones en que se encuentran ambas parcelas. Lo mismo se puede decir de las parcelas que se encuentran bajo sombra (Secciones 21, 25 y 27). Este comportamiento es corroborado por los valores de correlación entre los datos de producción de todas las diferentes secciones, que se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación (r) entre los datos de producción de 5 Secciones comerciales de la finca La Lola.

Sección	Sección				
	12	17	21	25	27
12	1,000				
17	0,848	1,000			
21	0,656	0,725	1,000		
25	0,792	0,783	0,892	1,000	
27	0,789	0,760	0,848	0,913	1,000

Los altos valores de los coeficientes de correlación entre los datos de producción de las parcelas 12 y 17, así como entre las Secciones 21, 25 y 27, indican que hay semejanza de respuesta dentro de los dos grupos y diferencia entre grupos; es decir que se pueden dividir las secciones en dos grupos con respuesta semejante que denominaremos Parcelas no sombreadas (Secciones 12 y 17) y Parcelas sombreadas (Secciones 21, 25 y 27).

Los valores de correlación de las variables térmicas con la producción de las parcelas no sombreadas tienen tendencias y magnitudes muy semejantes, con un máximo positivo entre los períodos 4 y 6 y un máximo negativo en los períodos 10 y 11. Los valores de correlación de la precipitación y la insolación presentan tendencias inversas con un valor máximo positivo para la insolación y un máximo negativo para precipitación en los períodos 7 y 8 y un máximo negativo de insolación y máximo positivo para precipitación en el período 11. La humedad relativa no parece tener ningún efecto en estas parcelas.

En las parcelas bajo sombra, las variables térmicas presentan un pico de máxima intensidad de la relación positiva entre los períodos 1 y 3 y otro entre el 5 y 6, mientras que su relación negativa es máxima en el período 10. Las tendencias de los efectos de la insolación y la precipitación siguen siendo inversos, con dos épocas de máxima relación positiva de la insolación en los períodos 1 - 3 y 7 - 8, mientras que la precipitación tiene dos picos de máxima relación negativa en los períodos 1 - 3 y 8, y una máxima positiva en el período 11. En estas parcelas se observa una alta relación negativa de la

humedad relativa durante casi todos los períodos con sus máximos en los períodos 1 - 3 y 7 - 9.

#### 4.1.2. VARIABLES COMBINADAS

Los Cuadros 6 y 7 del Apéndice muestran los valores de  $r$  obtenidos al correlacionar la evapotranspiración potencial, calculada por dos métodos, así como las diferentes variables climáticas sintéticas obtenidas mediante el cálculo del balance hídrico, con la producción. Los coeficientes de correlación obtenidos se presentan gráficamente en la Figura 3.

Tampoco en este caso se obtuvieron índices de correlación elevados y las tendencias de las curvas de las parcelas sombreadas son algo diferente a las de las parcelas sin sombra. Es interesante destacar la semejanza de las curvas obtenidas con P-ETP, tanto entre sí mismas en cada parcela, como su paralelismo con la curva de la precipitación de los gráficos anteriores.

Los valores máximos de los índices de correlación de P-ETP con los rendimientos se presentan entre los períodos 1 - 3 y 8 - 9, antes de la cosecha y son negativos, lo cual coincide con lo encontrado para la precipitación en el análisis de las variables climáticas simples.

Las variables sintéticas utilizadas en el presente estudio no mostraron correlaciones más elevadas que las variables simples, lo cual se puede explicar por la predominancia de la precipitación en todas ellas ya que en la zona en estudio la humedad del suelo casi nunca llega a ser crítica. A eso se debe que las curvas de P-ETP

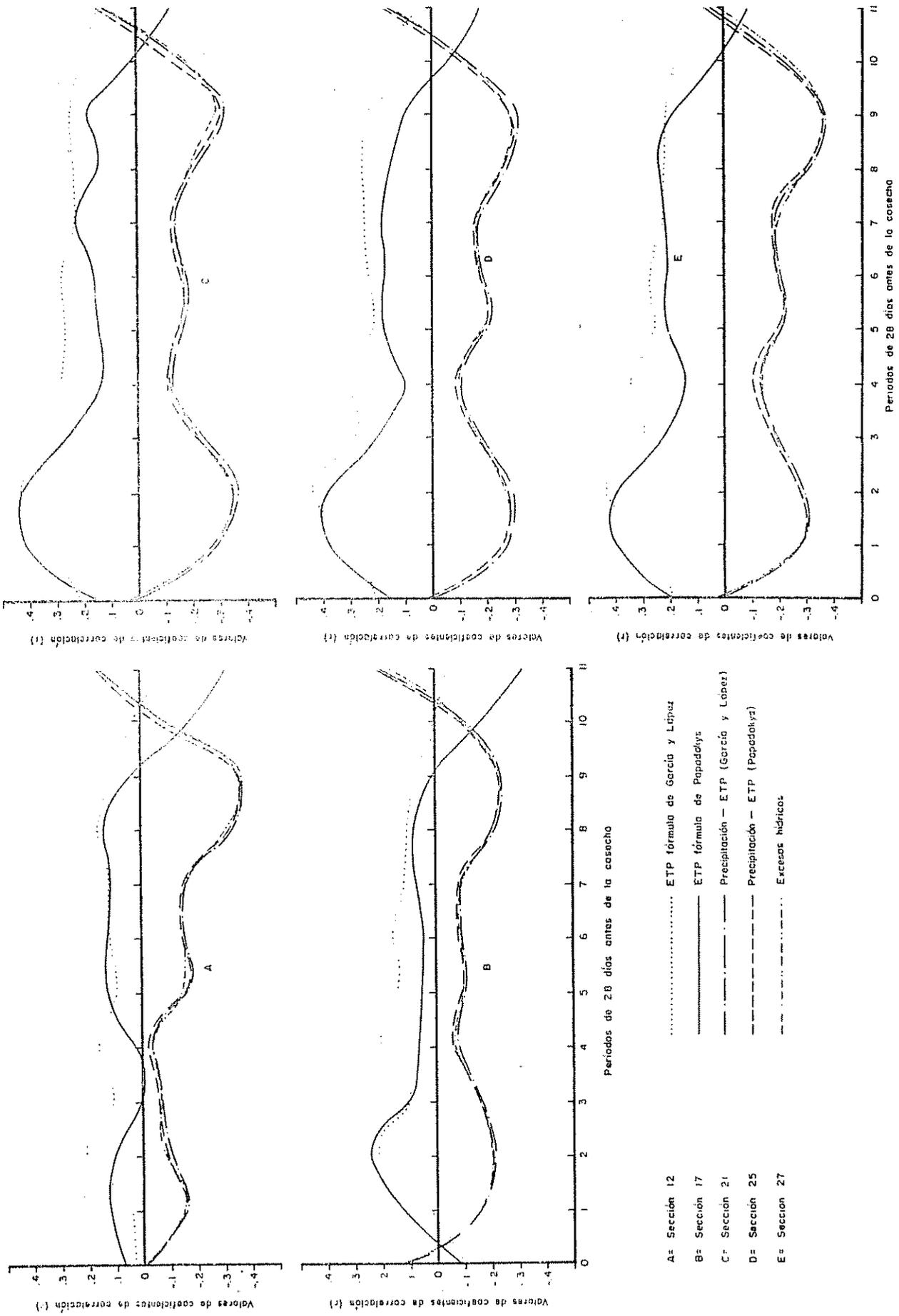


Fig. 3— Transcurso periódico de la correlación entre la producción y algunas variables agroclimáticas generadas a partir de variables climáticas simples.

sean paralelas con cualquiera de las dos fórmulas utilizadas para el cálculo de la ETP. Esto es corroborado al estudiar las correlaciones existentes entre estas variables, las cuales se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Matriz de correlación entre la evapotranspiración potencial calculada por dos fórmulas y la diferencia de éstas con la precipitación.

	ETP (G)	ETP (P)	P-ETP (G)	P-ETP (P)
ETP (G)	1,000			
ETP (P)	0,491	1,000		
P-ETP (G)	0,332	0,619	1,000	
P-ETP (P)	0,266	0,628	0,996	1,000

ETP (G) = Evapotranspiración potencial, fórmula de García y López  
ETP (P) = Evapotranspiración potencial, fórmula de Papadakis  
P-ETP = Diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial

En este Cuadro se puede apreciar que, aunque la relación entre los datos obtenidos por las dos fórmulas es muy baja, la correlación entre las diferencias de P-ETP calculadas por las dos fórmulas es prácticamente 1, lo cual indica que la variable predominante en ambas es la precipitación.

Las correlaciones de la ETP, calculada por ambas fórmulas, con la producción, no son de importancia, como tampoco son las correlacioo

nes con la evapotranspiración real (ETR), lo cual es de esperarse ya que, bajo condiciones de continua disponibilidad de agua,  $ETP = ETR$ .

Lo mismo puede decirse respecto a los datos obtenidos mediante el balance hídrico del suelo. Los valores de los índices de correlación obtenidos al relacionar los datos del balance hidrológico (ETR, deficiencias y excesos de humedad), con los rendimientos, son prácticamente iguales para las 3 capacidades de retención de humedad del suelo y para las dos fórmulas de cálculo de la ETP, como puede verse en los Cuadros 6 y 7 del Apéndice.

La Figura 3 presenta gráficamente las correlaciones entre las variables climáticas sintéticas y la producción. A fin de simplificar la figura y dado que los valores de los coeficientes de correlación de los excesos hídricos con la producción son iguales para todas las capacidades de retención de humedad, únicamente se construyó una curva, la cual coincide casi exactamente con las curvas de P-ETP calculadas por las dos fórmulas. Las curvas de correlación entre ETR y Producción coinciden con las curvas de correlación entre ETP y producción, por lo que no se presentan en esa figura.

Los valores más altos de correlación de ETR con el rendimiento, se obtienen en los períodos 8 y 9 antes de la cosecha. No parece existir relación entre los rendimientos y el déficit de humedad.

#### 4.2. Análisis de relaciones conjuntas

##### 4.2.1. Análisis de regresión múltiple

Para el análisis de regresión múltiple se eliminaron dos de las variables: precipitación media y temperaturas mayores de 15°C, ya

que, para efectos de correlación se obtienen los mismos resultados que con la precipitación total y temperatura máxima, respectivamente. De las 7 variables restantes, el computador eliminó oscilación térmica y temperatura media. De esta forma, en el Cuadro 8 se presentan los coeficientes de regresión de cada una de las variables que intervinieron en este análisis, así como el grado de asociación total, expresado en función de  $R^2$ . En ese cuadro  $\hat{y}/\hat{X}_i$  representa el coeficiente de regresión parcial, es decir, la tasa de incremento de la producción (y) debida a una unidad de incremento de cada factor climático estudiado ( $X_i$ ), siendo  $X_1$ , temperatura mínima;  $X_2$ , temperatura máxima;  $X_3$ , humedad relativa;  $X_4$ , insolación y  $X_5$  precipitación. A la derecha se presentan las secciones y períodos de 28 días antes de la cosecha considerados, en la que el código de Secciones indica:

- 1 = Sección 12
- 2 = Sección 17
- 3 = Sección 21
- 4 = Sección 25
- 5 = Sección 27

Se consideró también la tendencia periódica de los coeficientes de asociación total ( $R^2$ ) en las diferentes parcelas, la cual se presenta gráficamente en la Figura 6.

#### 4.2.2. Análisis de caminos

Los resultados obtenidos con este análisis se presentan en el Cuadro 9 del Apéndice, en el cual aparecen los valores de los caminos o efectos directos de cada una de las variables consideradas, así como

su efecto indirecto a través de las demás variables. En la parte derecha del mismo Cuadro aparece un código de tres números; el primero de ellos identifica la variable climática que se está estudiando; el segundo, la parcela sobre la que se consideró el efecto y el tercer código indica el período antes de la cosecha.

Los valores de los efectos directos se localizan en la columna que se indica el primer número del código y el resto de las columnas dan los valores de los caminos directos de  $X_1$  (Temperatura mínima), sobre la producción de la parcela 12, durante los 12 períodos considerados. En las columnas cuyo primer número de código es 2, los valores de los caminos directos se encuentran en la segunda columna, y así sucesivamente.

La sexta columna es la suma total de los efectos; es decir, el coeficiente de correlación  $R_{x_1y}$ . Los valores absolutos de la correlación no son iguales exactamente a los obtenidos en la primera etapa del análisis, lo cual se debe a que, para conservar siempre fijo el número de datos de producción que se analizó, hubo necesidad de usar únicamente 99 parejas de datos. Sin embargo, las tendencias son prácticamente las mismas.

En la Figura 4 se presentan gráficamente los valores de los caminos o efectos directos de cada una de las variables sobre la producción de las diferentes secciones. Los valores de los caminos directos pueden considerarse como la fuerza real del efecto de cada variable sobre las plantas, mientras que los caminos indirectos representan la cantidad en que ese efecto es aumentado o contrarrestado por la

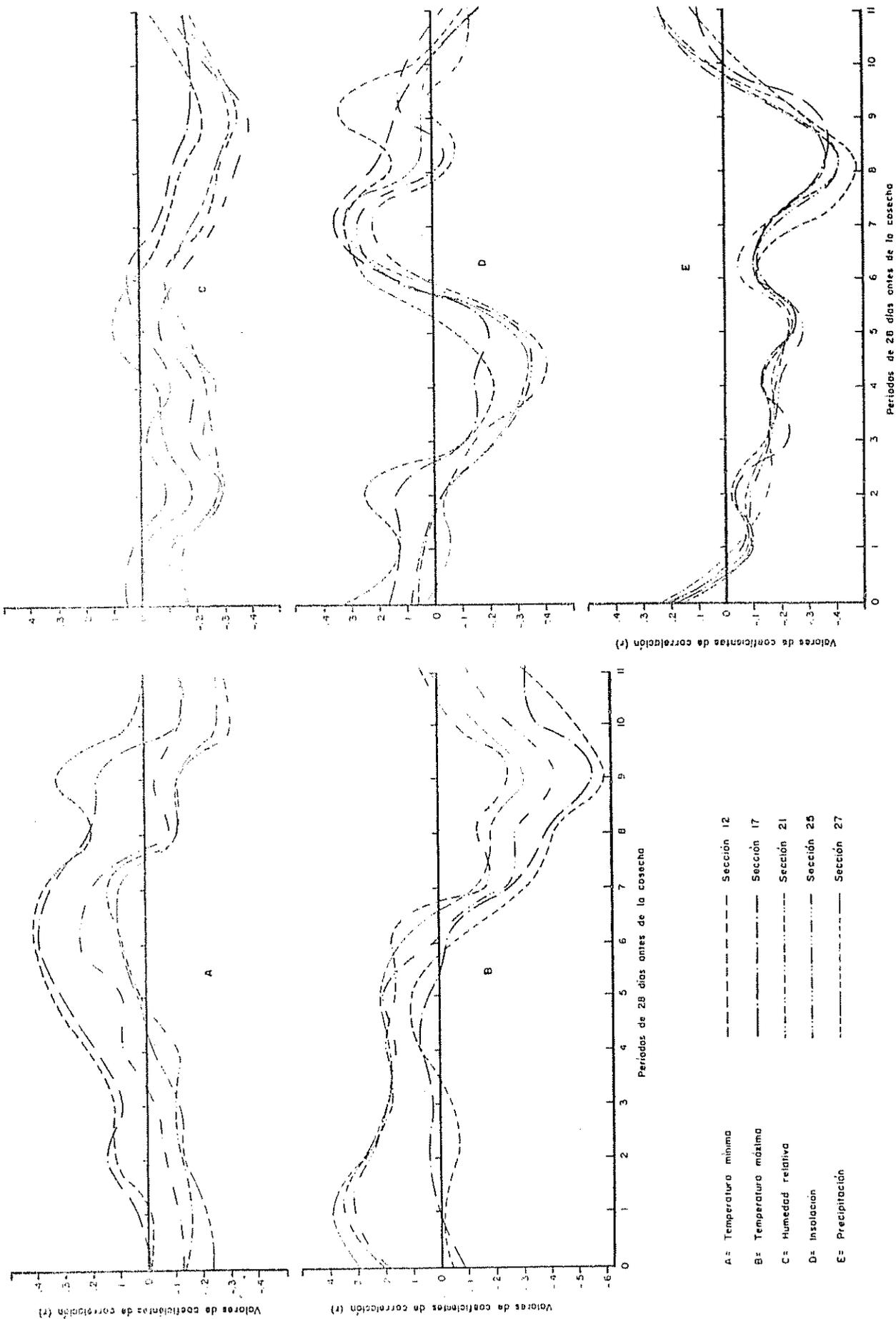


Fig 4.- Transcurso periódico de los efectos directos de las variables climáticas simples sobre la producción de cacao en la finca "La Lola".

presencia de las variables de interferencia. En seguida se interpreta la forma peculiar de influencia de los factores estudiados.

El análisis de caminos (Cuadro 9 del Apéndice) muestra que, efectivamente, los factores de mayor importancia para la producción, dos meses antes de la cosecha, son la temperatura máxima y la humedad relativa en las tres secciones sombreadas. En cambio, en las parcelas sin sombra no existe ningún efecto directo importante de las variables climáticas en esos períodos. En las Secciones sombreadas, el efecto directo positivo de la temperatura máxima es aumentado ligeramente por su efecto indirecto, positivo también, a través de la humedad relativa. La temperatura máxima tiene también un efecto indirecto anulando prácticamente los pequeños efectos negativos de la temperatura mínima. La humedad relativa presenta un efecto negativo sobre la producción, el cual es aumentado ligeramente por sus efectos indirectos a través de la temperatura máxima y la precipitación. La precipitación, que no tiene un efecto directo importante, presenta un grado de correlación total del mismo rango de la temperatura máxima y la humedad relativa, debido a sus efectos indirectos a través de esas mismas variables.

