

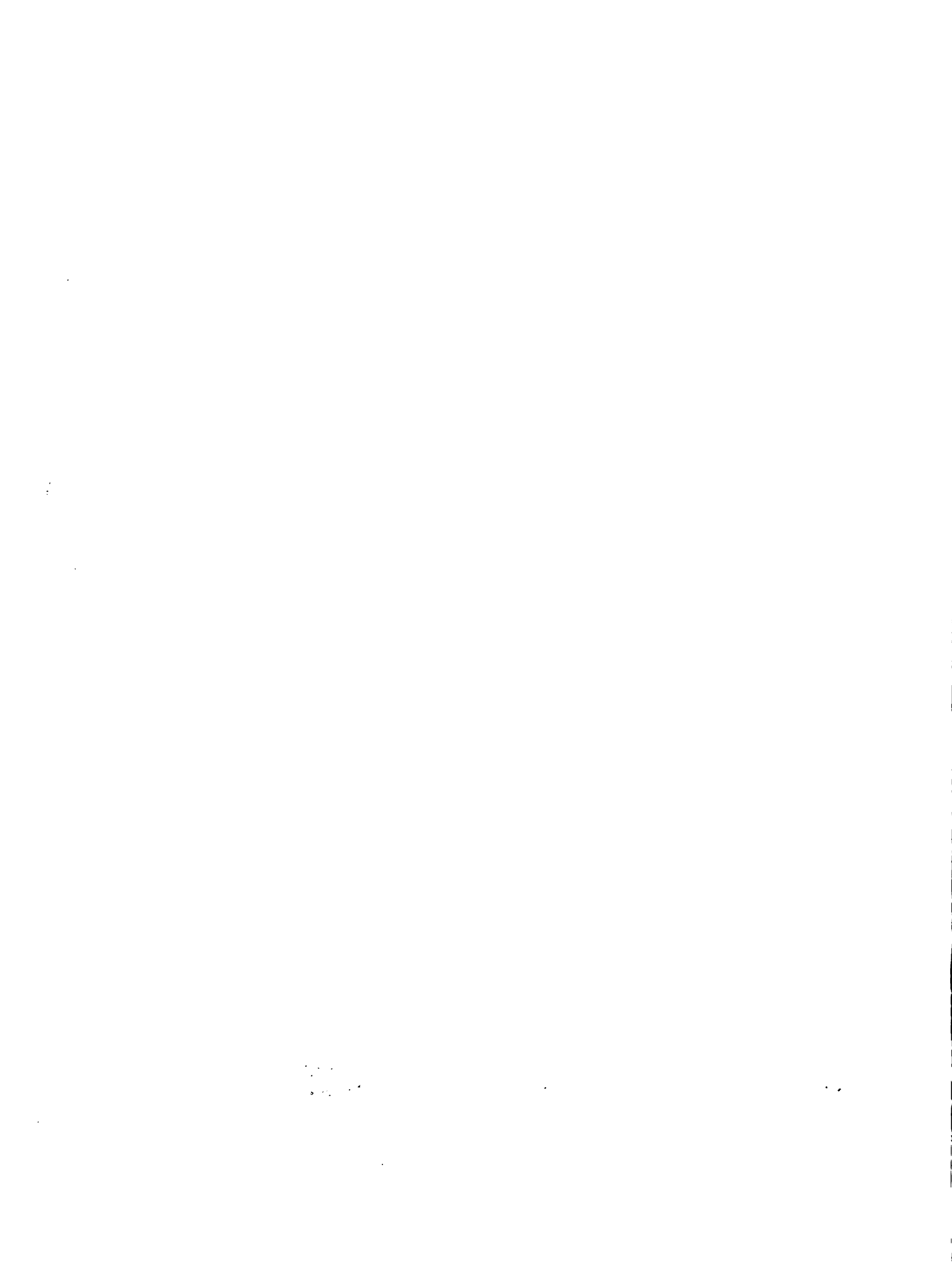
# IICA



## ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DEL CAFÉ (*Coffea arabica*) EN COSTA RICA

OSCAR E. ROJAS

CA  
-A1/  
R-87  
7  
2



Centro Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola

19 MAY 1988

IICA — CIDA

Serie Publicaciones Misceláneas  
No. A1/OCR-87-007-ISSN-0534-5391  
PROMECAFE-AID-ROCAP-596-0090

# ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DEL CAFÉ (*Coffea arabica*) EN COSTA RICA

OSCAR E. ROJAS

Ingeniero Agrónomo, D.A. A. París-Grignon  
Especialista en Agroclimatología del IICA

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA  
San José, Costa Rica  
1987

IICA  
PM-A1/OCR-87  
007  
c 2

BV-001502 c.1

© Oscar E. Rojas  
© Primera reimpresión, octubre 1987, IICA

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra sin permiso del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

00000675

IICA  
PM-A1/OCR-87  
007

Rojas, Oscar E.