#### 4.2.3. Acción de los factores climáticos en los períodos detectados como críticos

De acuerdo con las tendencias de los valores de los coeficientes de correlación múltiple que se muestran en la Figura 5, la Sección 12 difiere de la 17, mientras que las tendencias de las 3 parcelas sombreadas son semejantes. Para la Sección 12 se detectan como importantes

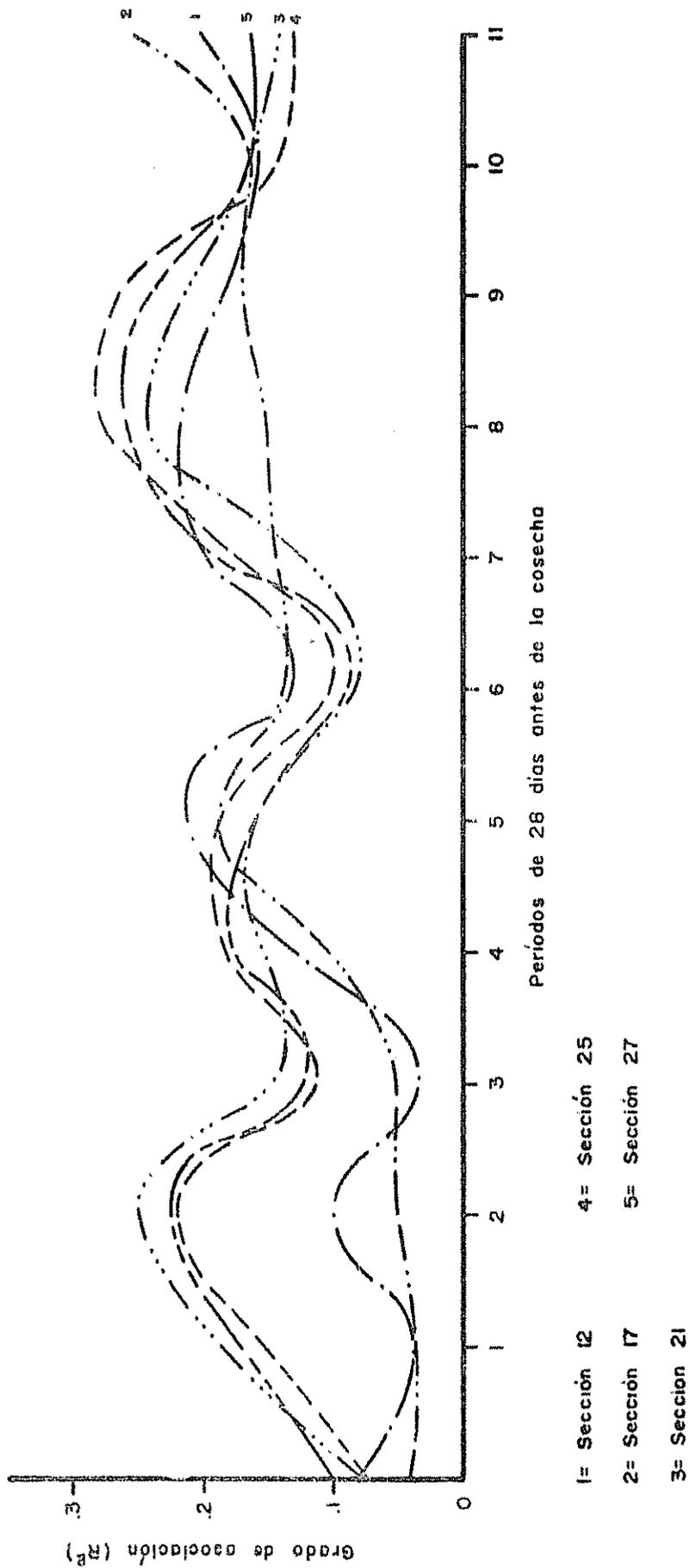


Fig. 5 - Transcurso periódico de la asociación entre la producción y la acción conjunta de las variables climáticas: temperatura mínima y máxima, humedad relativa, insolación y precipitación.

tes los períodos 5 y 7-8 antes de la cosecha, mientras que para la Sección 17 son importantes los períodos 5 y 11. En las Secciones sombreadas, son importantes los períodos 2, 5, 7, 9 y 11. A continuación se analizará el comportamiento de las diferentes variables climáticas en cada uno de los períodos detectados como potencialmente importantes, para las diferentes secciones. Para estos períodos, en los que parece importante el efecto de las variables climáticas, no todos los coeficientes de regresión son significativos al 5% de probabilidad.

En los análisis anteriores se manifestó un período crítico en el que las parcelas sombreadas son afectadas por los factores climáticos estudiados, que es el de 1-3 meses antes de la cosecha. Con base en el análisis de los efectos conjuntos, se puede especificar que el período crítico en ese lapso es el de 1-2 meses anteriores a la cosecha. En estos períodos ninguno de los coeficientes de regresión parcial son significativos en las secciones sin sombra, mientras que en las secciones sombreadas son significativos los coeficientes de regresión de la temperatura máxima y la humedad relativa con la producción (Cuadro 8).

En las parcelas sombreadas la incidencia de la temperatura máxima en el período 2 sobre la producción es positiva y significativa, y negativa la de la humedad relativa. Los coeficientes de regresión parcial ofrecen explicación similar a lo encontrado por medio del análisis de correlación simple, para ese mismo período, por lo que se puede decir que la temperatura máxima influye con una relación positiva, mientras que la humedad relativa lo hace con una relación negativa,

dos periodos de 28 días antes de la cosecha.

En el análisis de regresión múltiple se obtienen coeficientes de regresión parcial significativos de la temperatura mínima y la precipitación, con la producción de las parcelas sin sombra 5 meses antes de la cosecha, siendo positivo el primero y negativo el segundo en la parcela 12. En la Sección 17, sólo es significativo el coeficiente obtenido con la temperatura mínima. El análisis de regresión múltiple no permite obtener ideas claras de la forma de incidencia de los factores climáticos 5 meses antes de la cosecha sobre la producción de las secciones sombreadas, ya que, mientras que en la Sección 25 son significativos los coeficientes de regresión parcial de la insolación, y la precipitación, en la Sección 21 sólo lo es el de la insolación, no detectándose en la Sección 27 ningún coeficiente importante o significativo.

El análisis de rutas de los efectos directos e indirectos en este período, permite establecer, para las secciones sin sombra, un efecto directo y positivo de la temperatura mínima, incrementado ligeramente por un efecto indirecto de la insolación. El efecto directo negativo, también de relativa importancia, de la precipitación, es anulado prácticamente por su efecto indirecto a través de la insolación. En las parcelas sombreadas, en cambio, adquieren importancia los efectos directos de la insolación y la precipitación, ambos negativos; sin embargo, los valores de correlación total de ambas variables son bajos debido a que sus efectos se anulan entre sí. Los efectos más importantes de estas dos variables son indirectos; así, la insolación tiene un efecto positivo a través de la temperatura mínima

aumentando su correlación total y lo mismo hace la precipitación sobre la temperatura máxima, por lo que los valores de correlación total de las variables térmicas aparecen como las más importantes en este período.

Las variables climáticas estudiadas muestran una máxima relación conjunta con la producción de 7-9 meses posteriores de todas las secciones, excepto la 17 que tiene sombra deficiente. Sin embargo, los efectos directos e indirectos de cada una de las variables son diferentes en cada uno de los períodos y para cada sección.

En el período 7 antes de la cosecha, la producción de la sección a pleno sol presenta coeficientes de regresión parcial significativos con todas las variables, excepto con la humedad relativa, mientras que en las secciones sombreadas o con sombra deficiente, únicamente se obtienen coeficientes significativos en forma consistente con la insolación. El análisis de los efectos directos e indirectos en este período, muestran una mayor influencia positiva de la insolación y la temperatura mínima en las secciones sin sombra, mientras que la precipitación y la temperatura máxima muestran efectos negativos. El efecto directo negativo de la precipitación, aunque de poca importancia relativa, es mayor en la Sección 12, que se encuentra a pleno sol, que en la Sección 17 con sombra deficiente. Los efectos directos de la temperatura mínima son contrarrestados por su efecto indirecto a través de la temperatura máxima y viceversa, mientras que los efectos directos positivos de la insolación son contrarrestados por sus efectos indirectos negativos a través de las temperaturas y favorecidos por la precipitación.

Los efectos directos más importantes en el período 7 para las parcelas sombreadas, son los obtenidos con la insolación y la humedad relativa, positivo el primero y negativo el segundo. Los efectos directos positivos de la insolación son favorecidos por la interferencia de la humedad relativa y la precipitación y contrarrestados por la influencia de las variables térmicas, mientras que los efectos negativos de la humedad relativa son poco afectados por los efectos de las demás variables. Los valores de correlación total de la precipitación con la producción de 7 meses posteriores, son del mismo rango de los de la insolación y la humedad relativa, aunque su efecto directo es relativamente pequeño. Esto se debe a un efecto indirecto, también negativo, a través de esas dos variables.

En el período 8 antes de la cosecha, se detectan como significativos los coeficientes de regresión obtenidos con la temperatura máxima y la precipitación en las parcelas sin sombra y con la precipitación y la humedad relativa en las parcelas sombreadas, lo cual concuerda con el estudio de los efectos directos; es decir, que los efectos directos más importantes sobre la producción de 8 meses posteriores, son los de las variables ya indicadas.

Sin embargo, el estudio de los efectos indirectos indican relaciones de gran interés. En las parcelas sin sombra, la temperatura máxima elimina los efectos directos positivos de la temperatura mínima, dando como resultado una correlación total más baja de esa variable con la producción, pero con signo contrario. Los efectos directos negativos de la temperatura máxima, a su vez, son contrarrestados por efectos indirectos positivos de todas las demás variables anulando

así, su acción negativa. El efecto directo de la insolación, positivo y de relativamente poca importancia, se vé incrementado en forma importante por los efectos indirectos de las variables hídricas y contrarrestado ligeramente por las variables térmicas, dando como resultado una correlación total positiva del mismo rango de la precipitación y muy superior a los valores obtenidos con la temperatura máxima. La precipitación, además de su efecto directo negativo, actúa indirectamente incrementando el efecto positivo de la insolación y contrarrestando el efecto negativo de la temperatura máxima.

En las secciones sombreadas, los efectos directos de las variables térmicas pierden importancia, aunque es un poco mayor el de la temperatura máxima; los efectos directos más importantes son los de la precipitación y la humedad relativa. La temperatura mínima y la insolación, cuyas efectos son ambos negativos, y de poco valor, presentan una correlación total relativamente elevada, positiva con la insolación y negativa la de la temperatura mínima. El efecto negativo de la temperatura mínima es incrementado por un efecto indirecto, también negativo, de la temperatura máxima, mientras que el efecto directo negativo de la insolación se vé anulado y transformado en positivo por influencia de la precipitación.

La producción de las parcelas sin sombra muestra coeficientes de correlación significativos con la precipitación y la temperatura máxima ocurrida 9 períodos de 28 días antes de la cosecha. Siendo ambos coeficientes negativos, mientras que la producción de las parcelas bajo sombra muestran asociación significativa con esas dos variables,

pero mayor aún con la humedad relativa ocurrida en el mismo período.

El análisis de metas muestra que, aunque los coeficientes de correlación total de la producción con las variables climáticas 9 períodos antes de la cosecha no son de importancia en las parcelas sin sombra, el efecto directo de la temperatura máxima es de mucha importancia y negativo. Sin embargo, este elevado efecto negativo es reducido por efectos positivos de todas las demás variables, jugando un papel preponderante la precipitación. Esta última variable presenta también un efecto directo negativo de relativa importancia que es contrarrestado en gran parte por los efectos indirectos de la temperatura máxima.

En cambio en las secciones sombreadas adquieren importancia la acción de la humedad relativa y de la precipitación, los cuales, además de sus efectos directos negativos, aumentan el ligero efecto directo, también negativo, de la temperatura mínima produciendo un coeficiente de correlación total del mismo rango de las dos variables ya mencionadas.

#### 4.2.4. Transcurso periódico de los efectos de los factores climáticos individuales

##### Temperatura mínima

De nuevo se manifiesta aquí la diferencia de comportamiento debido a las condiciones en que se encuentran las secciones. Las curvas son muy semejantes para las Secciones 12 y 17 por un lado y las obtenidas para las parcelas sombreadas, por el otro lado, pero ambos grupos difieren entre sí. En las parcelas 12 y 17, el efecto máximo y

positivo de la temperatura mínima se presenta en los períodos 5-7; es decir que los rendimientos varían en el mismo sentido que lo hace la temperatura mínima. Lo mismo puede decirse de la parcela 25, aunque los valores absolutos de los caminos directos son más bajos y presentan además, una leve relación negativa en los períodos 0-1 y 10-11.

Las curvas para las parcelas 21 y 27 son prácticamente iguales, presentando una relación positiva en los períodos 5-7, aunque de bajo valor y relaciones más importantes negativas en los períodos 0-1 y 10-11.

En la parcela 12 el valor del camino directo es relativamente bajo para esta variable, aunque la correlación total es relativamente alta; esto se debe a una interferencia del efecto de la temperatura mínima en presencia de las otras variables. En cambio en el período 7 el valor de la correlación es prácticamente nulo aunque el valor del camino directo es alto, pero es interferido más notoriamente por la temperatura máxima y la insolación.

En la parcela 17, el efecto de la temperatura mínima en el período 5 es poco afectado por las otras variables, dando como resultado una asociación relativamente elevada; con la producción en el período 6, en cambio existe una disminución, aunque pequeña, del efecto directo por interferencia de todas las demás variables. En el período 7, el efecto de esta variable es poco manifiesto, igual que para la parcela 12, por la interferencia de la temperatura máxima y la insolación. En las parcelas sombreadas, no parece existir ningún efecto de importancia de la temperatura mínima.

### Temperatura máxima

La producción de las Secciones 12 y 17 no muestra ser afectada por las temperaturas máximas en los primeros períodos, pero sí hay efectos muy fuertes en los períodos 7-11. La relación de la temperatura máxima en estos períodos con la producción, es negativa.

En las Secciones sombreadas, esta variable muestra relaciones de relativa importancia en dos etapas: la primera en el período 2 que es positiva y la segunda en el período 9, es negativa. En las Secciones 12 y 17, el efecto directo de la temperatura máxima es el más alto y negativo en el período 9; sin embargo se presenta un coeficiente de correlación muy bajo, producido por un efecto positivo a través de las otras variables.

En las parcelas sombreadas, en cambio, el efecto de las demás variables aumenta el efecto de la temperatura máxima, dando como resultados coeficientes de correlación más elevados en los primeros períodos. En el período 9 se presenta el mismo fenómeno que en las parcelas sin sombra.

### Humedad relativa

Las parcelas sin sombra no parecen estar afectadas parcial o totalmente por la HR, en ninguno de los períodos. En cambio, en las parcelas bajo sombra se presentan relaciones totales negativas de importancia en los períodos 2-4 y 8-9. Sin embargo, los valores de los efectos directos son menores que la correlación total, excepto en el período 9 en el que son interferidos por el efecto de la temperatura máxima.

### Insolación

La parcela 12 presenta una relación directa y positiva relativamente alta, en los periodos 1 y 7, aunque ese efecto es opacado en gran parte por la precipitación en el primer periodo con un efecto contrario, mientras que en el periodo 7 se presenta un efecto también positivo a través de la precipitación que es anulado por valores negativos de las temperaturas máxima y mínima. La relación negativa que se observa en los periodos 4 y 5 no parecen ser importantes. En el periodo 11 se presenta una correlación total alta y negativa en las dos parcelas, pero los valores de los efectos directos de esta variable son bajos, aunque se ven aumentados por su efecto a través de la temperatura máxima.

En las parcelas bajo sombra la relación directa más importante es negativa y se presenta entre los periodos 4 y 5, antes de la cosecha, pero ese efecto es casi anulado por el efecto a través de las variables principalmente la precipitación.

### Precipitación

Los efectos totales de la precipitación, expresados en valores de  $r$ , muestran tendencias algo diferentes en las parcelas sin sombra y las secciones sombreadas; sin embargo, los efectos directos mostrados en la Figura 5 muestran tendencias iguales en todas las parcelas, con los máximos valores negativos en los periodos 8 y 9.

En las parcelas bajo sombra el mayor efecto se presenta en el periodo 8 y parece ser directo ya que su efecto indirecto a través de las demás variables es prácticamente nulo. En cambio en las parcelas

12 y 17 los efectos indirectos de la precipitación a través de la insolación en el período 8 y de la temperatura máxima en el 9, son de importancia.

Si se toma cada uno de los períodos detectados como críticos para la respuesta de las plantas de cada una de las secciones y se analiza el efecto directo e indirecto de las variables climáticas, con base en los resultados en el Cuadro 9 del Apéndice, se pueden destacar los siguientes hechos:

a) Secciones sin sombra

Para las secciones expuestas a pleno sol los períodos más críticos parecen ser el 5 y el 7-8 antes de la cosecha. En el período 5, el efecto directo y positivo de la temperatura mínima es el más relevante, sobre la producción. También la precipitación presenta un valor relativamente importante, pero con una relación negativa con la producción. Los efectos indirectos de ambas variables a través de las demás son de muy poca importancia, lo que hace pensar que ambas variables actúan en forma independiente y simultánea. La correlación total de la temperatura mínima con la producción, es ligeramente superior al valor directo, mientras que la correlación total de la precipitación es sensiblemente inferior al valor del camino directo. Parece que el efecto más importante de la precipitación en este período, es a través de la temperatura máxima cuyo efecto directo es bajo, pero presenta un alto grado de correlación total debido a la influencia de la temperatura mínima y la precipitación.

En el período 7 son importantes los efectos directos de todas

las variables, excepto la humedad relativa, lo cual coincide con los resultados del análisis de regresión múltiple. Los efectos directos de la temperatura mínima y la insolación presentan una relación positiva con la producción, mientras que las relaciones de la temperatura máxima y la precipitación son negativas. Sin embargo, solo son importantes en este período las correlaciones totales con la precipitación y la insolación, ya que el efecto neto positivo de la temperatura mínima es reducido por la interferencia de su efecto negativo a través de la temperatura máxima y la insolación, mientras que el efecto negativo neto de la temperatura máxima se reduce por interferencia de todas las demás variables, excepto la humedad relativa.

La parcela 17 (con sombra deficiente) se comporta en forma un poco diferente en este período, ya que el efecto neto de la precipitación es de menor importancia, aunque el valor de correlación total es de la misma magnitud que el de la insolación. Este valor de correlación total es producido por un marcado efecto también negativo, a través de la insolación y un efecto indirecto más pequeño pero positivo, a través de la temperatura máxima.

En el período 8, los efectos netos más importantes son los de la precipitación y la temperatura máxima. Sin embargo, la correlación total de la temperatura máxima es prácticamente nula debido a un efecto positivo de la variable a través de la precipitación. El mayor efecto de la temperatura máxima se presenta modificando el efecto neto de la precipitación y la temperatura mínima a la cual prácticamente anula.

En general, puede decirse que el factor predominante en este período, para la parcela a pleno sol es la precipitación, que actúa tan to directamente, como modificando el efecto de las demás variables, incluyendo la humedad relativa. La parcela 17 en este período sigue un patrón semejante, aunque la intensidad de los efectos es menor.

b) Parcelas bajo sombra

En estas parcelas fueron detectados como importantes los períodos 2 y 8-9 antes de la cosecha. En el período 2, el comportamiento de las 3 parcelas sombreadas es semejante. Los valores de correlación total más importantes, los presentan la temperatura máxima, humedad relativa y precipitación, siendo positivo el primero y negativos los dos últimos. Sin embargo, los efectos netos realmente importantes los presentan la temperatura máxima que es positivo y la humedad relativa que es negativo. El efecto directo de la precipitación es relativamente pequeño y negativo y esto se ve incrementado aún más por el efecto de la temperatura máxima. Los efectos de la humedad relativa parecen ser directos, ya que no son afectados ni modifican los efectos de las demás variables; en cambio, la temperatura máxima, además de su efecto neto elimina totalmente el efecto de la temperatura mínima y aumenta la correlación negativa de la precipitación con el rendimiento. En el período 5, los efectos totales más importantes son los de las temperaturas máxima y mínima que manifiestan una correlación positiva. Sin embargo, el efecto directo de la temperatura mínima es muy bajo.

Los efectos directos más importantes son los de la insolación y

la precipitación, pero sus correlaciones, negativas ambas, se anulan mutuamente en gran parte. Sus efectos directos sí son importantes, aumentando la correlación positiva de las temperaturas mínima y máxima respectivamente.

En los períodos 8 y 9, los efectos netos más importantes son los de la precipitación y la humedad relativa, ambas relacionadas negativamente con la producción. La precipitación, además de su efecto neto, modifica los efectos de la insolación cuyo efecto neto, que es muy bajo y negativo, se hace relativamente elevado y positivo. Es decir que la correlación total de la insolación con el rendimiento en este período es debido fundamentalmente a su acción a través de la precipitación. La precipitación actúa también sobre la temperatura máxima anulando casi por completo su efecto negativo. Por último, la humedad relativa muestra tener en este período un efecto más bien directo y aparentemente independiente de las demás.

#### 4.5. Fenograma del cacao bajo las condiciones de estudio

Para poder dar una adecuada interpretación de la influencia de los factores ecológicos sobre la planta, es necesario conocer qué es lo que está sucediendo en la misma, cuando esos factores inciden sobre ella; es decir, se necesita tener conocimiento de la fenología de la planta en estudio.

El ciclo de producción de cacao en la finca La Lola es un proceso continuo, con dos picos de producción: uno principal que ocurre entre los meses de setiembre-diciembre y otro secundario en abril-

mayo, ambos con ligeros desplazamientos de tiempo de un año a otro. Estos dos picos principales de producción representan más del 75% de la producción total anual.

Obviamente durante todo el año están ocurriendo simultáneamente los diversos procesos fisiológicos de la planta para producir cosecha durante todo el año, pero ocurren con mayor intensidad en ciertas épocas lo cual lleva a una producción también más intensa algún tiempo después.

Las fases fisiológicas que mayor influencia tienen sobre la producción del cacao son: la brotación de ramas y hojas nuevas que, al parecer, está íntimamente relacionada con el fenómeno de marchitamiento prematuro de los frutos (*cherelle wilt*) y por lo tanto con la producción; la intensidad de la floración guarda una relación directa con el número de frutos producidos, del cual la producción es función directa. El conocimiento de los fenómenos de crecimiento y maduración del fruto, permite situar esos procesos en las diferentes épocas del año. Al modelo gráfico que representa esos fenómenos se ha denominado con el apelativo fenograma, en este estudio (Fig. 6).

En la Figura 6 se presenta un fenograma del cultivo bajo las condiciones de la finca estudiada. En la parte superior de la Figura se presentan los transcurso de la producción y de los factores climáticos estudiados, a través del año. Esos gráficos fueron trazados utilizando datos de Soria et al. (48), de Trojer (50) y del autor. En la parte inferior, se presentan gráficamente las épocas del año en que ocurren las principales fases fenológicas del cultivo. Los

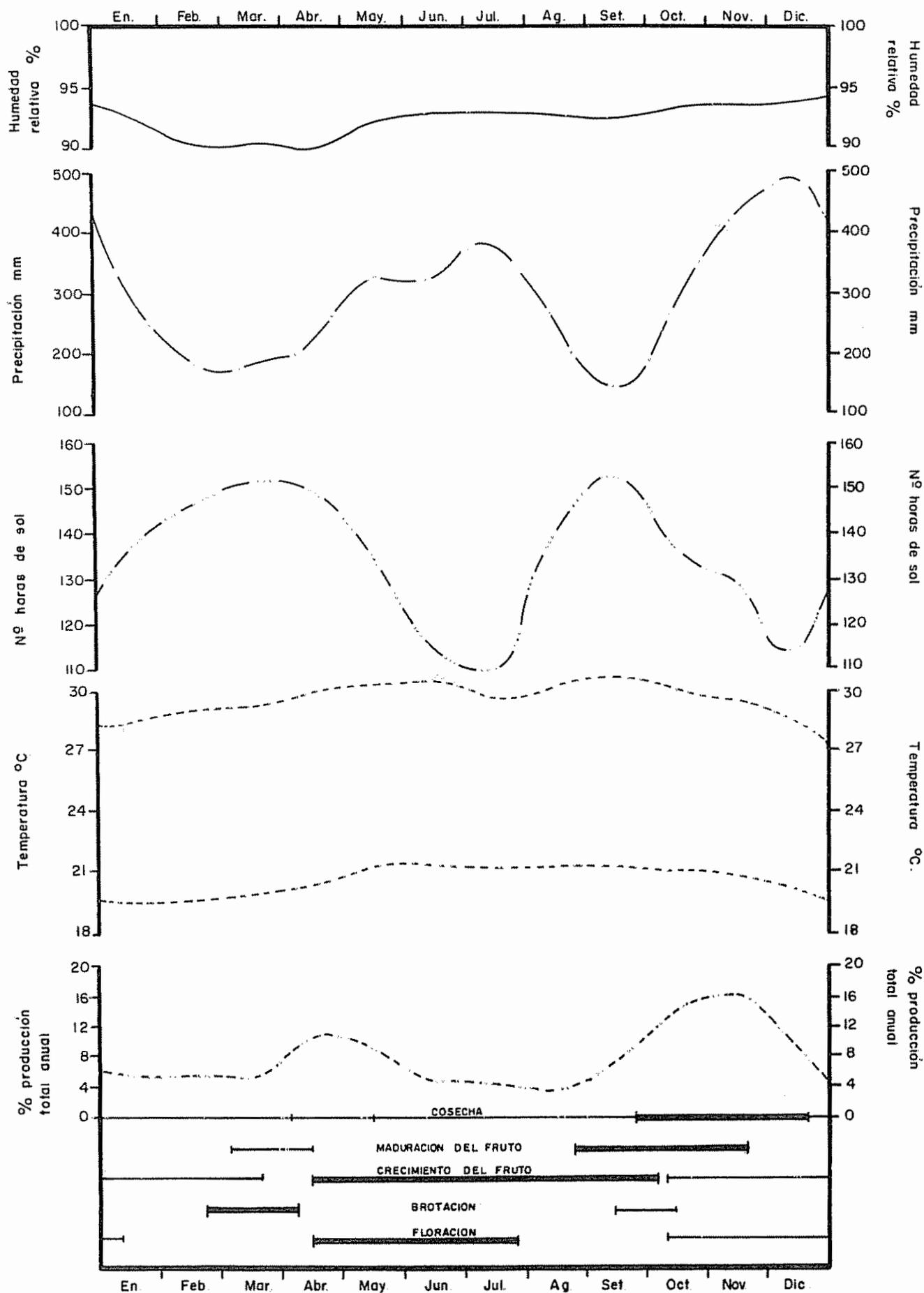


Fig.6 Fenograma del cacao (*Theobroma cacao*) en las condiciones de la finca "La Loid", zona Atlántica de Costa Rica

trazos gruesos representan las fases de desarrollo que darán lugar al pico principal de producción que ocurre entre setiembre y diciembre y las líneas delgadas representan las fases que determinan el pico de producción secundaria de abril-mayo. Para la estimación de la época y duración de cada una de las fases fenológicas se utilizaron datos de Trojer (50), Schroeder (47), Alvim (3, 4, 5), Soria\* y Esquivel\*.

Usando esa Figura, se puede saber cual es la fase fenológica más importante que está ocurriendo en cada uno de los períodos anteriores a la cosecha considerados y, al mismo tiempo, tener una idea aproximada de lo que sucede en esos períodos con los factores del clima. En esta forma, es posible detectar en qué época afecta más una variable al rendimiento del cultivo y si ese efecto está asociado positiva o negativamente con la producción.

---

\* Comunicación personal, IICA, Turrialba, Costa Rica, 1972.

## 5. DISCUSION

El hecho de no haberse detectado asociaciones importantes entre las variables climáticas y la producción, parece sugerir que, individualmente, ninguna de ellas puede explicar el fenómeno complejo de la producción de cacao. Cada una de las variables estudiadas, además de su acción directa, puede actuar modificando la acción de otras variables y, en algunos casos, puede inclusive hacer cambiar el sentido de la relación de alguna variable con la producción. Los valores estimados de correlación son en general bajos, por lo que no permiten llegar a conclusiones más definitivas. Estos resultados son semejantes a los obtenidos por Alvim (4), quien considera como significativas las relaciones anotadas. Sin embargo, la significación estadística de la asociación se debe exclusivamente al grado de libertad de  $r$ , pero a nuestro juicio, no tiene significancia práctica si se interpretan en términos de coeficientes de determinación  $r^2$ . Esto sugiere que sería poco recomendable el análisis de respuesta por medio de la técnica de correlación simple, ya que ello puede inducir a una interpretación inadecuada.

Una manera más útil de aprovechar los resultados obtenidos mediante este tipo de análisis, es interpretando los valores de  $r$  como intensidad y sentido del efecto de las variables sobre la producción. De esta forma, es posible seguir su transcurso a través del tiempo que precede a la cosecha y detectar los períodos en que esos efectos son más importantes.

Era de esperarse, de acuerdo con los resultados de algunos autores (23), que las variables combinadas, al sintetizar el efecto de diferentes factores climáticos dieran una mejor correlación. Sin embargo no dio el resultado esperado ya que ni las variables más complejas, como son las generadas mediante el balance hídrico del suelo, mostraron ser eficientes para explicar la variabilidad de la producción.

Esto puede deberse al hecho de que, dadas las altas precipitaciones, no se detectan deficiencias hídricas en los suelos estudiados y por tanto, este factor casi nunca es crítico por defecto. De acuerdo con los resultados obtenidos, tampoco los excesos hídricos llegan a ser críticos para la producción de las secciones en estudio, lo cual no concuerda con los resultados de García y Montoya (23) quienes encontraron una alta correlación de los excesos hídricos en la floración con la producción de cacao, bajo las condiciones de Turrialba, Costa Rica. Sin embargo, parece claro que, en el caso de La Lola, la precipitación predomina sobre todas las variables que intervienen en el cálculo del balance hídrico, como lo prueban los coeficientes de correlación entre la producción y los valores de P-ETP, calculada por dos fórmulas. Por otra parte, las correlaciones de las 3 variables generadas mediante el cálculo del balance hídrico (ETR, Deficiencias y excesos hídricos) con la producción, son prácticamente iguales para las tres capacidades de retención del suelo consideradas, lo cual indica que, dada la gran precipitación en la zona en estudio, el suelo se encuentra casi constantemente bajo condiciones de excesos hídricos, por lo que resulta ineficiente el balance hídrico, como una variable indicadora.

Este hecho sugiere que, para efectos de explicar los rendimientos en función de variables hídricas bajo las condiciones de La Lola, es igual utilizar una variable simple y de medición directa como es la precipitación, que una variable sintética como el balance hídrico del suelo. Dada la ineficacia de las variables agroclimáticas combinadas para explicar el fenómeno de la producción del cacao, se buscó la explicación mediante el estudio del efecto conjunto de las variables climáticas.

Como era de esperarse, el análisis conjunto de la acción de las variables climáticas conducen a una mejor explicación de la producción. Sin embargo, la asociación de esta acción conjunta con la producción tampoco es satisfactoria. Esta explicación poco satisfactoria del fenómeno de la producción a través de los factores climáticos estudiados, deja entrever que, en las condiciones estudiadas, estos factores climáticos no son los más críticos para definir la producción. Interpretando ésto con la Ley del Mínimo, de que la respuesta de las plantas está en función del factor más crítico, queda la alternativa de que realmente deben existir otros factores más determinantes de la producción bajo las condiciones de trabajo, como podrían ser algunos factores climáticos, bióticos o edáficos no considerados en este estudio.

Sin embargo, el estudio del transcurso periódico de la asociación conjunta de los factores climáticos con la producción, permite detectar los períodos que pueden considerarse como más críticos a juzgar por la mayor influencia conjunta de las variables climáticas sobre la producción. Una vez determinados esos períodos se puede determinar

la importancia relativa de cada uno de los factores climáticos manteniendo los demás constantes (análisis de regresión múltiple). Aún así, no se puede saber la relación de cada una de las variables con las demás y como modifica sus acciones. Este tipo de estudio de la relación causa-efecto se ve beneficiado por el análisis de los componentes de los efectos totales de cada variable (análisis de caminos).

Uno de los períodos detectados como críticos con base en el análisis de regresión múltiple, es el período 2 antes de la cosecha, en el cual, de acuerdo con el fenograma de la Figura 6, está ocurriendo el crecimiento y maduración de los frutos. La diferencia notable entre los efectos conjuntos de las variables climáticas sobre la producción de las parcelas sombreadas y no sombreadas, indican una importante influencia de la sombra en la respuesta de las plantas de cacao a los factores climáticos estudiados, dos meses antes de la cosecha. Esto, indudablemente, es lo que ha conducido a la disparidad encontrada en las relaciones entre las variables climáticas, tanto simples como combinadas, y la producción de las diferentes parcelas; sugiriendo así la división, en dos grupos de parcelas: sombreadas y no sombreadas, para los efectos de una interpretación más apropiada de la relación estímulo-respuesta.

De acuerdo con Murray (35), el efecto de los árboles de sombra sobre el ambiente del cacao es compleja. Además del efecto obvio de reducir la intensidad luminosa, la sombra reduce las temperaturas tanto del suelo como del aire y aumenta la humedad atmosférica. Puede afectar, además la competencia por agua y nutrimentos, lo cual puede

tener mayor importancia cuando se trata de plantaciones adultas. Este autor demuestra una interacción significativa entre la nutrición mineral del árbol y grado de sombra bajo la cual se cultiva y llega a la conclusión práctica de que, la sombra es útil para mantener el desarrollo de los árboles en suelos relativamente pobres, pero la producción será baja. En suelos fértiles se obtendrá una mayor producción sin sombra. Esto parece que está de acuerdo con los datos analizados en este estudio, ya que la producción media por período de las parcelas sin sombra es muy superior a la de las parcelas sombreadas.

Las correlaciones positivas de cierta importancia de la producción de las secciones sombreadas con los factores térmicos, 1 a 3 meses de la cosecha, así como relaciones negativas con la humedad relativa, se deben indudablemente a la presencia de la sombra, ya que, de acuerdo con lo indicado por Murray (35) en Trinidad, la pudrición de la mazorca causada por Phytophthora palmivora se vuelve más severa a medida que madura el fruto, particularmente si las lluvias son abundantes. Por otra parte, Lellis (31) informa que en Bahía se observa una alta influencia de la temperatura, siendo mayor la incidencia de la enfermedad a medida que baja la temperatura.

La humedad relativa elevada en las parcelas sombreadas, así como la temperatura más baja favorecen una alta incidencia de la enfermedad en la etapa en que los frutos son más susceptibles, bajando así, la producción. En esos períodos la correlación con la humedad relativa es negativa; es decir, que a medida que aumenta ésta, baja la producción. En cambio, la correlación con la temperatura supuestamente es más directa, es decir que bajan los rendimientos al bajar la

temperatura en los períodos cercanos a la madurez del fruto, aunque no se descarta la posibilidad de un efecto concomitante sobre otras variables. Los efectos netos (camino directos) más importantes en esos períodos en las parcelas sombreadas son la temperatura máxima y la humedad relativa, mientras que en las parcelas sin sombra es el de la insolación. Esto viene a corroborar la influencia que sobre las variables climáticas está ejerciendo la sombra. Una mayor insolación eleva las temperaturas y, al aumentar éstas, disminuye la humedad relativa del aire; como consecuencia de esto disminuyen las condiciones favorables para el ataque de hongos sobre los frutos en maduración. El efecto de la insolación es mayor en la sección 12 que en la 17, que tiene sombra, aunque mal distribuida, lo cual hace también que aumente el efecto conjunto de las variables.