Zonificación agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*) en Costa Rica. – San José, Costa Rica : IICA, 1987.

83 p. – (Publicación miscelánea / IICA ; no. A1/OCR-87-007).

ISSN 0534-5391

1. *Coffea arabica*. 2. Zonificación ecológica.  
I. Título. II. Serie.

AGRIS  
E11



DEWEY  
352.961

**SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS No. A1/OCR-87-007**

La Serie de Publicaciones Misceláneas tiene como objetivo proporcionar información sobre temas relacionados con las acciones hemisféricas del IICA.

San José, Costa Rica  
1987

## PRESENTACION

Con frecuencia se culpa a los cultivos de exportación de ser la razón del atraso y rezago de los países que los producen. El café particularmente ha sido objeto de este tipo de crítica. Pero debe comprenderse que eso es cierto cuando el cultivo es manejado en forma extensiva y con técnicas primitivas.

Precisamente el café ha servido para demostrar hasta donde se puede llegar cuando se acumula un paquete tecnológico bien validado. En Centro América ha sido factible multiplicar varias veces la productividad que se obtiene con métodos rutinarios y poco desarrollados.

Lo anterior es aún más cierto y dramático cuando, el paquete tecnológico es aplicado en los nichos o zonas ecológicas óptimas para el cultivo.

Hasta ahora el problema ha consistido en definir las condiciones ecológicas apropiadas, en primer lugar, y luego en encontrar medidas o criterios agroclimatológicos adecuados para establecer zonas que reúnan esas condiciones. El presente documento constituye un valioso y productivo intento de solucionar ambos problemas.

Revisa con bastante amplitud la literatura sobre los efectos ambientales en el crecimiento y producción del cafeto y por otro lado hace uso de criterios modernos de climatología aplicados al agro, para establecer, juntamente con los requerimientos edáficos del cultivo, las áreas o zonas en donde se reúnen las mejores condiciones para producir café.

El uso de tecnología moderna aunado a explotaciones establecidas en lugares científicamente elegidos, hacen que la producción de café sea verdaderamente eficiente y capaz de competir con otros cultivos, haciendo frente a situaciones adversas como pueden ser los precios en el mercado mundial.

Este estudio, que ha sido financiado dentro de la donación AID-ROCAP 596-0090, debería derivar en medidas de política cafetalera más realistas en los países en los que se realice este tipo de trabajo. Por otro lado, como lo sugiere el mismo autor, debería insinuar a otros investigadores el afinar y avanzar aún más la metodología de zonificación agroecológica del café.

Carlos Enrique Fernández  
Jefe de PROMECAFE



## PROLOGO DEL AUTOR

El presente trabajo pretende determinar el potencial agroecológico de las diferentes regiones del país en relación al cultivo del café (Coffea arabica).

Las unidades de Zonificación son definidas mediante la combinación de tres índices: rendimiento potencial, condiciones climáticas necesarias para la antesis del cafeto y clases de suelos. La investigación ha sido grandemente impulsada por el Dr. Marc Berthouly, asesor del CIRAT para PROMECAFE y apoyada en forma constante y desinteresada por el Dr. Carlos E. Fernández, Jefe de PROMECAFE; a ambos el autor agradece su interés en el estudio.

Así mismo agradece los acertados comentarios y valiosas sugerencias dadas por el Ing. Rodrigo Cléves del Instituto del Café (ICAFFE) y por mi amigo y colega Ing. Gilberto Rojas del IICA.

En forma muy especial, el autor agradece el estímulo y apoyo, que son tan necesarios para la superación técnica y profesional, expresados en todo momento por el Lic. José A. Holguín, MSc., Coordinador del Plan de Acción de la Oficina del IICA en Costa Rica.