Un período que, consistentemente, muestra asociación relativamente elevada de la acción conjunta de las variables climáticas con la producción, es el período 5 antes de la cosecha. Este período corresponde a la época de apertura de las flores que darán lugar al pico de producción que se está considerando. Es decir, que 5 períodos de 28 días antes de la cosecha obtenida entre octubre y diciembre, se presenta la floración de mayo-julio y al pico de cosecha de abril-mayo, corresponde la floración de noviembre-diciembre. Con relación a este aspecto, Alvim (4) informa haber encontrado, bajo las mismas condiciones del presente trabajo, correlaciones positivas altamente significativas ( $r = 0,519$ ) entre la temperatura media 5 meses antes de la cosecha y la producción. En el presente estudio se verifica esto, aunque la variable térmica que aparece como determinante de la producción es

la temperatura mínima. En las parcelas sombreadas, este período no manifiesta la acción de la temperatura mínima, sino que se presentan acciones más determinantes de la insolación y la precipitación.

Esta diferencia de las causas que aparentemente actúan sobre la floración bajo condiciones de sol y sombra, se aclaran al considerar los resultados del análisis de caminos. De acuerdo con éstos, los efectos directos de la insolación y la precipitación se anulan entre sí, mientras que sus efectos indirectos a través de las temperaturas mínima y máxima son más importantes y aumentan la asociación de esas variables. Es decir que, aparentemente, el efecto de la insolación y la precipitación es la de regular las temperaturas en las parcelas bajo sombra y es a través de ellas que manifiestan su influencia.

Con base en lo anterior, se puede insinuar que es la temperatura mínima el factor determinante de la producción cuando actúa en la época de floración. Esta aseveración puede considerarse como concordante con los resultados indicados por otros autores. Por ejemplo, Alvim (8) afirma que cuando las temperaturas medias son inferiores a 23°C, la floración se inhibe; Sale (41), a su vez encontró que la floración aumenta cuando la temperatura diurna es alta, siempre que la temperatura nocturna (temperatura mínima) no sea baja. La intensidad de la floración está directamente relacionada con la producción, según Alvim y colaboradores (11), por lo que podemos deducir que nuestros resultados, de que la temperatura mínima en el período de apertura de las flores influye sobre la producción, benéficamente al aumentar y viceversa, son correctos.

En los períodos 7-9 existe una relación simple negativa de las variables térmicas con la producción, aunque ese efecto se manifiesta con un retraso de un período en las parcelas sin sombra con respecto a las sombreadas. Las variables hídricas presentan correlaciones del mismo rango que las térmicas y también muestran un retraso de un período en su efecto. Este retraso puede deberse a los efectos térmicos que tiene la radiación solar. En las parcelas sin sombra las temperaturas son más elevadas y eso acelera los procesos fisiológicos de la planta. Este efecto de la temperatura, especialmente sobre la tasa de desarrollo del fruto, ha sido comprobada por Alvim (9, 11). Es de esperarse que los frutos de las parcelas sin sombra maduren más rápidamente; por lo tanto, el momento en que los frutos son más sensibles al efecto de los factores climáticos se presenta algún tiempo antes en estas parcelas que en las sombreadas.

Con los resultados de las relaciones simples es difícil llegar a una conclusión ya que todas las variables inciden con una relación negativa, excepto la insolación, con la producción de 7-9 períodos posteriores. Sin embargo, el análisis conjunto muestra efectivamente que en esos períodos el efecto de las variables es máximo, excepto para la parcela 17 que tiene sombra deficiente. El efecto conjunto de las variables es simultáneo y puede ser positivo o negativo, pero en su relación total esto no se ve.

El análisis de rutas directas indica que las variables más importantes en esos períodos son la temperatura máxima con una mayor influencia en las parcelas sin sombra y la precipitación en todas las

parcelas. Ambas variables tienen una relación negativa con la producción. Una influencia importante manifiesta también la humedad relativa, siendo mayor su relación negativa con la producción de las parcelas sombreadas, mientras que la insolación presenta una relación positiva de cierta importancia con la producción de la parcela a pleno sol.

Analizando en conjunto los efectos directos e indirectos de las variables, se establece que las variables determinantes de la producción de 7-9 períodos después de su incidencia son la temperatura máxima y la precipitación en el caso de las parcelas sin sombra. Estas variables, además su efecto directo, afectan la acción de la insolación produciendo entonces una correlación alta de esta variable.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en este lapso de 7-9 meses antes de la cosecha se detectan diferencias de respuesta a la acción de las variables en los diferentes períodos. Así, se observa una mayor influencia directa de la insolación sobre la producción de 7 meses posteriores. Esto parece concordar con lo reportado por Soria (48), quien encontró que la periodicidad de la intensidad de floración seguía de cerca la fluctuación bimodal del régimen de ingreso neto de energía solar considerada dos meses anteriores a la apertura de las flores. En este punto cabe hacer notar el gran paralelismo entre las curvas de insolación presentada en el fenograma de la Figura 6 y la curva de ingreso neto de energía solar para la latitud de la zona de estudio que presenta Soria en su trabajo. Parece lógico entonces interpretar el efecto de la insolación en función de la energía

solar recibida y su efecto directo principal, que ocurre 7 períodos anteriores a la cosecha, coincide con el efecto atribuido por Soria a la radiación recibida dos meses antes de la floración, época en la cual se está induciendo ésta.

De lo anterior se puede concluir que la insolación o, lo que es lo mismo, la radiación recibida, tiene una relación positiva con la producción que ocurrirá 7 meses después y que su efecto es debido a la influencia que tiene sobre la inducción de las yemas florales. Sin embargo no parece claro el modo de acción de la radiación sobre este fenómeno, ya que, como fuente de energía, la radiación solar tiene, además de sus efectos directos, efectos indirectos que determinan las fluctuaciones de otras variables como la temperatura, humedad relativa, etc.

De acuerdo con el fenograma, las principales épocas de brotación foliar ocurren 7-8 meses antes de cada pico de cosecha principal y, de acuerdo con Alvim (9, 11), parece probable que las hojas nuevas sean las productoras de las hormonas que inducen la brotación de las yemas florales. Esto podría explicar el efecto de la radiación (insolación) cuyo efecto directo es el de aumentar la actividad fotosintética de las hojas y acelerar la producción de hormonas, lo cual redundaría en la inducción de un mayor número de yemas florales y por tanto, en la formación de un mayor número de mazorcas que madurarán y darán lugar a un pico de producción 7-8 meses después.

En el caso de las parcelas sombreadas, la acción más importante es la de la precipitación y la humedad relativa mientras que la tempe

ratura máxima pierde su influencia, seguramente debido al efecto regulador de la sombra y la precipitación.

Los períodos 8-9 que han sido detectados también como críticos, parecen indicar que existe una gran competencia entre los diferentes procesos fisiológicos de la planta, pues de acuerdo con el fenograma, en esta etapa puede ocurrir brotación de ramas y maduración de frutos simultáneamente. Los investigadores Humphries (29) y Hardy (26) indican que la brotación, que ocurre en este período, es controlada por la temperatura máxima. Sin embargo otros autores atribuyen importancia a la precipitación y a la humedad relativa (33, 44, 45). Cabe señalar también que el desarrollo de los frutos es favorecido por temperaturas altas, lo cual puede explicar, en parte, la acción de la temperatura máxima en este período. El efecto positivo de la insolación en estos períodos puede interpretarse a través del ingreso neto de energía, el cual hace aumentar las temperaturas, mientras que la precipitación las hace disminuir y presenta por lo tanto efectos directos e indirectos que son negativos ya que favorecen la incidencia de enfermedades en esta etapa de maduración de los frutos.

Finalmente es menester recalcar que el análisis de rutas ayudó a interpretar más detalladamente el fenómeno de la producción y no queda duda que como instrumento fenométrico ofrece ventajas respecto a los métodos tradicionales de análisis de correlación simple de la producción con variables climáticas observadas o generadas, ya que permite detectar períodos críticos para la acción de cada variable y, lo que es más importante, encontrar la forma en que cada una de ellas

actúa, ya sea por sí mismas o a través de las demás.

Sin embargo debe hacerse notar también que dada la carencia de información fenológica y fisiológica, en este estudio, igual que en otros anteriores, se corre el peligro de interpretar los coeficientes de correlación como una relación causa-efecto cuando en realidad la relación puede ser de otra índole. A ésto se debe indudablemente la gran divergencia de conclusiones obtenidas con respecto a la influencia de los factores climáticos sobre las respuestas de la planta de cacao.

Se hace necesario pues, incrementar el estudio de las diversas fases fenológicas del cultivo así como de los procesos fisiológicos que dan lugar a cada una de esas fases.

## 6. CONCLUSIONES

1. Bajo las condiciones de este trabajo, las temperaturas máxima y mínima, humedad relativa, insolación y precipitación, así como las variables climáticas generadas a partir de ellos, no mostraron efectos determinantes sobre la producción de cacao. Se entrevee la posibilidad de una acción más determinante de otros factores ecológicos bióticos y edáficos.
2. El efecto de los factores climáticos estudiados sobre la producción, parece acentuarse en la época de floración que ocurre 5-6 meses antes de la cosecha. La floración es favorecida por temperaturas mínimas relativamente elevadas.
3. La inducción de la brotación de yemas florales está relacionada con la fluctuación de la insolación (horas de brillo solar) y por tanto con el ingreso neto de energía solar.
4. La maduración de los frutos es favorecida por la incidencia de temperaturas máximas elevadas y humedad relativa baja, especialmente cuando se presentan dos meses antes de la cosecha (períodos 2 y 9).
5. La acción de la insolación (radiación) y de la precipitación es más bien indirecta, regulando y modificando la acción de la temperatura y la humedad relativa. Las altas precipitaciones provocan condiciones de alta humedad relativa y bajas temperaturas que favorecen la incidencia de enfermedades fungosas de la mazorca.

6. El factor que más afecta la producción bajo estas condiciones es la presencia o ausencia de sombra, debido a su acción reguladora de la radiación. Existe la posibilidad de elevar los rendimientos mediante un manejo adecuado de la sombra.
  
7. Se sugiere la necesidad de estudios fenológicos y fisiológicos que proporcionan mayor información para la interpretación de este tipo de estudios.

## 7. RESUMEN

El presente trabajo se llevó a cabo en la Finca Experimental "La Lola", ubicada en la Zona Atlántica de Costa Rica. El objetivo de la investigación fue estudiar los efectos que ejercen algunos factores climáticos sobre la producción de cacao. Se utilizaron datos de producción acumulados en períodos de 4 semanas, durante 10 años y datos meteorológicos de temperaturas mínima y máxima, humedad relativa, insolación y precipitación, acumulados en los mismos períodos indicados.

El análisis de la información comprendió dos fases: la primera en que se estimaron las correlaciones simples de las variables climáticas individuales y combinadas con la producción; la estimación de los coeficientes se efectuó por período, es decir, correlación entre la producción y las variables climáticas del mismo mes, producción y factores climáticos del mes anterior y así sucesivamente hasta completar la correlación entre la producción con los factores climáticos de 11 meses antes de la cosecha. La otra consistió en un análisis del efecto conjunto de las variables climáticas sobre producción de cacao, por medio de análisis de regresión múltiple y análisis de rutas o caminos. Este último permite estimar los efectos directos e indirectos de cada variable.

Los coeficientes de correlación simple de las variables climáticas fueron en general bajos, aunque algunas de ellas fueron significativas debido al número elevado de grados de libertad. Sin embargo, la observación del transcurso periódico de esos coeficientes permite detectar algunos períodos críticos en los que los efectos de las variables

son más importantes, así como la respuesta diferencial de las parcelas con sombra y sin ella. Para explicar los rendimientos de cacao en función de variables hídricas, es preferible el uso de una variable simple y de medición directa como la precipitación al uso de una variable compleja como el balance hídrico del suelo, quizás esto se debe a que en las condiciones de "La Lola" la precipitación es muy alta.

El análisis de ruta y el fenograma detectan que los períodos críticos para la producción de cacao como función de variables climáticas, son: a) la época de inducción de la floración que ocurre aproximadamente 7 meses antes de la cosecha, b) la época de floración que se presenta 5 meses antes de la cosecha, y c) el período de maduración de los frutos, especialmente 2 meses antes de la cosecha. El factor que parece afectar más directamente la inducción de la floración es el suministro de energía, medida indirectamente aquí, por medio de la insolación, mientras que la intensidad de la floración se ve muy favorecida por las temperaturas mínimas moderadas que no bajan de un cierto límite. En cambio, las temperaturas elevadas acompañadas de una baja humedad relativa en la época de maduración de frutos favorecen y garantizan mejores cosechas.

El análisis de rutas permite interpretar más detalladamente las relaciones estímulo-respuesta, por lo que presenta ventajas sobre los métodos tradicionales de análisis de correlaciones, éstas ventajas hacen aconsejable el uso de este método de análisis como instrumento fenométrico.

#### 7a. SUMMARY

The present research was carried out at the Experimental Farm "La Lola" located in the Atlantic Zone of Costa Rica, to determine the effects of some climatic factors on cacao yields. For this purpose accumulated data of yields over every four weeks, during a ten year period were correlated with data on maximum and minimum temperatures, relative humidity, radiation and precipitation of the same indicated periods.

These data were analyzed in two phases: the first consisted of the estimate of simple correlations between individual and combined (complex) climatic variables with the obtained cacao production. These correlations were calculated for 12 periods, from 0 to 11, each period indicating approximately one month (4 weeks) before harvest. The second phase consisted of estimating the influence of the joint effects of the individual and complex climatic variables on the cacao production applying regression and path analysis techniques. Path analysis allows the estimating of direct and indirect effects of each climatic variable on the cacao yield.

In general, the coefficients of the simple correlation between yields and the climatic variables were low although some of them were statistically significant at the 5 per cent level, but this was merely caused by the great number of degrees of freedom associated with the variables. However, the trend of the coefficients of each of the periods, shows that some critical periods exist which affect the response variables more directly. Also a differential response on cacao

yields of shaded and unshaded plots exists and appears to be important. To describe the cacao yield as a function of hydric variables it seems to be better to employ precipitation instead of hydrological balance, this might be due to heavy rainfall occurring in this area.

The path analysis and the phenogram detected the following periods as being critical for cacao production: a) the time of flowering induction, which occurs 7 months before harvest, b) the time of flowering, which occurs 5 months before harvest, and c) the time of fruit maturation, which occurs 2 months before harvest. Energy supply, which was measured indirectly by radiation, seems to affect the induction of flowering. On the other hand the intensity of flowering is affected more by a moderate minimum temperature; high temperatures and a low relative humidity during fruit maturation apparently guarantees higher yields.

The method of path analysis allows better interpretation of the complex input-output relationship and therefore offers greater advantages than the traditional correlation analysis and its use is recommended as a very powerful phenometric technique.

7. LITERATURA CITADA

1. ALVIM, P. DE T. Some studies on cherelle wilt of cacao. *Turrialba* 4(2):72-78. 1954.
2. \_\_\_\_\_. Studies on the cause of cherelle wilt of cacao. *Turrialba* 4(2):72-78. 1954.
3. \_\_\_\_\_. La brotación o renovación de hojas en el cacao. *In* Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Servicios Técnicos de Café y Cacao. Manual del curso de cacao. Ed. prov. Turrialba, Costa Rica, 1957. pp. 133-136.
4. \_\_\_\_\_. Correlação entre chuva, temperatura e produção do cacau. *In* Conferencia Interamericana de Cacao, 6a, Salvador, Bahía, Brasil, 1956. Bahía, Instituto de Cacau, 1957. pp. 133-136.
5. \_\_\_\_\_. Factores que controlam os lançamentos do cacau. *In* Conferencia Interamericana de Cacao, 6a, Salvador, Bahía, Brasil, 1956. Bahía, Instituto de Cacau, 1957. pp. 117-125.
6. \_\_\_\_\_. Ecología del cacao; curso de Cacao. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1958. 11 p. (mimeo).
7. \_\_\_\_\_. Water requirements of cacao; paper presented at the first FAO Technical Cacao Meeting, Accra, Ghana, Feb., 1959, Lima, Perú, IICA, Zona Andina, s.f. 16 p.
8. \_\_\_\_\_. Factors affecting flowering of the cacao tree. *Cacao Grower's Bulletin* nº 7:15-19. 1966.
9. \_\_\_\_\_. Eco physiology of the cacao tree. *In* Conference Internationale sur les Recherches Agronomiques Cacaoyeres. Abidjan, Nov., 15-20, 1965. París, 1967. pp. 23-25.
10. \_\_\_\_\_, MACHADO, A. D. y GRANGIER Jr., A. Alguns estudos sobre as relações de água, solo e crescimento. *In* Conferencia Internacional de Pesquisas em Cacau, 2a., Salvador e Itabuna, Bahía, Novembro 19-26. 1967. Memórias. Bahía, Centro de Pesquisas do Cacau, 1969. pp. 316-326.
11. \_\_\_\_\_, MACHADO, A. D. y VELLO, F. Physiological responses of cacao to environmental factors. *In* International Cocoa Research Conference, Trinidad y Tobago, 1972. s.n.t. 17 p. (mimeo).
12. \_\_\_\_\_ et al. Periodicidade do crescimento e da floração do cacau nas condições da Bahía. *In* Itabuna, Bahía, Brasil, CEPLAC. Informe Anual. 1965. pp. 21-22.

13. BAKER, R. E. D. Black pod disease in Trinidad. In Cocoa, Chocolate and Confectionary Alliance, Ltd. Report on the Cocoa Conference, 1953. pp. 115-116.
14. BAZAN S., R. Soil survey of La Lola cacao farm. Mag. Sci. thesis. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 127 p.
15. BOYER, J. Influence des régimes hydriques radiatif et thermique du climate sur l'activite végétative et la floraison de cacaoyers cultivés au Cameroun. Cacao, Café, Thé 14: 189-201. 1970.
16. BRAUDEAU, J. Le cacaoyer. Paris, Maisonneuve e Larose, 1969. pp. 47-65.
17. BURGOS, J. J. y REYES, E. H. Tipos agroclimáticos mundiales del cacaotero (Theobroma cacao L.). Agronomía Tropical (Venezuela) 15(1-4):169-191. 1965.
18. CHESSMAN, E. E. Notes on the nomenclature, classifications and possible relationships of cacao populations. Tropical Agriculture (Trinidad) 21(8):154-159. 1944.
19. ERNEHOLM, I. Cacao production of South America, historical development and present geographical distribution. Gothemburg, Sweden, 1948. 279 p.
20. FENNAH, R. G. An analysis of yield variation in a sample of cacao trees. In Imperial College of Tropical Agriculture. A report on cacao research, 1955-56. St. Augustine, 1957. pp. 9-20.
21. FLOR, J. A. Prueba de fertilidad de cuatro tipos de suelo de la Finca Experimental La Lola. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 123-126.
22. GARCIA B., J. y LOPEZ D., J. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15°N-15°S). Agronomía Tropical (Venezuela) 20(5):335-345. 1970.
23. \_\_\_\_\_ y MONTOYA, J. M. Relación entre la magnitud de excesos hídricos y la producción de cacao (Theobroma cacao), en Turrialba, Costa Rica. Turrialba, IICA, 1972. 12 p. (mimeo).
24. GREATHOUSE, D. C., LAETSCH, W. M. y PHINNEY, B. O. The shoot growth rhythm of a tropical tree, Theobroma cacao. American Journal of Botany 58:221-286. 1971.

25. GREENWOOD, M. y POSNETTE, A. F. The growth flushes of cocoa. *Journal of Horticultural Sciences* 25(3):164.174. 1950.
26. HARDY, F., ed. *Manual de cacao*. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 439 p.
27. \_\_\_\_\_ y MACHADO, M. Soil survey of La Lola cacao farm. Preliminary report. Turrialba, Costa Rica, Inter-American Institute of Agricultural Sciences, 1961. 34 p.
28. HOLDRIDGE, R. L. Simple method for determining potential evapotranspiration from temperatura data. *Science* 130:572. 1959.
29. HUMPHRIES, E. C. A consideration of the factors controlling the opening of buds in the cacao tree (*Theobroma cacao*). *Annals of Botany (n.s.)* 8(30-31):259-267. 1944.
30. \_\_\_\_\_. Studies in the physiology of *Theobroma cacao*, with special reference to cherelle wilt. *In* Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research 9: 33-51. 1939; 10:12-22. 1940; 11:23-27. 1941-1943.
31. LELLIS, W. T. A temperatura como fator limitante da 'podridão parda' dos frutos do cacauero. Salvador, Brasil, Instituto de Cacau da Bahia, Departamento Técnico Agrícola, 1952. 6 p.
32. LI, C. C. *Population genetics*. Chicago, University of Chicago Press, 1965. 366 p.
33. McDONALD, J. A. An environmental study of the cacao tree. *In* Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research 1:29-38. 1932.
34. McKELVIE, A. D. Cherelle wilt of cacao. I. Pod development and its relation to wilt. *Journal of Experimental Botany* 7: 252-263. 1956.
35. MURRAY, D. B. The use of shade for cacao; materiales de enseñanza para el curso de cacao. s.n.t. 8 p. (mimeo).
36. \_\_\_\_\_. Cacao nutrition. *In* Childers, N. F., ed. *Nutrition of fruits crops, temperate, sub-tropical, tropical*. 2nd. ed. Rutgers, New Jersey, The State University, 1966. pp. 229-251.
37. \_\_\_\_\_ y SPURLING, A. T. Effect of temperature on growth. *In* Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research, 1963. St. Augustine, 1964. pp. 42-47.

38. NASCIMENTO, I. F. y ALVIM, P. DE T. Ciclo entre la polinizaçãõ e a maturaçãõ do fruto em cacauero. In Itabuna, Bahía, Brasil. Centro de Pesquisas do cacau. Repertorio Anual. 1964. Imprensa oficial, 1965. p. 23.
39. NOSTI, J. Cacao, café y té. Barcelona, Salvat, 1953. 687 p.
40. PAPADAKIS, J. Climates of the world and their agricultural potentialities. Buenos Aires, 1966. 170 p.
41. SALE, P. J. M. Effect of temperature on growth. In Imperial College of Tropical Agriculture. Annual report on cacao research, 1966. St. Augustine, Trinidad, 1967.
42. \_\_\_\_\_. Flushing and leaf growth under controlled conditions. Journal of Agricultural Sciences 43:475-489. 1968.
43. \_\_\_\_\_. Flowering of cocoa under controlled temperature conditions. Journal of Horticultural Sciences 44:163-173. 1969.
44. \_\_\_\_\_. Growth and flowering of cocoa under controlled atmospheric relative humidities. Journal of Horticultural Sciences 45:119-132. 1970.
45. \_\_\_\_\_. Growth flowering and fruiting of cocoa under controlled soil moisture conditions. Journal of Horticultural Sciences 45:99-118. 1970.
46. SANDS, F. B. Root studies. In Bazán S., R. Soil survey of La Lola cacao farm. Mag. Sci. thesis. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. pp. 123-126.
47. SCHOREDER, C. A. Observations on the growth of cacao fruit. In Conferencia Interamericana de Cacao, 7a, Palmira, Colombia, Junio 13-19, 1958. Bogotá, Colombia, Ministerio de Agricultura, 1959. pp. 381-394.
48. SORIA V., J. et al. Finca La Lola. Cacao (Costa Rica) 8(2): 1-40. 1963.
49. THORNTHWAITE, C. W. y MATHER, J. R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in climatology. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Centerton, New Jersey 10(3): 1957. 331 p.
50. TROJER, H. El clima y el desarrollo de la produccióõ de cacao en la finca "La Lola". Cacao (Costa Rica) 13(4):1-9. 1968.
51. \_\_\_\_\_, H. y MONTOYA, J. M. Trópicos húmedos: una definicióõ. Preparado para el seminario sobre Trópicos Húmedos del Istmo Centroamericano. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 3 p.

52. URQUHART, D. H. Cacao. Versión española de Juvenal Valerio. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1963. 322 p.
53. VOELCKNER, O. J. y COPE, F. W. Some factors controlling the yield of young cacao. I-III. In Imperial College of Tropical Agriculture. Annual Report on Cacao Research 7:14-18. 1938; 8:4-15. 1939; 9:6-12. 1940.

A P E N D I C E

CUADRO 1. PRODUCCION ACUMULADA EN PERIODOS DE 28 DIAS EN 5 SECCIONES DE LA FINCA LA LOLA

SECCION 12	SECCION 17	SECCION 21	SECCION 25	SECCION 27	FECHA
61.48	52.07	52.08	36.68	39.26	27 1 61
166.41	43.40	54.26	52.07	42.27	24 2 61
98.00	91.36	134.58	95.50	90.63	24 3 61
155.57	132.41	128.07	160.54	108.75	21 4 61
271.35	221.43	201.88	223.60	175.25	19 5 61
72.34	93.52	167.14	186.67	160.41	16 6 61
47.01	39.05	88.97	88.98	109.04	14 7 61
75.97	26.03	34.71	43.39	30.19	11 8 61
583.85	210.56	117.21	271.35	290.09	8 9 61
198.98	95.49	71.61	230.11	196.39	6 10 61
307.53	132.42	93.33	110.70	123.88	3 11 61
86.81	52.07	58.53	54.25	57.38	1 12 61
94.05	30.37	34.71	41.22	42.28	29 12 61
86.82	28.20	34.71	26.03	48.31	26 1 62
115.75	52.07	52.07	43.40	60.41	23 2 62
206.24	112.88	88.99	119.37	81.55	23 3 62
217.07	71.61	88.98	75.95	105.75	20 4 62
253.27	217.08	95.50	115.03	166.18	18 5 62
86.83	60.75	86.80	73.80	99.69	15 6 62
133.86	102.00	112.86	134.59	163.17	13 7 62
126.62	115.03	125.89	151.95	154.10	10 8 62
61.50	73.78	45.56	97.66	54.37	7 9 62
738.14	186.69	256.16	579.66	380.75	5 10 62
405.24	178.00	227.94	301.75	220.58	2 11 62
492.07	397.28	221.42	386.42	362.61	30 11 62
155.57	112.86	88.98	54.25	54.36	28 12 62
108.52	130.22	15.18	17.35	18.11	25 1 63
104.91	73.78	15.18	13.01	15.10	22 2 63
101.29	49.90	19.52	43.39	27.18	22 3 63
119.38	45.56	28.20	43.39	27.18	19 4 63
75.97	49.87	41.23	36.88	48.31	17 5 63
47.01	36.88	26.03	30.37	30.20	14 6 63
32.54	19.52	26.03	21.69	27.17	10 7 63
28.91	21.69	26.20	17.35	15.10	7 8 63
75.97	43.40	36.88	34.72	36.23	5 9 63
144.70	82.47	75.96	71.61	57.39	4 10 63
347.34	158.45	136.76	288.72	217.55	1 11 63
387.15	429.84	364.71	390.76	302.17	29 11 63
170.03	117.20	99.84	126.06	78.35	27 12 63
126.62	75.95	58.58	112.87	72.50	24 1 64
133.85	71.62	49.90	65.09	54.36	21 2 64

CUADRO 2. VARIABLES CLIMATICAS SIMPLES OBSERVADAS Y GENERADAS EN PERIODOS DE 28 DIAS EN LA FINCA LA LOLA

PRECIP. PROM.	TEMP. MINIMA	TEMP. MAXIMA	HUMEDAD RELAT.	INSOLACION	PRECIP. TOTAL	TEMP. MEDIA	OSCIL. TERMICA	TEMP. SUP. 15°C	FECHA
11.23	21.57	30.24	70.46	4.15	314.69	25.90	8.66	426.79	16 7 60
12.18	20.72	29.96	66.03	3.78	341.09	25.34	9.24	418.99	13 8 60
10.62	21.44	31.14	75.83	6.10	297.39	26.29	9.69	452.09	10 9 60
2.33	21.17	31.17	89.64	5.00	65.29	26.17	10.00	452.99	8 10 60
4.80	21.17	30.37	87.10	2.92	134.49	25.77	9.19	430.39	5 11 60
8.99	21.18	29.71	91.77	4.66	242.89	25.45	8.52	397.29	2 12 60
16.64	20.17	28.71	89.51	4.68	466.09	24.44	8.54	384.09	30 12 60
5.94	19.44	29.36	86.00	5.46	166.50	24.40	9.91	402.09	27 1 61
3.48	19.09	29.60	81.71	6.98	97.49	24.35	10.51	408.99	24 2 61
8.09	19.89	29.62	83.57	5.06	226.79	24.75	9.72	409.39	24 3 61
0.51	20.78	30.94	82.82	5.57	14.39	25.86	10.16	446.39	21 4 61
4.83	21.14	30.37	84.57	4.44	135.29	25.75	9.23	430.49	19 5 61
15.63	21.80	29.70	90.35	2.52	437.79	25.75	7.89	411.79	16 6 61
24.51	20.34	29.44	86.39	2.82	686.49	24.89	9.10	404.59	14 7 61
13.18	20.02	29.49	89.96	3.44	369.29	24.75	9.46	405.79	11 8 61
2.67	20.47	30.90	85.50	5.30	74.79	25.69	10.42	443.39	8 9 61
8.71	19.33	30.41	89.17	5.31	243.99	24.87	11.08	431.69	6 10 61
11.78	20.13	30.65	84.71	5.15	329.89	25.39	10.52	438.29	3 11 61
13.50	20.60	29.81	90.78	5.29	378.09	25.20	9.20	414.70	1 12 61
14.57	20.18	29.51	87.99	5.11	408.19	24.84	9.32	406.29	29 12 61
11.58	19.17	29.23	58.17	5.52	324.39	24.20	10.05	398.49	26 1 62
2.89	19.29	29.19	59.60	4.59	81.09	24.24	9.90	397.59	23 2 62
2.44	20.31	29.27	61.73	4.82	68.59	24.79	8.96	399.59	23 3 62
5.44	20.42	29.99	67.05	5.32	152.59	25.21	9.57	419.99	20 4 62
3.79	20.55	30.78	84.55	5.07	106.39	25.66	10.23	441.99	18 5 62
8.59	21.57	30.62	81.47	3.72	240.59	26.09	9.05	437.49	15 6 62
11.04	21.17	30.14	68.53	4.11	309.29	25.66	8.97	424.19	13 7 62
12.72	21.37	30.20	54.42	3.92	356.39	25.79	8.83	425.79	10 8 62
6.59	20.79	30.90	76.14	5.07	184.79	25.84	10.10	445.29	7 9 62
6.13	20.99	31.36	51.78	5.50	171.69	26.18	10.36	458.09	5 10 62
10.66	20.69	30.31	83.19	4.68	298.49	25.50	9.61	428.69	2 11 62
34.14	20.64	28.35	92.21	3.48	956.19	24.49	7.71	373.89	30 11 62
27.02	20.20	27.26	93.03	2.56	756.59	23.73	7.05	343.39	28 12 62
6.98	19.54	29.12	95.64	4.81	195.59	24.33	9.57	395.49	25 1 63
7.84	20.28	27.79	81.75	4.56	219.79	24.04	7.51	358.39	22 2 63
9.77	20.06	27.94	90.50	3.93	273.59	24.00	7.88	362.59	22 3 63
8.38	19.99	28.70	81.60	4.98	234.85	24.35	8.70	383.79	19 4 63
15.44	19.40	26.74	84.73	5.19	432.49	23.07	7.34	358.79	17 5 63
11.54	20.85	29.75	90.50	2.86	323.19	25.30	8.89	413.09	14 6 63

CUADRO 2. VARIABLES CLIMATICAS SIMPLES OBSERVADAS Y GENERADAS EN PERIODOS DE 28 DIAS EN LA FINCA LA LOLA

PRECIP. PROM.	TEMP.		HUMEDAD RELAT.	INSOLACION	PRECIP. TOTAL	TEMP. MEDIA	OSCIL. TERMICA	TEMP. SUP. 15°C	FECHA
	MINIMA	MAXIMA							
9.42	21.05	30.06	95.92	5.29	263.99	25.56	9.00	421.80	29 8 66
4.67	20.95	29.46	93.28	4.48	130.79	25.21	8.50	405.00	26 9 66
8.27	20.59	30.16	93.07	6.16	231.59	25.37	9.56	424.50	24 10 66
11.09	20.67	27.90	96.64	3.82	310.75	24.28	7.22	361.30	21 11 66
19.87	20.36	26.06	96.25	2.27	556.59	23.21	5.69	309.90	19 12 66
23.69	19.91	27.47	95.53	4.29	663.59	23.69	7.56	349.40	16 1 67
7.79	19.61	28.03	93.21	5.71	218.39	23.82	8.42	365.09	13 2 67
4.48	19.89	28.41	91.61	5.42	125.49	24.15	8.51	375.50	13 3 67
5.67	19.18	28.17	87.00	5.49	158.79	23.67	8.98	368.80	10 4 67
11.61	20.46	28.40	93.53	4.41	325.09	24.43	7.93	375.29	8 5 67
16.81	21.50	28.64	91.78	3.46	470.89	25.07	7.14	382.00	5 6 67
16.11	21.28	29.15	89.52	4.57	402.99	25.22	7.87	354.00	30 6 67
11.74	21.23	27.95	93.60	3.12	328.99	24.59	6.71	362.69	28 7 67
10.66	21.64	28.92	89.73	4.56	298.59	25.28	7.27	389.79	25 8 67
5.48	21.18	29.22	96.27	4.40	153.69	25.20	8.03	398.29	22 9 67
7.71	20.60	30.56	96.10	5.28	215.99	25.58	9.95	435.69	20 10 67
8.72	20.79	29.03	95.25	4.50	244.19	24.91	8.23	392.99	17 11 67
6.94	18.93	29.70	88.61	5.73	194.39	24.32	7.77	369.69	15 12 67
2.42	18.82	30.02	86.70	6.03	67.89	24.42	10.77	411.79	7 2 69
4.08	20.41	30.23	87.55	4.17	114.39	24.42	11.20	420.69	7 3 69
2.66	20.52	31.58	85.57	6.64	74.69	25.32	9.82	426.69	4 4 69
2.68	21.43	32.27	85.95	6.50	75.19	26.05	11.06	464.49	2 5 69
8.71	22.14	32.18	88.24	5.34	243.89	26.85	10.83	483.59	30 5 69
12.77	21.70	29.71	92.67	2.18	357.69	27.16	10.03	481.29	27 6 69
6.16	21.11	30.83	89.34	4.91	172.59	25.97	8.01	411.99	25 7 69
9.65	21.16	30.50	90.77	4.28	270.29	25.83	9.71	443.29	22 8 69
9.03	21.02	31.18	91.11	4.55	252.99	26.10	9.34	434.09	19 9 69
5.48	20.89	30.00	91.24	4.80	153.59	25.44	9.11	453.29	17 10 69
25.03	21.24	28.04	93.82	3.08	701.09	24.64	6.79	420.19	14 11 69
37.11	21.04	28.60	92.52	2.86	1039.29	24.82	7.56	365.29	12 12 69
13.01	20.10	29.11	89.14	5.05	364.49	24.61	9.00	380.99	9 1 70
16.64	19.77	28.91	90.28	3.57	465.99	24.34	9.13	395.19	6 2 70
8.78	21.32	29.67	89.93	3.76	246.09	25.49	8.35	389.59	6 3 70
23.69	21.86	30.07	90.31	4.92	663.39	25.96	8.21	410.89	3 4 70
11.02	21.54	30.36	90.54	4.04	308.59	25.95	8.81	422.09	1 5 70
5.79	22.31	31.08	90.12	4.43	162.39	26.70	8.77	430.19	29 5 70
4.81	21.66	30.70	90.37	3.84	134.89	26.18	9.04	450.49	26 6 70
5.26	20.75	30.92	89.93	4.75	152.59	25.83	10.16	439.79	24 7 70
8.98	21.03	30.84	90.44	4.51	251.69	25.93	9.80	461.69	22 8 70
2.98	20.60	31.46	88.64	5.59	83.49	26.03	10.86	443.59	19 9 70
								461.09	17 10 70