## CONTENIDO

### PAGINA

#### CAPITULO I

1. Origen y distribución .....	1
2. Efecto de los factores climáticos sobre el desarrollo del cafeto...	3
2.1 Intensidad lumínica.....	3
2.2 Precipitación .....	7
2.3 Temperatura .....	10
3. El cafetal como un ecosistema .....	13
4. Zonificación cafetalera de Costa Rica.....	20
5. Suelos aptos para el cultivo del café .....	23
5.1 Origen de los suelos.....	23
5.2 Contenido de materia orgánica .....	24
5.3 Propiedades físicas del suelo .....	24

#### CAPITULO II

##### MATERIALES Y METODOS

1. Etapas que comprende el Esquema Metodológico .....	27
1.1 Primera etapa. Definición de los requerimientos agroecológicos de los cultivos.....	27
1.2 Segunda etapa. Constitución de un banco de datos meteorológicos y estimación de los elementos climáticos faltantes.....	28
1.3 Tercera etapa. Definición del período de cultivo por medio del análisis frecuencial de lluvias.....	29
1.4 Cuarta etapa. Definición de las potencialidades de producción para el cafeto.....	34
1.5 Quinta etapa. Análisis de variables fisioedáficas.....	37
1.6 Sexta etapa. Síntesis cartográfica.....	37
1.7 Séptima etapa. Presentación de los resultados finales.....	39



CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo. Primera etapa. ....	41
2. Definición del período de cultivo por medio del análisis frecuencial de lluvias. Tercera etapa. ....	41
3. Definición de las potencialidades de producción para el café. Cuarta etapa. ....	49
4. Análisis de las variables fisioedáficas. Quinta etapa....	59
5. Síntesis cartográfica. Sexta etapa.....	63
6. Resultados finales. Séptima etapa.....	64
COMENTARIO FINAL .....	69
RESUMEN .....	71
ABSTRACT .....	73
RESUME .....	75
LITERATURA CITADA .....	77



## CAPITULO I

### 1. Origen y distribución

La literatura menciona varias versiones sobre el origen del uso del café como bebida; su demanda se extendió lentamente por Europa y después en Las Américas. Hasta donde se sabe, se dice que Próspero Alpino, fundador del Jardín Botánico de Venecia fue el primer europeo que mencionó el cafeto en sus escritos por haberlo visto cultivado en El Cairo.

En los párrafos siguientes se presenta la síntesis, realizada por Carvajal en 1972, de la investigación sobre la distribución del cafeto en el mundo hecha por uno de los autores contemporáneos.

En cuanto a los primeros cultivos, se admite que aún continúa la duda de si fueron iniciados en la propia Etiopía o en Yemén, Arabia, donde el café fue llevado por los árabes a principios del Siglo XVII o quizá antes. Fue de este país de donde los holandeses obtuvieron semillas de Coffea arabica, introduciéndolo allá por el año 1690, a la Isla de Java, donde tuvieron lugar los primeros cultivos extensivos de esta rubiácea. En 1706, fue llevado un arbusto de esta especie al Jardín Botánico de Amsterdam, espécimen que por circunstancias especiales se convirtió en la fuente de origen de millones de cafetos en América Latina, donde se introdujeron semillas, procedentes de Amsterdam, a la Guayana Holandesa, en 1714. El mismo cafeto dio origen a semillas para el Jardín Botánico de París, de donde pocos años después se envió simiente a la Isla de Martinica que, a su vez se convirtió en centro de distribución importante para Venezuela, Colombia, toda América Central y varias regiones de las Antillas. Hasta donde se sabe, el café fue llevado de Surinam a Cayena, en 1718, y de aquí a Belém de Pará, en 1727.

Poco después de su introducción a Indonesia, el café pasó a Ceilán, a la India y a otros países asiáticos ( Burma, Malaya, Tailandia, Indochina, China, Formosa, Filipinas, etc.). En América alcanzó luego México, siendo Paraguay aparentemente el último país en donde se cultivó en América del Sur.

El género Coffea incluye varias especies; no obstante, únicamente se citan cuatro en cultivo comercial, con marcado énfasis en las dos primeras según el siguiente orden: Coffea arabica L., C. canephora Pierre ex-Froehner, C. liberica Hiern y C. Dewevrei de Wild y Durant. La especie C. arabica se cultiva en un 85% de los países caficultores; en el Continente Americano es en donde ha tenido mayor difusión. En Asia esta especie se eliminó debido en parte a la incidencia del herrumbre (Hemileia sp). Se encuentra de preferencia en las partes altas de la India, donde se cuenta con variedades resistentes a las razas que predominan de este hongo, así como Filipinas y en el Sureste de Indonesia.