BALANCE HIDRICO DEL SUELO PARA 3 CAPACIDADES DE RETENCION DE HUMEDAD EN LA FINCA LA LOLA  
ETP CALCULADA CON LA FORMULA DE GARCIA Y LOPEZ

E T P	C.R.=200MM, SEC. 17 Y 21			C.R.=300MM, SEC. 21 Y 25			C.R.=400MM, SEC. 27			F E C H A	
	P-E T P	E T R	D E F	E X C	E T R	D E F	E X C	E T R	D E F		E X C
155.99	159.0	155.0	0.0	122.0	155.0	0.0	121.0	155.0	0.0	159.0	16 7 60
158.45	183.0	158.0	0.0	183.0	158.0	0.0	183.0	158.0	0.0	183.0	13 6 60
149.63	148.0	149.0	0.0	148.0	149.0	0.0	148.0	149.0	0.0	148.0	10 9 60
122.35	-57.0	115.0	7.0	0.0	117.0	5.0	0.0	118.0	4.0	0.0	8 10 60
123.92	11.0	123.0	0.0	0.0	123.0	0.0	0.0	123.0	0.0	0.0	5 11 60
112.88	130.0	112.0	0.0	91.0	112.0	0.0	89.0	112.0	0.0	88.0	2 12 60
109.18	357.0	109.0	0.0	357.0	109.0	0.0	357.0	109.0	0.0	357.0	30 12 60
114.86	52.0	114.0	0.0	52.0	114.0	0.0	52.0	114.0	0.0	52.0	27 1 61
121.74	-24.0	120.0	1.0	0.0	120.0	1.0	0.0	121.0	0.0	0.0	24 2 61
121.90	105.0	121.0	0.0	82.0	121.0	0.0	82.0	121.0	0.0	81.0	24 3 61
132.61	-118.0	104.0	28.0	0.6	112.0	20.0	0.0	117.0	15.0	0.0	21 4 61
128.44	7.0	128.0	0.0	0.0	128.0	0.0	0.0	128.0	0.0	0.0	19 5 61
117.76	320.0	117.0	0.0	237.0	117.0	0.0	229.0	117.0	0.0	224.0	16 6 61
118.12	568.0	118.0	0.0	568.0	118.0	0.0	568.0	118.0	0.0	568.0	14 7 61
110.78	259.0	110.0	0.0	259.0	110.0	0.0	259.0	110.0	0.0	259.0	11 8 61
126.22	-52.0	121.0	5.0	0.0	122.0	4.0	0.0	123.0	3.0	0.0	8 9 61
113.08	130.0	113.0	0.0	83.0	113.0	0.0	82.0	113.0	0.0	81.0	6 10 61
125.19	204.0	125.0	0.0	204.0	125.0	0.0	204.0	125.0	0.0	204.0	3 11 61
112.77	266.0	112.0	0.0	266.0	112.0	0.0	266.0	112.0	0.0	266.0	1 12 61
114.92	294.0	114.0	0.0	294.0	114.0	0.0	294.0	114.0	0.0	294.0	29 12 61
160.12	164.0	160.0	0.0	164.0	160.0	0.0	164.0	160.0	0.0	164.0	26 1 62
158.13	-77.0	146.0	12.0	0.0	149.0	9.0	0.0	152.0	6.0	0.0	23 2 62
160.33	-92.0	118.0	42.0	0.0	130.0	30.0	0.0	136.0	24.0	0.0	23 3 62
155.29	-3.0	153.0	2.0	0.0	154.0	1.0	0.0	153.0	2.0	0.0	20 4 62
127.72	-21.0	115.0	12.0	0.0	117.0	10.0	0.0	120.0	7.0	0.0	18 5 62
137.12	103.0	137.0	0.0	0.0	137.0	0.0	0.0	137.0	0.0	0.0	15 6 62
157.16	152.0	157.0	0.0	130.0	157.0	0.0	112.0	157.0	0.0	101.0	13 7 62
184.59	172.0	184.0	0.0	172.0	184.0	0.0	172.0	184.0	0.0	172.0	10 8 62
144.84	40.0	144.0	0.0	40.0	144.0	0.0	40.0	144.0	0.0	40.0	7 9 62
194.17	-23.0	193.0	1.0	0.0	193.0	1.0	0.0	194.0	0.0	0.0	5 10 62
128.87	170.0	128.0	0.0	148.0	128.0	0.0	148.0	128.0	0.0	147.0	2 11 62
104.94	652.0	104.0	0.0	852.0	104.0	0.0	852.0	104.0	0.0	852.0	30 11 62
98.00	658.0	98.0	0.0	658.0	98.0	0.0	658.0	98.0	0.0	658.0	28 12 62
97.93	98.0	97.0	0.0	98.0	97.0	0.0	98.0	97.0	0.0	98.0	25 1 63
119.06	100.0	119.0	0.0	100.0	119.0	0.0	100.0	119.0	0.0	100.0	22 2 63
104.17	169.0	104.0	0.0	169.0	104.0	0.0	169.0	104.0	0.0	169.0	22 3 63
121.93	113.0	121.0	0.0	113.0	121.0	0.0	113.0	121.0	0.0	113.0	19 4 63
106.28	326.0	106.0	0.0	326.0	106.0	0.0	326.0	106.0	0.0	326.0	17 5 63
114.03	209.0	114.0	0.0	209.0	114.0	0.0	209.0	114.0	0.0	209.0	14 6 63
125.87	101.0	125.0	0.0	101.0	125.0	0.0	101.0	125.0	0.0	101.0	10 7 63
98.50	117.0	98.0	0.0	117.0	98.0	0.0	117.0	98.0	0.0	117.0	7 8 63
106.80	51.0	106.0	0.0	51.0	106.0	0.0	51.0	106.0	0.0	51.0	5 9 63
116.29	-0.0	116.0	0.0	0.0	116.0	0.0	0.0	116.0	0.0	0.0	4 10 63
109.96	167.0	109.0	0.0	161.0	109.0	0.0	161.0	109.0	0.0	161.0	1 11 63
101.84	278.0	101.0	0.0	278.0	101.0	0.0	278.0	101.0	0.0	278.0	29 11 63
103.96	424.0	103.0	0.0	424.0	103.0	0.0	424.0	103.0	0.0	424.0	27 12 63
99.89	280.0	99.0	0.0	280.0	99.0	0.0	280.0	99.0	0.0	280.0	24 1 64
97.39	-74.0	85.0	12.0	0.0	89.0	8.0	0.0	91.0	6.0	0.0	21 2 64
110.46	39.0	110.0	0.0	0.0	110.0	0.0	0.0	110.0	0.0	0.0	20 3 64
102.65	-18.0	100.0	2.0	0.0	101.0	1.0	0.0	100.0	2.0	0.0	17 4 64

C.R.=200MM. SEC. 17 Y 21		C.R.=300MM. SEC. 21 Y 25		C.R.=400MM. SEC. 27		F E C H A	
E T P	E T R	D E F	E X C	E T R	D E F	E X C	E T R
103.62	124.0	0.0	85.0	103.0	0.0	80.0	103.0
109.97	115.0	0.0	115.0	109.0	0.0	115.0	109.0
110.11	110.0	0.0	175.0	110.0	0.0	175.0	110.0
103.68	136.0	0.0	136.0	103.0	0.0	136.0	103.0
109.02	119.0	0.0	119.0	109.0	0.0	119.0	109.0
101.55	101.0	0.0	34.0	101.0	0.0	34.0	101.0
98.58	254.0	0.0	254.0	98.0	0.0	254.0	98.0
95.66	104.0	0.0	104.0	95.0	0.0	104.0	95.0
88.93	248.0	0.0	248.0	88.0	0.0	248.0	88.0
83.79	500.0	0.0	500.0	83.0	0.0	500.0	83.0
90.26	52.0	0.0	52.0	90.0	0.0	52.0	90.0
90.92	372.0	0.0	372.0	90.0	0.0	372.0	90.0
95.46	13.0	0.0	13.0	95.0	0.0	13.0	95.0
100.18	77.0	0.0	77.0	100.0	0.0	77.0	100.0
114.44	450.0	0.0	450.0	114.0	0.0	450.0	114.0
105.72	141.0	0.0	141.0	105.0	0.0	141.0	105.0
106.72	557.0	0.0	557.0	106.0	0.0	557.0	106.0
99.48	272.0	0.0	272.0	99.0	0.0	272.0	99.0
110.82	52.0	0.0	52.0	110.0	0.0	52.0	110.0
108.99	169.0	0.0	169.0	108.0	0.0	169.0	108.0
99.56	215.0	0.0	215.0	99.0	0.0	215.0	99.0
95.00	609.0	0.0	609.0	95.0	0.0	609.0	95.0
105.82	321.0	0.0	321.0	105.0	0.0	321.0	105.0
94.90	415.0	0.0	415.0	94.0	0.0	415.0	94.0
103.77	95.0	0.0	95.0	103.0	0.0	95.0	103.0
105.15	62.0	0.0	62.0	105.0	0.0	62.0	105.0
103.94	470.0	0.0	470.0	103.0	0.0	470.0	103.0
108.30	106.0	0.0	106.0	108.0	0.0	106.0	108.0
110.24	29.0	0.0	29.0	110.0	0.0	29.0	110.0
103.46	140.0	0.0	140.0	103.0	0.0	140.0	103.0
106.12	157.0	0.0	157.0	106.0	0.0	157.0	106.0
108.37	22.0	0.0	22.0	108.0	0.0	22.0	108.0
109.93	122.0	0.0	122.0	109.0	0.0	122.0	109.0
95.89	215.0	0.0	215.0	95.0	0.0	215.0	95.0
89.12	467.0	0.0	467.0	89.0	0.0	467.0	89.0
93.62	570.0	0.0	570.0	93.0	0.0	570.0	93.0
98.35	120.0	0.0	120.0	98.0	0.0	120.0	98.0
103.43	22.0	0.0	22.0	103.0	0.0	22.0	103.0
107.39	51.0	0.0	51.0	107.0	0.0	51.0	107.0
102.24	223.0	0.0	223.0	102.0	0.0	223.0	102.0
110.01	360.0	0.0	360.0	110.0	0.0	360.0	110.0
115.18	287.0	0.0	287.0	115.0	0.0	287.0	115.0
103.28	225.0	0.0	225.0	103.0	0.0	225.0	103.0
115.26	183.0	0.0	183.0	115.0	0.0	183.0	115.0
102.95	51.0	0.0	51.0	102.0	0.0	51.0	102.0
105.94	110.0	0.0	110.0	105.0	0.0	110.0	105.0
102.71	142.0	0.0	142.0	102.0	0.0	142.0	102.0
124.81	391.0	0.0	391.0	124.0	0.0	391.0	124.0
132.96	111.0	0.0	111.0	132.0	0.0	111.0	132.0
113.10	244.0	0.0	244.0	113.0	0.0	244.0	113.0
121.35	51.0	0.0	51.0	121.0	0.0	51.0	121.0
117.60	153.0	0.0	153.0	117.0	0.0	153.0	117.0
119.03	133.0	0.0	133.0	119.0	0.0	133.0	119.0
113.76	40.0	0.0	40.0	113.0	0.0	40.0	113.0
103.27	598.0	0.0	598.0	103.0	0.0	598.0	103.0
106.84	933.0	0.0	933.0	106.0	0.0	933.0	106.0
111.12	253.0	0.0	253.0	111.0	0.0	253.0	111.0
107.11	358.0	0.0	358.0	107.0	0.0	358.0	107.0
116.52	130.0	0.0	130.0	116.0	0.0	130.0	116.0
119.46	544.0	0.0	544.0	119.0	0.0	544.0	119.0
118.95	190.0	0.0	190.0	118.0	0.0	190.0	118.0
125.57	37.0	0.0	37.0	125.0	0.0	37.0	125.0
121.04	13.0	0.0	13.0	121.0	0.0	13.0	121.0
119.16	33.0	0.0	33.0	119.0	0.0	33.0	119.0
113.90	133.0	0.0	133.0	113.0	0.0	133.0	113.0
123.13	40.0	0.0	40.0	123.0	0.0	40.0	123.0





CUADRO 8. COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LA PRODUCCION Y LAS VARIABLES SIMTETICAS DESDE O HASTA 11 PERIODOS ANTERIORES A LA COSACHA (ETP CALCULADA POR LA FORMULA DE PAPADAKYS)

ETP	P-ETP	ETR	DEF.	EXC.	ETR.	DEF.	EXC.	ETR.	DEF.	EXC.	PERIODO PARCELA
0.072	-0.014	0.062	0.036	-0.007	0.066	0.027	-0.006	0.066	0.039	0.002	1
0.123	-0.161	0.118	0.031	-0.160	0.120	0.030	-0.159	0.121	0.025	-0.157	1
0.106	-0.090	0.114	-0.021	-0.083	0.112	-0.025	-0.082	0.111	-0.025	-0.083	2
0.093	-0.031	0.031	-0.111	-0.070	0.023	-0.110	-0.070	0.019	-0.116	-0.071	3
0.015	-0.020	0.055	-0.135	-0.036	0.045	-0.136	-0.037	0.040	-0.143	-0.043	4
0.125	-0.155	0.086	0.178	-0.150	0.101	0.172	-0.151	0.106	-0.159	-0.149	5
0.124	-0.148	0.086	0.176	-0.148	0.101	0.170	-0.149	0.106	-0.164	-0.149	5
0.115	-0.153	0.128	0.078	-0.169	0.125	-0.025	-0.169	0.122	-0.015	-0.176	7
0.139	-0.322	0.099	0.165	-0.320	0.114	0.154	-0.320	0.118	-0.329	-0.364	8
0.049	-0.359	0.017	0.136	-0.355	0.027	0.141	-0.355	0.031	0.152	-0.364	9
0.172	-0.075	-0.205	0.097	-0.063	-0.195	0.095	-0.063	-0.192	0.100	-0.072	10
0.314	0.152	-0.320	-0.013	0.153	-0.321	-0.008	0.153	-0.320	-0.009	0.145	11
0.085	0.124	-0.098	0.034	0.130	-0.093	0.027	0.130	-0.093	0.031	0.138	0
0.127	-0.166	0.116	0.054	-0.165	0.120	0.054	-0.164	0.122	-0.161	-0.161	1
0.242	-0.207	0.245	-0.005	-0.202	0.245	0.000	-0.201	0.245	-0.002	-0.204	2
0.091	-0.162	0.116	-0.091	-0.164	0.108	-0.090	-0.164	0.105	-0.139	-0.166	3
0.066	-0.063	0.104	-0.131	-0.073	0.094	-0.133	-0.072	0.089	-0.139	-0.166	3
0.051	-0.094	0.050	0.103	-0.101	0.052	0.100	-0.102	0.052	0.006	-0.110	4
0.047	-0.082	0.048	0.009	-0.088	0.049	0.007	-0.089	0.050	-0.089	-0.110	5
0.071	-0.081	0.085	-0.032	-0.095	0.081	-0.027	-0.096	0.078	-0.016	-0.098	6
0.084	-0.207	0.069	0.072	-0.209	0.075	0.067	-0.209	0.076	0.079	-0.216	7
0.018	-0.235	-0.015	0.128	-0.234	-0.006	0.132	-0.234	-0.001	0.136	-0.242	8
0.162	-0.105	-0.198	0.110	-0.093	-0.187	0.102	-0.092	-0.183	0.110	-0.200	9
0.320	0.207	-0.328	-0.009	0.213	-0.328	-0.003	0.213	-0.328	0.000	-0.200	10
0.147	0.040	0.130	0.091	0.038	0.137	0.087	0.038	0.140	0.090	0.209	11
0.412	-0.277	0.383	0.165	-0.275	0.395	0.164	-0.275	0.401	0.162	0.044	0
0.431	-0.349	0.404	0.154	-0.340	0.416	0.149	-0.340	0.422	0.146	-0.270	1
0.263	-0.217	0.263	0.029	-0.214	0.265	0.025	-0.214	0.266	0.021	-0.216	2
0.132	-0.103	0.161	-0.083	-0.116	0.154	-0.086	-0.117	0.151	-0.125	-0.163	3
0.159	-0.146	0.141	0.043	-0.153	0.145	0.036	-0.155	0.146	-0.039	-0.163	4
0.157	-0.157	0.163	0.028	-0.165	0.165	0.020	-0.166	0.166	0.019	-0.163	5
0.225	-0.121	0.236	-0.012	-0.139	0.234	-0.010	-0.140	0.231	0.004	-0.163	6
0.143	-0.195	0.106	0.152	-0.199	0.120	0.142	-0.199	0.124	0.154	-0.207	7
0.161	-0.303	0.123	0.227	-0.292	0.141	0.227	-0.291	0.149	0.237	-0.299	8
0.116	-0.136	0.117	0.117	-0.124	-0.007	0.116	-0.124	-0.003	0.124	-0.132	9
0.116	0.146	-0.122	0.008	0.153	-0.121	0.012	0.152	-0.121	0.017	-0.147	10
0.156	-0.018	-0.158	0.091	0.021	0.145	0.087	0.021	0.146	0.098	0.028	11
0.378	-0.267	0.369	0.082	-0.267	0.375	0.079	-0.267	0.377	0.081	-0.271	0
0.383	-0.274	0.367	0.105	-0.265	0.375	0.102	-0.264	0.379	0.097	-0.269	1
0.204	-0.165	0.221	-0.038	-0.170	0.218	-0.040	-0.170	0.217	-0.045	-0.269	2
0.099	-0.079	0.132	-0.098	-0.099	0.124	-0.101	-0.100	0.120	-0.106	-0.108	3
0.178	-0.189	0.158	0.114	-0.192	0.168	0.104	-0.193	0.172	-0.201	-0.108	4
0.172	-0.154	0.155	0.105	-0.175	0.165	0.095	-0.176	0.168	0.094	-0.175	5
0.184	-0.154	0.166	0.091	-0.169	0.173	0.094	-0.170	0.175	0.105	-0.170	6
0.151	-0.258	0.107	0.179	-0.257	0.124	0.164	-0.256	0.129	-0.264	-0.264	7
0.102	-0.392	0.056	0.176	-0.281	0.089	0.182	-0.281	0.076	0.190	-0.288	8
0.057	-0.101	-0.089	0.114	-0.086	-0.079	0.112	-0.086	-0.075	0.118	-0.288	9
0.172	0.170	-0.167	-0.036	0.172	-0.171	-0.039	0.172	-0.172	-0.027	0.168	10
0.199	0.098	0.189	0.065	0.007	0.194	0.058	0.007	0.194	0.072	0.168	11
0.402	-0.281	0.390	0.092	-0.285	0.396	0.097	-0.285	0.399	0.090	0.015	0
0.394	-0.272	0.368	0.143	-0.261	0.379	0.136	-0.261	0.385	0.134	-0.284	1
0.221	-0.176	0.227	0.009	-0.180	0.228	0.007	-0.180	0.228	0.003	-0.267	2
0.140	-0.103	0.173	-0.091	-0.126	0.166	-0.094	-0.127	0.162	-0.099	-0.185	3
0.208	-0.196	0.175	0.170	-0.195	0.189	0.163	-0.196	0.195	0.165	-0.203	4
0.208	-0.191	0.175	0.173	-0.190	0.189	0.165	-0.191	0.195	0.164	-0.203	5
0.219	-0.179	0.203	0.094	-0.197	0.209	0.098	-0.199	0.211	0.113	-0.203	6
0.237	-0.355	0.188	0.208	-0.308	0.206	0.200	-0.308	0.210	0.224	-0.317	7
0.191	-0.363	0.137	0.224	-0.361	0.133	0.232	-0.361	0.160	0.249	-0.369	8
0.029	-0.195	-0.041	0.265	-0.178	-0.041	0.262	-0.178	-0.008	0.270	-0.186	9
0.387	0.061	-0.114	0.051	-0.073	-0.107	0.059	-0.073	-0.103	0.100	-0.067	10