En cuanto a la especie C. canephora (Robusta), el auge de su cultivo se debe exclusivamente al hecho de que es altamente resistente al herrumbre de las hojas. Se le cultivó primero en Java, por los holandeses, en sustitución de C. arabica. En el presente se encuentra con carácter exclusivo en algunos lugares, v. gr., en la República de El Congo y predomina, asimismo, en Angola, Madagascar, Costa de Marfil, Uganda, Ceilán, Trinidad, Indonesia, Viet-Nam, etc.

La especie C. liberica es de importancia económica menor que las anteriores. Se cultiva con carácter de especie exclusiva en la Guayana Británica y se ha difundido, en adición en diecisiete países más. La especie C. racemosa, se limita a Mozambique; C. stenophylla, a Sierra Leona; C. Dewevrei ( var, excelsa) y C. abeokutae, principalmente a la Costa de Marfil. Algunos híbridos interespecíficos (v. gr., Conuga) se encuentran en cantidades reducidas en Indonesia.

Las regiones del mundo en que se cultivan las tres especies comercialmente más importantes del género Coffea exhiben límites ecológicos distintos; no obstante, en algunas localidades, v. gr., en India, el café Robusta y el Arabica se encuentran en un mismo clima, C. arabica se cultiva entre los 21° de latitud norte y 25° de latitud sur del Ecuador; el área que abarca el cultivo de las especies C. canephora o C. liberica es mucho más restringida.

y está limitada por latitudes más cercanas al Ecuador. Estas dos especies son originarias de las tierras bajas de Africa Central, la especie C. Arabica proviene de Etiopía.

## 2. Efecto de los factores climáticos sobre el desarrollo del cafeto

Al igual que todo cultivo, el cafeto presenta límites de adaptación a las diferentes condiciones climáticas. En la literatura universal se citan, rangos de temperatura óptimos para el cultivo de acuerdo a cada una de sus fases fenológicas, influencia de la precipitación en las etapas de crecimiento, desarrollo y en la formación de la flor principalmente.

La falta muchas veces de la definición exacta de estos umbrales climáticos e influencia de determinado factor o factores del clima en las diferentes etapas del desarrollo dificultan la modelización precisa de las interacciones cultivo-clima, necesarias en la evaluación de potencialidades agroclimáticas. Tal es el caso de la interacción de un período de sequía seguido por lluvias necesarias para la antesis del cafeto donde se conoce su necesidad de ocurrencia pero no se ha cuantificado el impacto del fenómeno.

En esta parte del trabajo, se presentarán los aspectos más relevantes de una amplia revisión de literatura, con la cual se pretende vislumbrar las relaciones existentes entre el cafeto (específicamente C. arabica) y su medio.

### 2.1. Intensidad lumínica

La influencia de la luz (radiación solar) se manifiesta en los cultivos según tres características: Intensidad (irradiación), calidad y duración (fotoperíodo). De estas, la que más influencia tiene sobre el comportamiento del género Coffea es la intensidad lumínica (Carvajal 1972).

Pérez (1983) indica que las experiencias en Costa Rica, desde 1956, sobre manejo del cafeto al sol y con la sombra regulada, combinando diferentes sistemas de siembra y poda, demostraron que el cultivo al sol, en comparación con la sombra balanceada, produce apenas aproximadamente

10 % más de cosecha por hectárea; teniendo por otro lado el inconveniente de que al sol se presenta con mayor intensidad la chasparria (Cercospora coffeicola) y que la gran cantidad de malas hierbas aumenta el costo de producción. El abuso de la sombra es la causa aparente de los bajos rendimientos en cafetos sembrados bajo este sistema (Vásquez, 1983). La poca luz unida a la alta humedad relativa favorece la incidencia de enfermedades que causan problemas en la maduración y recolección (Campos, 1978).

Castillo (1961) encontró que la luz afecta la longitud de las hojas, presentándose una disminución a medida que la intensidad aumenta; también observó que el número de hojas y el número de nudos del tallo principal presentan un comportamiento opuesto al de la longitud de la hoja. Carvalho, citado por Arias (1977) obtuvo un efecto sensible de la luz sobre el aumento del número de nudos, sobre el tamaño del entrenudo y sobre la producción de café cereza, obteniendo los mejores resultados a la mayor intensidad lumínica. Barros y Maestri (1972) afirman que intensidades mayores a  $0.11 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ , reducen la actividad fotosintética por un aumento probable en la fotorespiración.

En relación con la capacidad fotosintética o con la tasa de asimilación neta (RAN), los representantes del género Coffea exhiben una eficiencia relativamente baja, así como en cuanto a la intensidad relativa de crecimiento (IRC), en comparación con lo que se observa en otros géneros (Carvajal, 1972). El cafeto es una planta catalogada como  $C_3$  y parece tener fotorespiración aunque se tiene dudas con relación al origen del  $\text{CO}_2$  que aumenta en el mesofilo de la hoja como respuesta a las altas temperaturas y altas intensidades de luz (Maestri y Barros, 1981).

Alvin, (1960) obtuvo valores de RAN y de IRC para diferentes cultivares de C. arabica. Los resultados aparecen en el Cuadro 1. La magnitud de estos índices ha sido utilizada como indicador de las diferencias en la producción efectiva intervarietal (cosecha) entre cultivares de C. arabica con respecto a la "Typica". Sin embargo, de los datos que se consignan en el Cuadro 1 se concluye que las discrepancias en cuanto a producción intervarietal no pueden atribuirse a diferencias en RAN, por cuanto los valores para las tres



CUADRO 1. Capacidad fotosintética de los cultivares: Typica, bourbon, caturra, de 73 a 95 días de edad.\* Según Alvin (1960).

Variedad	NAR (G/dm <sup>2</sup> / Semana	IRG (g/g/ Semana	Area foliar dm <sup>2</sup>	Altura cm	Peso seco			
					hojas	tallos	raíces	total
Typica	0,1652	0,2023	0,814	11,8	0,350	0,156	0,101	0,607
Bourbon	0,1771	0,2352	0,957	11,6	0,452	0,180	0,113	0,745
Caturra	0,1603	0,2233	0,918	9,0	0,428	0,144	0,103	0,676
D.M.S.5%	N.S.	0,0033	0,095	0,7	0,042	0,013	N.S.	0,078

\* Datos obtenidos en la Estación Experimental Agrícola de Tingo María (Perú)

NAR: Tasa de asimilación neta.

IRG: Índice de crecimiento relativo

CUADRO 2. Actividad fotosintética en algunos cultivares de café. Según Sondahl et al (1976).

CULTIVAR	ESPECIE	FOTOSINTESIS (mgCO <sub>2</sub> dm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> )
Mundo Novo	Arabica	6,42
Catuaí	Arabica	7,40
1130-13	Arabica	5,39
H 6586-2	Arabica	5,36
Guaraní	Robusta	3,96

variedades son semejantes; no obstante, se observan diferencias con respecto al área foliar, IRC, y peso seco total (Carvajal, 1972). Watson (1952), indica que en general la producción de materia seca depende más de la variación en el área foliar que de la tasa de asimilación neta.

En un trabajo posterior a los citados, Sondahl et al (1976) encontró diferencias significativas en la capacidad fotosintética entre cultivares de café (Cuadro 2). Esto sugiere tasas de fotorespiración diferentes y por ende capacidad de adaptabilidad también diferente, o requerimientos ecológicos un tanto distintos. Castillo (1961) señala que la adaptación del cafeto a condiciones de plena exposición solar, observada en el campo, coincide con la observación de valores más altos en la RAN para esa condición.

En relación al fotoperíodo, Piringer y Borthwick (1955) encontraron en cuanto a la iniciación floral, que el cafeto parece ser una planta de día corto. En condiciones de día largo, las plantas crecen vegetativamente. El fotoperíodo crítico, señalado por estos autores para la iniciación de la floración es entre 13 y 14 horas. La iniciación floral ocurre en períodos de luz de 13 horas o menos, más no en aquellos de 14 horas o más. La iniciación de las yemas florales ocurre antes con un fotoperíodo de 8 horas que con uno de 12 horas.

Observaciones posteriores (Cannel, 1972) han puesto en duda el papel de la duración del día en el control del crecimiento y la florescencia del cafeto.