CUADRO 7. COEFICIENTES DE CORRELACION SIMPLE ENTRE LA PRODUCCION Y LAS VARIABLES SINTETICAS DESDE O HASTA 11 PERIODOS ANTERIORES A LA COSECHA (ETP CALCULADA POR LA FORMULA DE GARCIA Y LOPEZ)

ETP	P-ETP	ETR	DEF.	EXC.	ETR.	DEF.	EXC.	ETR.	DEF.	EXC.	PERIODO PARCELA
0.030	-0.013	0.016	0.045	0.001	0.018	0.052	0.001	0.022	0.044	0.001	0
0.043	-0.159	0.028	0.044	-0.155	0.032	0.043	-0.154	0.034	0.042	-0.154	1
0.205	-0.104	0.211	0.020	-0.093	0.211	0.023	0.092	0.211	0.014	-0.091	2
0.108	-0.071	0.140	-0.086	-0.088	0.132	-0.084	-0.092	0.127	-0.091	-0.094	3
0.159	-0.034	0.203	-0.107	-0.065	0.193	-0.108	-0.066	0.186	-0.107	-0.064	4
0.097	-0.158	0.051	0.178	-0.161	0.062	0.190	-0.163	0.073	0.176	-0.165	5
0.115	-0.157	0.070	0.176	-0.161	0.082	0.188	-0.163	0.093	0.173	-0.164	6
0.119	-0.153	0.133	-0.025	-0.177	0.131	-0.025	-0.177	0.125	-0.006	-0.177	7
0.159	-0.331	0.064	0.342	-0.316	0.092	0.345	-0.316	0.107	0.354	-0.316	8
0.102	-0.369	0.045	0.213	-0.350	0.063	0.209	-0.349	0.072	0.214	-0.348	9
0.036	-0.090	-0.011	0.178	-0.069	0.003	0.175	-0.068	0.011	0.176	-0.067	10
0.095	0.144	0.123	0.001	0.147	-0.101	0.000	0.147	-0.100	-0.004	0.148	11
0.100	0.129	-0.102	0.046	0.139	-0.120	0.052	0.139	-0.116	0.047	0.139	0
0.032	-0.162	0.020	0.032	-0.162	0.023	0.030	-0.161	0.024	0.030	-0.161	2
0.212	-0.199	0.091	0.081	-0.205	0.204	0.085	-0.204	0.208	0.076	-0.204	2
0.100	-0.167	0.117	-0.042	-0.171	0.112	-0.037	-0.172	0.111	-0.048	-0.172	3
0.203	-0.079	0.240	-0.077	-0.093	0.231	-0.077	-0.094	0.226	-0.077	-0.094	4
0.144	-0.105	0.138	0.051	-0.117	0.141	0.055	-0.120	0.143	0.051	-0.123	5
0.157	-0.094	0.152	0.047	-0.105	0.155	0.051	-0.108	0.156	0.047	-0.110	5
0.117	-0.088	0.131	-0.019	-0.112	0.129	-0.020	-0.113	0.125	-0.008	-0.113	6
0.104	-0.213	0.069	0.140	-0.211	0.078	0.148	-0.212	0.084	0.150	-0.211	7
0.069	-0.242	0.038	0.119	-0.235	0.049	0.112	-0.234	0.051	0.127	-0.234	9
0.008	-0.116	-0.058	0.241	-0.094	-0.038	0.240	-0.093	-0.027	0.244	-0.092	10
0.048	0.194	-0.062	0.037	0.208	-0.059	0.035	0.208	-0.027	0.203	0.210	11
0.214	0.030	0.193	0.097	0.208	0.199	0.101	0.207	0.203	0.094	0.206	0
0.326	-0.284	0.290	0.163	-0.283	0.415	0.166	-0.284	0.309	0.154	-0.284	1
0.432	-0.366	0.405	0.163	-0.356	0.335	0.168	-0.355	0.422	0.153	-0.355	2
0.339	-0.234	0.331	0.083	-0.231	0.297	0.088	-0.234	0.338	0.077	-0.236	3
0.266	-0.123	0.225	0.173	-0.146	0.236	0.184	-0.149	0.295	0.015	-0.150	4
0.263	-0.163	0.225	0.173	-0.178	0.236	0.184	-0.161	0.244	0.175	-0.163	5
0.279	-0.175	0.247	0.158	-0.191	0.256	0.170	-0.193	0.263	0.160	-0.195	6
0.231	-0.130	0.231	0.044	-0.151	0.233	0.049	-0.152	0.231	0.062	-0.152	7
0.231	-0.209	0.147	0.317	-0.200	0.173	0.320	-0.200	0.184	0.335	-0.199	8
0.245	-0.318	0.158	0.338	-0.386	0.186	0.334	-0.285	0.199	0.342	-0.284	9
0.202	-0.157	0.144	0.240	-0.128	0.164	0.236	-0.127	0.173	0.239	-0.127	10
0.143	0.125	0.136	0.047	0.137	0.139	0.046	0.137	0.141	0.041	0.140	11
0.212	0.008	0.198	0.076	0.014	-0.202	0.081	0.013	0.205	0.072	0.013	0
0.281	-0.272	0.272	0.063	-0.274	0.276	0.067	-0.275	0.278	0.058	-0.275	2
0.443	-0.294	0.438	0.093	-0.295	0.443	0.096	-0.285	0.446	0.081	-0.284	2
0.280	-0.180	0.297	-0.004	-0.193	0.294	0.000	-0.198	0.292	-0.007	-0.201	3
0.294	-0.101	0.317	-0.020	-0.141	0.313	-0.019	-0.143	0.309	-0.018	-0.144	4
0.218	-0.200	0.164	0.223	-0.209	0.178	0.239	-0.212	0.190	0.227	-0.214	4
0.232	-0.184	0.181	0.214	-0.193	0.194	0.230	-0.196	0.206	0.217	-0.197	6
0.244	-0.167	0.221	0.127	-0.181	0.230	0.127	-0.181	0.231	0.148	-0.181	7
0.255	-0.275	0.130	0.455	-0.275	0.167	0.460	-0.253	0.185	0.473	-0.252	8
0.231	-0.310	0.155	0.302	-0.275	0.180	0.297	-0.275	0.192	0.299	-0.273	9
0.186	-0.124	0.125	0.253	-0.095	0.145	0.249	-0.094	0.155	0.252	-0.093	10
0.042	0.157	0.046	-0.015	0.162	0.045	-0.015	0.162	0.045	-0.023	0.164	11
0.195	0.002	0.185	0.062	0.002	0.187	0.069	0.001	0.190	0.062	0.000	0
0.262	-0.283	0.244	0.098	-0.291	0.250	0.101	-0.291	0.253	0.098	-0.292	0
0.433	-0.291	0.401	0.183	-0.276	0.413	0.188	-0.275	0.421	0.173	-0.275	2
0.300	-0.192	0.294	0.073	-0.197	0.297	0.077	-0.201	0.299	0.170	-0.204	3
0.340	-0.129	0.354	0.019	-0.161	0.353	0.019	-0.165	0.350	0.022	-0.164	4
0.255	-0.209	0.190	0.265	-0.210	0.208	0.278	-0.214	0.222	0.265	-0.217	5
0.270	-0.206	0.205	0.267	-0.207	0.224	0.280	-0.211	0.237	0.266	-0.212	6
0.224	-0.188	0.206	0.100	-0.210	0.213	0.100	-0.210	0.213	0.116	-0.210	7
0.220	-0.314	0.112	0.392	-0.302	0.144	0.397	-0.302	0.159	0.411	-0.301	8
0.215	-0.375	0.144	0.275	-0.352	0.168	0.267	-0.351	0.177	0.278	-0.351	9
0.170	-0.215	0.082	0.343	-0.181	0.336	0.111	-0.180	0.125	0.340	-0.180	10
0.068	0.050	0.053	0.060	0.065	0.058	0.058	0.065	0.062	0.046	0.067	11

CUADRO 10 : TASAS DE INCREMENTO DE LA PRODUCCION COMO FUNCION DE VARIABLES CLIMATICAS EN 5 PARCELAS DE CACAO Y COEFICIENTES DE DETERMINACION MULTIPLE (R\*\*2)

DY/DX1	DY/DX2	DY/DX3	DY/DX4	DY/DX5	(R**2)	SEC.	PERIODO
-1.552019	-6.271713	-0.701392	60.923710	0.145209	0.081	1	0
-1.215338	-1.757860	-0.191261	24.641544	-0.074402	0.040	1	1
27.204364	-9.497158	-3.333446	25.863497	-0.013936	0.052	1	2
22.981643	-7.403698	-1.605899	-18.563064	-0.124098	0.036	1	3
39.581413	12.190660	-1.105743	-38.424209	-0.120720	0.129	1	4
67.570678	16.217063	1.817836	-15.036406	-0.206168	0.214	1	5
78.021175	-9.725368	0.657054	40.631301	-0.101183	0.134	1	6
74.956970	-47.236107	-1.707978	53.527735	-0.290897	0.219	1	7
39.233297	-59.561767	-2.762466	24.701545	-0.416964	0.219	1	8
46.863894	-85.089414	-4.306345	37.480552	-0.239104	0.195	1	9
13.222882	-64.284790	-2.958475	9.733952	-0.042146	0.156	1	10
-0.130870	-43.409202	-0.908940	-18.828407	0.121448	0.204	1	11
0.942905	-8.315153	0.583562	19.021877	0.094163	0.041	2	0
4.118474	0.833200	0.433299	14.652967	-0.051248	0.037	2	1
17.757015	3.442595	-1.043243	28.595001	-0.013696	0.101	2	2
16.468021	2.519355	-0.248539	-12.168922	-0.119104	0.053	2	3
21.034725	6.947052	-1.288755	-16.537311	-0.072284	0.102	2	4
36.825325	4.097867	-0.212271	-21.822769	-0.131538	0.189	2	5
47.930974	-2.438858	0.488051	13.211170	-0.069905	0.139	2	6
43.381797	-23.241047	-0.614141	36.977157	-0.087619	0.153	2	7
25.901546	-34.287315	-1.319341	-22.762760	-0.186379	0.153	2	8
21.930996	-49.016082	-2.056597	13.817747	-0.187367	0.172	2	9
-12.563016	-32.616485	-2.079803	2.030849	0.013775	0.163	2	10
-15.032659	-27.857845	-1.799943	-17.782093	0.058689	0.254	2	11
-9.756486	11.795318	-1.174125	3.832052	0.079452	0.083	3	0
-11.456999	20.295232	-1.028669	2.951382	-0.006045	0.185	3	1
-9.067836	16.173732	-1.913273	-2.035514	-0.046102	0.293	3	2
-7.516937	10.284172	-1.842278	-9.402336	-0.049363	0.148	3	3
-8.456613	11.606144	-1.708055	-25.223003	-0.059489	0.156	3	4
1.546330	9.626545	-1.256096	-22.472133	-0.174337	0.162	3	5
6.151539	9.987737	-0.601010	1.411132	-0.017293	0.086	3	6
10.453104	-9.248352	-1.604157	13.579807	-0.044863	0.242	3	7
-8.913871	-7.327203	-1.972578	-3.395918	-0.133347	0.242	3	8
-8.742042	-13.395378	-2.494372	0.026426	-0.076470	0.211	3	9
-23.053413	-2.580680	-1.965196	-6.233716	0.021030	0.167	3	10
-20.979957	3.684828	-1.272958	-8.197206	0.090753	0.141	3	11
-14.842218	17.550815	-1.905055	9.799051	0.115332	0.079	4	0
-13.022296	29.764751	-1.167525	5.311151	-0.025339	0.153	4	1
-8.170539	24.691371	-3.324337	-2.935416	-0.044959	0.223	4	2
-4.145426	18.572455	-2.048577	-23.789398	-0.083544	0.115	4	3
9.265317	15.527462	-2.305002	-36.787689	-0.101897	0.185	4	4
10.597690	19.421257	-0.879573	-34.296554	-0.152120	0.190	4	5
27.725307	1.243994	-1.385603	13.388835	-0.058841	0.104	4	6
24.699497	-23.390439	-3.059472	27.896427	-0.101289	0.280	4	7
-10.593673	-24.725006	-3.916888	-1.781545	-0.222018	0.280	4	8
-3.953223	-26.897687	-4.566489	9.465871	-0.124622	0.267	4	9
-13.683242	-21.806381	-2.722760	8.865051	0.061785	0.145	4	10
-15.032268	-9.260288	-1.367122	-4.492118	0.143126	0.133	4	11
-23.216144	23.528221	-1.286578	3.472628	0.102970	0.101	5	0
-22.077632	31.666054	-0.700784	-44.767935	-0.033316	0.171	5	1
-13.307664	22.355847	-2.821074	-2.763754	-0.031524	0.227	5	2
-11.750089	15.646131	-2.198535	-20.189281	-0.068127	0.125	5	3
-2.267589	14.285423	-2.650555	-29.475826	-0.074780	0.177	5	4
2.820095	17.503284	-1.242930	-25.422039	-0.108146	0.163	5	5
9.087768	10.142765	-0.903165	2.927221	-0.050524	0.089	5	6
10.311491	-10.508977	-1.759398	27.594660	-0.069718	0.261	5	7
-12.025997	-14.014446	-2.562536	5.920773	-0.163351	0.261	5	8
-11.504110	-22.653568	-3.177410	3.320289	-0.131056	0.241	5	9
-26.121536	-9.699571	-2.414429	0.264605	0.038576	0.163	5	10
-26.150875	3.183645	-1.474212	-14.884593	0.134691	0.164	5	11

CUADRO 9. VALORES DE LOS EFECTOS DIRECTOS DE LAS VARIABLES CLIMATICAS Y DE SUS EFECTOS INDIRECTOS A TRAVES DE OTRAS VARIABLES, SOBRE LA PRODUCCION DE CACAO EN LA FINCA "LA LOLA"