Cannel (1972) sugiere que los cambios estacionales en el crecimiento y en el desarrollo de flores de los árboles adultos en la mayoría de las áreas en las que se cultiva café, son regulados por factores diferentes al fotoperíodo, principalmente fluctuaciones de temperatura y de lluvia. En las regiones tropicales, la fluctuación de la longitud del día durante el año es tan poca que se asume carece de influencia sobre el crecimiento (Maestri y Barros, 1981).

Las hojas individuales del cafeto se saturan a bajas intensidades luminosas; pero la planta en conjunto, puede tener un déficit de iluminación, bajo condiciones naturales, debido a la disposición del follaje que causa autosombrío y las continuas fluctuaciones de la luz natural (Castillo y López, 1966).

El efecto de la luz sobre la fructificación y calidad del grano no ha sido abordado ampliamente.

La presencia de granos vanos y defectuosos, es una característica varietal o genética, pero parece que tal condición se agudiza en condiciones de plena exposición solar y baja fertilidad (Montes, 1979; Arias, 1977).

La sombra, por otra parte, puede provocar indirectamente mejor calidad en lo que respecta a las propiedades organolépticas al ayudar a un desarrollo y maduración de frutos más lentos (Carvajal, 1972, Jaramillo, 1976).

## 2.2. Precipitación

Existe diversidad de opiniones sobre los rangos óptimos de precipitación para el cafeto. Carvajal (1972) dice que el consenso de varios autores indica que una precipitación anual entre 1600 y 1800 mm es ideal, y que el mínimo absoluto es cerca de 1000 mm, por debajo de esta precipitación los rendimientos son muy fluctuantes y bajos (García, 1968). García, citando a otro grupo de investigadores, señala como precipitación óptima entre 1400 y 2000 mm anuales. Alegre (1959) sugiere un óptimo entre 1200 y 1800 mm anuales. Para Campos (1978) el rango ideal se encuentra entre 2000 y 2300 mm, con un mínimo de 145 días de precipitación y un máximo de 245.

Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco favorecen el crecimiento del cafeto. El período seco parece ser importante para el crecimiento de la raíz, la maduración de las ramas formadas durante el período lluvioso previo, iniciación de flores y la maduración de frutos (Maestri y Barros 1981; Gómez, 1977),

García (1968) señala como límite de distribución en el tiempo 4 meses de relativa sequía y de ser posible correspondiendo estos meses al período de reposo vegetativo, que precede a la floración principal. A pesar de esto, Wellman, citado por Maestri y Barros (1981) y el mismo García (1968), afirman que en regiones en las que no existen una estación seca definida, el cafeto crece tan bien como en otros lugares. Sin embargo, debe considerarse el efecto de otros factores, principalmente de la temperatura durante los períodos de menor lluvia (Maestri y Barros, 1981).

La floración del cafeto es fuertemente influenciada por la precipitación. Existe abundante literatura que indica que la floración del cafeto está asociada con la distribución de las lluvias y que la apertura de las flores puede ser inducida experimentalmente, manipulando los períodos de sequía y de humedad (Piringer y Bortwick, 1955; Alvin, 1960; Frederico y Maestri, 1970; Gopal y Vasudeva, 1973; Magalhaes y Angelocci, 1976). Algunos autores Gopal et al, 1975 hablan incluso de lluvias de floración cuya magnitud oscila entre 23,9 a 38,2 mm.

Una vez diferenciadas las yemas florales del cafeto (Moens, 1968), estas crecen hasta cierto tamaño, 4 a 5 mm (Frederico y Maestri, 1970) ó 7 a 8 mm (Gopal y Vasudeva, 1973) y cesan su crecimiento (entran en reposo). El crecimiento se reanuda en respuesta a lluvias de cierta magnitud, seguidas por un período seco definido; de lo contrario, las yemas permanecen en reposo indefinido (Alvin, 1960). Este fenómeno en el cual la antesis (apertura de las flores) ocurre en respuesta a lluvias seguidas de un período de " stress" hídrico (baja humedad) se denomina " Hidroperiodismo " (Alvin, 1960).

Alvin (1973), citado por Magalhaes y Angelocci (1976) propuso que el período seco es necesario para romper el período de reposo de las yemas florales, en tanto que la absorción de agua es necesaria para romper la fase latente (quiescente) la cual persiste, aún cuando el reposo haya concluído; debido a limitación de agua; de ahí que todas las plantas cuyas yemas han sido inducidas, pueden ser estimuladas a florecer por períodos alternativos de sequía y humedad (Moens, 1968).

En zonas donde no ocurre una estación seca definida, las yemas florales crecen continuamente, resultando en floraciones sucesivas con las consecuentes desventajas de cosecha (Frederico y Maestri, 1970).

La apertura de las flores ocurre en un período de 8 a 10 días después de la primera lluvia (Gopal y Vasudeva, 1973). Otros autores opinan que la antesis ocurre entre los 10 y los 14 días después (Frederico y Maestri, 1970).

En Costa Rica (Arias, 1977), varía según la zona, a 800 m.s.n.m. ocurre 8 días después de la lluvia, pero a 1300 m.s.n.m. el período se alarga a 12 días.

Magalhaes y Angelocci (1976) evaluaron la importancia de las hojas y de los cambios y potencial hídrico en la apertura de las flores del cafeto. Ellos midieron el potencial hídrico de las yemas florales en reposo y del par de hojas que se insertan en la misma axila; bajo varios niveles de humedad del suelo. Encontraron que la ruptura del reposo es un proceso asociado a un cambio rápido en el balance hídrico (entre las yemas florales y las hojas) que depende a su vez del nivel de agua en el suelo. Para un potencial en las hojas de -12 bars o menos, la floración ocurre en respuesta a la irrigación. Por otra parte, las plantas no florecen bajo condiciones de disponibilidad de agua que inducen potenciales hídricos en la hoja mayores a -11 bars, antes de la irrigación. Así, la irrigación rompe el reposo de las yemas al cambiar rápidamente un gradiente de potencial hídrico negativo establecido entre las yemas florales y las hojas inmediatamente debajo de ellas; provocando un flujo de agua hacia las yemas debido al rápido incremento en el potencial hídrico de la hoja. La remoción de las hojas inhibe la floración, aún cuando las yemas estén fisiológicamente maduras (Magalhaes y Angelocci, 1976). Por tanto, deben prevenirse enfermedades y plagas que causen defoliación, principalmente en la época de diferenciación y desarrollo de yemas florales. La roya (Henileia vastatrix L.) es una seria amenaza al respecto, máxime que es favorecida por las condiciones de temperatura y precipitación que favorecen el normal desarrollo del cafeto (Montoya y Chaves, 1981). Observaciones sobre cambios en el contenido de agua en las yemas

florales y en las hojas durante la antesis y la importancia de las hojas en este proceso ya habían sido realizadas por Gopal y Vasudeva (1973) y Gopal et al (1975 a).

En relación a la fructificación, en Kenya, el tamaño final del grano depende mucho de la lluvia de los cuatro a seis meses anteriores a la cosecha (10 a 17 semanas después de la floración).

Este período corresponde al de exposición rápida del fruto (la curva de crecimiento de los frutos es sigmoide) después del cual se endurece el endocarpio.

El tamaño que alcanza los lóculos en ese momento, determina el tamaño potencial del grano (Barros y Maestri, 1981).

En países donde las áreas cafetaleras pueden dividirse según su maduración sea " temprana " o " tardía ", dependiendo de la época de floración, se han determinado diferencias en los factores de calidad (tamaño, color y calidad del grano crudo; tipo de hendidura y tueste, acidez, cuerpo y sabor del licor) de las cosechas " temprana " y " tardía " (Worner, Wotton, 1967).

### 2.3. Temperatura

Según Carvajal (1972), en la mayoría de las regiones caficultoras del mundo la fluctuación estacional de la temperatura no constituye problema, excepción hecha en algunas áreas en Brasil donde ocurren heladas causadas, por temperaturas bajo el punto de congelamiento o ligeramente superiores.

Temperaturas cerca de 0°C no son perjudiciales para el café si se mantienen por corto tiempo.

Los rangos de temperatura señalados como óptimos están entre 17°C y 25°C (Carvajal, 1972), 18°C a 21°C (Alegre, 1959) y 13°C a 27°C

(Carvajal, 1972) para la temperatura media anual.

García (1968) da como temperatura media anual óptima entre 20°C y 24°C, con medias de máximas y mínimas alrededor de 30°C y 14°C respectivamente. No obstante, en zonas donde se encuentran poblaciones naturales de C. arabica, principalmente en Abisina entre 7° y 9° de latitud norte, la temperatura media es de 21°C con máximas de 30°C y mínimas de 6°C (García, 1968). Como temperaturas media del mes más cálido se dan valores de 23°C y 27°C.