-0.0080	-0.0178	0.0000	-0.1310	0.0152	0.1406	1 1 00
-0.0034	-0.0411	0.0115	0.1137	-0.0745	0.0061	2 1 00
0.0002	0.0123	-0.0384	-0.0543	0.0275	-0.0526	3 1 00
0.0030	-0.0137	0.0061	0.3396	-0.0962	0.2388	4 1 00
-0.0007	0.0191	-0.0063	-0.1956	0.1671	-0.0164	5 1 00
0.0078	-0.0384	-0.0014	-0.0661	0.0159	-0.0822	1 2 00
0.0034	-0.0887	-0.0155	0.0573	-0.0781	-0.1215	2 2 00
-0.0002	0.0266	0.0517	-0.0274	0.0288	0.0795	3 2 00
-0.0030	-0.0297	-0.0082	0.1712	-0.1008	0.0293	4 2 00
0.0007	0.0413	0.0085	-0.0986	0.1751	0.1270	5 2 00
-0.1348	0.0901	0.0049	-0.0220	0.0222	-0.0394	1 3 00
-0.0583	0.2082	0.0516	0.0191	-0.1089	0.1116	2 3 00
0.0039	-0.0624	-0.1720	-0.0091	0.0403	-0.1994	3 3 00
0.0520	0.0697	0.0275	0.0570	-0.1407	0.0656	4 3 00
-0.0122	-0.0970	-0.0283	-0.0328	0.2443	0.0737	5 3 00
-0.1251	0.0817	0.0049	-0.0343	0.0196	-0.0531	1 4 00
-0.0541	0.1888	0.0510	0.0298	-0.0965	0.1190	2 4 00
0.0036	-0.0566	-0.1702	-0.0142	0.0357	-0.2018	3 4 00
0.0483	0.0632	0.0272	0.0890	-0.1246	0.1031	4 4 00
-0.0113	-0.0879	-0.0280	-0.0512	0.2163	0.0376	5 4 00
-0.2330	0.1306	0.0039	-0.0144	0.0209	-0.0920	1 5 00
-0.1009	0.3017	0.0410	0.0125	-0.1025	0.1518	2 5 00
0.0067	-0.0905	-0.1369	-0.0060	0.0379	-0.1887	3 5 00
0.0899	0.1010	0.0219	0.0375	-0.1324	0.1180	4 5 00
-0.0212	-0.1406	-0.0225	-0.0216	0.2300	0.0239	5 5 00
-0.0166	-0.0050	0.0001	-0.0522	-0.0070	-0.0808	1 1 01
-0.0073	-0.0115	0.0017	0.0448	0.0400	0.0678	2 1 01
0.0005	0.0036	-0.0055	-0.0246	-0.0157	-0.0417	3 1 01
0.0063	-0.0037	0.0009	0.1366	0.0493	0.1896	4 1 01
-0.0013	0.0053	-0.0010	-0.0785	-0.0858	-0.1614	5 1 01
0.0344	0.0039	-0.0011	-0.0501	-0.0078	-0.0207	1 2 01
0.0152	0.0088	-0.0122	0.0430	0.0446	0.0995	2 2 01
-0.0010	-0.0028	0.0382	-0.0236	-0.0175	-0.0068	3 2 01
-0.0131	0.0029	-0.0068	0.1313	0.0549	0.1691	4 2 01
0.0028	-0.0041	0.0070	-0.0755	-0.0955	-0.1653	5 2 01
-0.1586	0.1571	0.0046	-0.0167	-0.0015	-0.0150	1 3 01
-0.0702	0.3548	0.0482	0.0143	0.0087	0.3558	2 3 01
0.0049	-0.1138	-0.1503	-0.0078	-0.0034	-0.2705	3 3 01
0.0606	0.1163	0.0270	0.0437	0.0107	0.2585	4 3 01
-0.0130	-0.1656	-0.0276	-0.0251	-0.0186	-0.2501	5 3 01
-0.1100	0.1406	0.0032	-0.0183	-0.0039	0.0115	1 4 01
-0.0487	0.3174	0.0334	0.0157	0.0222	0.3401	2 4 01
0.0034	-0.1018	-0.1040	-0.0086	-0.0087	-0.2199	3 4 01
0.0420	0.1041	0.0187	0.0480	0.0274	0.2403	4 4 01
-0.0090	-0.1482	-0.0191	-0.0276	-0.0476	-0.2516	5 4 01
-0.2220	0.1782	0.0025	0.0196	-0.0061	-0.0278	1 5 01
-0.0983	0.4023	0.0261	-0.0168	0.0348	0.3480	2 5 01
0.0068	-0.1291	-0.0813	0.0092	-0.0137	-0.2081	3 5 01
0.0848	0.1319	0.0146	-0.0513	0.0428	0.2230	4 5 01
-0.0182	-0.1878	-0.0149	0.0295	-0.0746	-0.2661	5 5 01

CUADRO 9 VALORES DE LOS EFECTOS DIRECTOS DE LAS VARIABLES CLIMATICAS Y DE SUS EFECTOS INDIRECTOS A TRAVES DE OTRAS VARIABLES, SOBRE LA PRODUCCION DE CACAO EN LA FINCA "LA LOLA".

0.2073	0.0338	0.0013	0.0917	-0.0176	0.3165	1 1 04
0.0883	0.0793	0.0203	-0.0730	0.0637	0.1788	2 1 04
-0.0045	-0.0268	-0.0603	0.0466	-0.0295	-0.0745	3 1 04
-0.0856	0.0261	0.0126	-0.2221	0.0826	-0.1863	4 1 04
0.0263	-0.0363	-0.0127	0.1317	-0.1392	-0.0303	5 1 04
0.1780	0.0311	0.0024	0.0637	-0.0171	0.2583	1 2 04
0.0758	0.0730	0.0383	-0.0508	0.0617	0.1982	2 2 04
-0.0039	-0.0247	-0.1135	0.0324	-0.0285	-0.1383	3 2 04
-0.0735	0.0240	0.0238	-0.1544	0.0799	-0.1001	4 2 04
0.0226	-0.0334	-0.0240	0.0915	-0.1347	-0.0781	5 2 04
-0.1183	0.0849	0.0054	0.1608	-0.0232	0.1096	1 3 04
-0.0504	0.1993	0.0840	-0.1281	0.0840	0.1888	2 3 04
0.0026	-0.0673	-0.2486	0.0818	-0.0388	-0.2704	3 3 04
0.0488	0.0655	0.0522	-0.3895	0.1087	-0.1141	4 3 04
-0.0150	-0.0913	-0.0527	0.2310	-0.1834	-0.1114	5 3 04
0.0791	0.0702	0.0045	0.1431	-0.0243	0.2726	1 4 04
0.0337	0.1647	0.0692	-0.1140	0.0877	0.2415	2 4 04
-0.0017	-0.0557	-0.2049	0.0727	-0.0406	-0.2302	3 4 04
-0.0326	0.0542	0.0430	-0.3466	0.1136	-0.1684	4 4 04
0.0100	-0.0754	-0.0434	0.2055	-0.1916	-0.0949	5 4 04
-0.0230	0.0769	0.0061	0.1365	-0.0212	0.1753	1 5 04
-0.0098	0.1805	0.0948	-0.1087	0.0766	0.2334	2 5 04
0.0005	-0.0610	-0.2805	0.0694	-0.0355	-0.3071	3 5 04
0.0095	0.0593	0.0589	-0.3306	0.0993	-0.1035	4 5 04
-0.0029	-0.0826	-0.0594	0.1960	-0.1674	-0.1164	5 5 04
0.3456	0.0431	-0.0020	0.0401	-0.0357	0.3911	1 1 05
0.1431	0.1041	-0.0340	-0.0279	0.1078	0.2930	2 1 05
-0.0072	-0.0357	0.0992	0.0190	-0.0511	0.0241	3 1 05
-0.1555	0.0325	-0.0212	-0.0892	0.1380	-0.0953	4 1 05
0.0518	-0.0471	0.0213	0.0517	-0.2380	-0.1602	5 1 05
0.3043	0.0175	0.0003	0.0941	-0.0368	0.3797	1 2 05
0.1260	0.0424	0.0064	-0.0655	0.1111	0.2205	2 2 05
-0.0063	-0.0145	-0.0187	0.0447	-0.0527	-0.0476	3 2 05
-0.1369	0.0132	0.0040	-0.2093	0.1423	-0.1866	4 2 05
0.0456	-0.0192	-0.0040	0.1213	-0.2453	-0.1016	5 2 05
0.0211	0.0683	0.0038	0.1603	-0.0343	0.2193	1 3 05
0.0087	0.1651	0.0628	-0.1115	0.1038	0.2290	2 3 05
-0.0004	-0.0566	-0.1831	0.0762	-0.0493	-0.2133	3 3 05
-0.0095	0.0516	0.0392	-0.3564	0.1330	-0.1420	4 3 05
0.0031	-0.0748	-0.0393	0.2067	-0.2293	-0.1336	5 3 05
0.0883	0.0841	0.0016	0.1493	-0.0429	0.2805	1 4 05
0.0365	0.2032	0.0268	-0.1038	0.1296	0.2923	2 4 05
-0.0018	-0.0697	-0.0782	0.0710	-0.0615	-0.1403	3 4 05
-0.0397	0.0636	0.0167	-0.3318	0.1660	-0.1251	4 4 05
0.0132	-0.0920	-0.0168	0.1924	-0.2862	-0.1894	5 4 05
0.0279	0.0903	0.0027	0.1317	-0.0363	0.2165	1 5 05
0.0115	0.2181	0.0451	-0.0916	0.1097	0.2929	2 5 05
-0.0005	-0.0748	-0.1316	0.0626	-0.0521	-0.1965	3 5 05
-0.0125	0.0682	0.0281	-0.2928	0.1405	-0.0684	4 5 05
0.0041	-0.0988	-0.0283	0.1698	-0.2423	-0.1953	5 5 05

CUADRO 9 VALORES DE LOS EFECTOS DIRECTOS DE LAS VARIABLES CLIMATICAS Y DE SUS EFECTOS INDIRECTOS A TRAVES DE OTRAS VARIABLES, SOBRE LA PRODUCCION DE CACAO EN LA FINCA "LA LOLA"

0.1991	-0.2043	0.0064	-0.0558	-0.0270	-0.0815	1 1 08
0.0963	-0.4221	0.0486	0.0564	0.2459	0.0252	2 1 08
-0.0085	0.1363	-0.1507	-0.0312	-0.1038	-0.1580	3 1 08
-0.0724	-0.1553	0.0307	0.1533	0.2904	0.2466	4 1 08
0.0111	0.2148	-0.0324	-0.0921	-0.4832	-0.3817	5 1 08
0.2124	-0.1900	0.0050	-0.0830	-0.0195	-0.0752	1 2 08
0.1028	-0.3926	0.0375	0.0840	0.1776	0.0093	2 2 08
-0.0091	0.1268	-0.1163	-0.0465	-0.0750	-0.1202	3 2 08
-0.0773	-0.1445	0.0237	0.2282	0.2097	0.2399	4 2 08
0.0118	0.1998	-0.0250	-0.1372	-0.3490	-0.2994	5 2 08
-0.1208	-0.0671	0.0123	0.0205	-0.0231	-0.1782	1 3 08
-0.0584	-0.1387	0.0928	-0.0207	0.2101	0.0850	2 3 08
0.0051	0.0448	-0.2875	0.0114	-0.0887	-0.3148	3 3 08
0.0439	-0.0510	0.0586	-0.0563	0.2481	0.2434	4 3 08
-0.0067	0.0706	-0.0618	0.0338	-0.4129	-0.3770	5 3 08
-0.0876	-0.1382	0.0149	0.0065	-0.0234	-0.2278	1 4 08
-0.0424	-0.2856	0.1125	-0.0066	0.2134	-0.0087	2 4 08
0.0037	0.0922	-0.3483	0.0036	-0.0901	-0.3387	3 4 08
0.0319	-0.1051	0.0710	-0.0180	0.2520	0.2318	4 4 08
-0.0049	0.1453	-0.0748	0.0108	-0.4194	-0.3430	5 4 08
-0.1184	-0.0933	0.0116	-0.0259	-0.0205	-0.2466	1 5 08
-0.0573	-0.1927	0.0876	0.0262	0.1870	0.0507	2 5 08
0.0050	0.0622	-0.2713	-0.0145	-0.0789	-0.2975	3 5 08
0.0431	-0.0709	0.0553	0.0713	0.2208	0.3196	4 5 08
-0.0066	0.0981	-0.0583	-0.0428	-0.3674	-0.3771	5 5 08
0.2351	-0.3013	0.0139	-0.0809	-0.0169	-0.1471	1 1 09
0.1176	-0.6100	0.0791	0.0889	0.1402	-0.1840	2 1 09
-0.0140	0.2037	-0.2369	-0.0516	-0.0587	-0.1575	3 1 09
-0.0821	-0.2312	0.0521	0.2346	0.1621	0.1355	4 1 09
0.0145	0.3086	-0.0502	-0.1372	-0.2771	-0.1414	5 1 09
0.1808	-0.2806	0.0107	-0.0482	-0.0214	-0.1586	1 2 09
0.0893	-0.5680	0.0610	0.0529	0.1775	-0.1870	2 2 09
-0.0106	0.1897	-0.1828	-0.0307	-0.0744	-0.1089	3 2 09
-0.0623	-0.2152	0.0402	0.1398	0.2053	0.1076	4 2 09
0.0110	0.2874	-0.0387	-0.0817	-0.3509	-0.1730	5 2 09
-0.1192	-0.1268	0.0216	-0.0001	-0.0144	-0.2389	1 3 09
-0.0588	-0.2566	0.1224	0.0001	0.1198	-0.0730	2 3 09
0.0070	0.0857	-0.3666	-0.0000	-0.0502	-0.3242	3 3 09
0.0411	-0.0972	0.0806	0.0004	0.1385	0.1635	4 3 09
-0.0072	0.1298	-0.0777	-0.0002	-0.2368	-0.1922	5 3 09
-0.0328	-0.2130	0.0241	-0.0333	-0.0143	-0.2695	1 4 09
-0.0162	-0.4313	0.1367	0.0366	0.1191	-0.1550	2 4 09
0.0019	0.1440	-0.4095	-0.0212	-0.0499	-0.3346	3 4 09
0.0113	-0.1634	0.0900	0.0966	0.1377	0.1723	4 4 09
-0.0020	0.2182	-0.0868	-0.0565	-0.2354	-0.1625	5 4 09
-0.1139	-0.1557	0.0200	-0.0139	-0.0179	-0.2816	1 5 09
-0.0562	-0.3153	0.1133	0.0152	0.1492	-0.0937	2 5 09
0.0067	0.1053	-0.3392	-0.0088	-0.0625	-0.2986	3 5 09
0.0393	-0.1195	0.0746	0.0403	0.1724	0.2072	4 5 09
-0.0069	0.1595	-0.0719	-0.0236	-0.2948	-0.2377	5 5 09

CUADRO 9 VALORES DE LOS EFECTOS DIRECTOS DE LAS VARIABLES CLIMATICAS Y DE SUS EFECTOS INDIRECTOS A TRAVES DE OTRAS VARIABLES, SOBRE LA PRODUCCION DE CACAO EN LA FINCA "LA LOLA".

0.0682	-0.2325	0.0108	-0.0219	-0.0036	-0.1789	1 1 10
0.0320	-0.4959	0.0570	0.0241	0.0253	-0.3574	2 1 10
-0.0044	0.1686	-0.1676	-0.0122	-0.0097	-0.0254	3 1 10
-0.0242	-0.1944	0.0331	0.0617	0.0290	-0.0946	4 1 10
0.0050	0.2559	-0.0333	-0.0365	-0.0490	0.1419	5 1 10
-0.1043	-0.1660	0.0123	-0.0073	0.0019	-0.2634	1 2 10
-0.0489	-0.3541	0.0647	0.0081	-0.0133	-0.3435	2 2 10
0.0067	0.1204	-0.1903	-0.0040	0.0051	-0.0621	3 2 10
0.0370	-0.1388	0.0376	0.0206	-0.0153	-0.0587	4 2 10
-0.0077	0.1827	-0.0378	-0.0122	0.0259	0.1507	5 2 10
-0.3166	-0.0231	0.0193	0.0372	0.0048	-0.2783	1 3 10
-0.1484	-0.0493	0.1011	-0.0411	-0.0337	-0.1716	2 3 10
0.0205	0.0167	-0.2974	0.0208	0.0130	-0.2262	3 3 10
0.1124	-0.0193	0.0588	-0.1050	-0.0387	0.0081	4 3 10
-0.0234	0.0254	-0.0591	0.0622	0.0654	0.0705	5 3 10
-0.1146	-0.1193	0.0163	-0.0323	0.0086	-0.2413	1 4 10
-0.0537	-0.2544	0.0854	0.0357	-0.0604	-0.2474	2 4 10
0.0074	0.0865	-0.2513	-0.0180	0.0233	-0.1521	3 4 10
0.0406	-0.0997	0.0497	0.0911	-0.0695	0.0123	4 4 10
-0.0084	0.1312	-0.0500	-0.0540	0.1172	0.1359	5 4 10
-0.2605	-0.0631	0.0172	-0.0011	0.0064	-0.3012	1 5 10
-0.1222	-0.1347	0.0902	0.0012	-0.0449	-0.2104	2 5 10
0.0169	0.0456	-0.2654	-0.0006	0.0173	-0.1859	3 5 10
0.0925	-0.0528	0.0525	0.0032	-0.0516	0.0438	4 5 10
-0.0192	0.0695	-0.0528	-0.0019	0.0871	0.0826	5 5 10
-0.0006	-0.1448	0.0047	0.0422	0.0068	-0.0916	1 1 11
-0.0003	-0.3100	0.0179	-0.0463	-0.0705	-0.4093	2 1 11
0.0000	0.1063	-0.0522	0.0218	0.0253	0.1013	3 1 11
0.0002	-0.1221	0.0097	-0.1177	-0.0757	-0.3056	4 1 11
-0.0000	0.1683	-0.0101	0.0686	0.1298	0.3566	5 1 11
-0.1272	-0.1501	0.0150	0.0644	0.0053	-0.1924	1 2 11
-0.0594	-0.3215	0.0573	-0.0707	-0.0550	-0.4494	2 2 11
0.0114	0.1102	-0.1673	0.0334	0.0197	0.0075	3 2 11
0.0456	-0.1266	0.0311	-0.1796	-0.0591	-0.2886	4 2 11
-0.0067	0.1745	-0.0326	0.1047	0.1014	0.3413	5 2 11
-0.2936	0.0328	0.0176	0.0491	0.0137	-0.1803	1 3 11
-0.1371	0.0703	0.0671	-0.0539	-0.1408	-0.1944	2 3 11
0.0264	-0.0241	-0.1957	0.0254	0.0505	-0.1173	3 3 11
0.1054	0.0277	0.0364	-0.1369	-0.1511	-0.1185	4 3 11
-0.0155	-0.0381	-0.0381	0.0798	0.2593	0.2472	5 3 11
-0.1283	-0.0503	0.0115	0.0164	0.0132	-0.1375	1 4 11
-0.0599	-0.1078	0.0439	-0.0180	-0.1354	-0.2773	2 4 11
0.0115	0.0369	-0.1282	0.0085	0.0486	-0.0225	3 4 11
0.0460	-0.0424	0.0238	-0.0457	-0.1454	-0.1637	4 4 11
-0.0068	0.0585	-0.0250	0.0266	0.2495	0.3029	5 4 11
-0.2659	0.0206	0.0148	0.0648	0.0148	-0.1508	1 5 11
-0.1241	0.0441	0.0564	-0.0711	-0.1518	-0.2465	2 5 11
0.0239	-0.0151	-0.1646	0.0335	0.0545	-0.0677	3 5 11
0.0954	0.0173	0.0306	-0.1806	-0.1629	-0.2001	4 5 11
-0.0140	-0.0239	-0.0321	0.1053	0.2795	0.3147	5 5 11