Se estima que temperaturas arriba de este límite aceleran el crecimiento vegetativo y frecuentemente ocurre muerte descendente, así como floración y fructificación limitadas (Carvajal, 1972; Gopal y Vasudeva, 1973, Frederico y Maestri, 1981). Temperaturas promedio del mes más frío 16°C ó de 13°C provocan el cese de crecimiento y el arbusto alcanza poco tamaño (Carvajal, 1972). La temperatura, es el factor ambiental que se correlaciona más estrechamente con el crecimiento (Maestri y Barros, 1981); esto depende de la región donde se realice el estudio (Gómez, 1977).

Al igual que en otras plantas el cafeto necesita crecer bajo un régimen de termoperíodo que beneficie el crecimiento vegetativo y el sistema radical (Carvajal, 1972).

El crecimiento vegetativo parece favorecerse más con la disminución de temperatura que el aumento de la misma. Las altas temperaturas inhiben el crecimiento, ya que arriba de 24°C comienza a disminuir la fotosíntesis neta, tornándose insignificante a 34°C. Esta es posiblemente la razón por la que no se recomienda el cafeto para las zonas bajas ecuatoriales. Sin embargo, existen plantaciones exitosas en regiones ecuatoriales o muy cerca de ellas tal es el caso de Kenya, Tanzania y Colombia (Maestri y Barros, 1981).

Nunes et al citado por Maestri y Barros (1981) encontraron que el mejor crecimiento de las hojas tiene lugar con temperaturas de día/noche de 24°/ 20°C, el crecimiento declinó con temperaturas diurnas bajas (20°/ 25°C).

La temperatura de la hoja y del suelo depende del agua disponible en el suelo

Orozco y Jaramillo (1978) encontraron que el promedio de temperatura de las hojas en plantas regadas fue menor que en plantas sin riego, asimismo, los rangos de temperatura variaron según las especies; C. arabica o C. canephora, siendo menores en esta última.

La temperatura influye sobre la floración y la fructificación del cafeto, Gopal y Vasudeva (1973) afirman que la diferenciación floral ocurre a bajas temperaturas. Mes, citado por Frederico y Maestri (1970), señala que, bajo condiciones controladas la diferenciación de yemas axilares y yemas florales ocurre a bajas temperaturas y que a temperaturas altas (30°C) las yemas axilares permanecen indiferenciadas o vegetativas. El mayor número de botones florales por axila fueron producidos en cafetos cultivados bajo una combinación de temperatura diurna/nocturna de 23°/17°C en comparación a la combinación 26°/24°C. La floración fue bastante irregular y reducida bajo la combinación 30°/24°C. Según Frederico y Maestri (1970), algunos autores opinan que la temperatura parece ser el factor más importante en el control de la velocidad del crecimiento de las yemas florales y su antesis posterior; luego de la dormancia.

Las altas temperaturas diurnas, durante el período post-diferenciación; son dañinas para el crecimiento normal de la yema floral, y eventualmente conducen a una atrofia floral (Gopal y Vasudeva, 1973). Una termoperiodicidad diaria inadecuada ocasiona un desarrollo floral deficiente y gran incidencia de flores estrella, o sea, un tipo de flores subdesarrollada (Carvajal, 1972).

El efecto de la temperatura en la zona radical sobre el crecimiento del cafeto no ha recibido mucha atención. Maestri y Barros (1981) revisaron alguna información sobre este aspecto. Las temperaturas día/noche de 26°/20°C en las raíces ofrecen la mejor combinación para el crecimiento de cafetos jóvenes y la acumulación de materia seca tanto en la parte aérea como en las raíces.

Temperaturas más bajas o más altas ya sea en forma continua o alterna tienen un efecto inhibitorio y a veces (arriba de 30°C) letal.

Tanto las temperaturas altas como las bajas le causan daños visibles al tallo.



del cafeto (Barros y Maestri, 1981). Silva et al (1976) observaron que temperaturas extremas de -5, 0, 45, y 50°C produjeron lesiones en el tallo, provocando una destrucción de los tejidos conductores del floema, cuando el daño fue severo las plantas murieron. Barros y Maestri (1981) informan que el estrangulamiento de la parte baja del tallo que aparece en plantas jóvenes durante los inviernos fríos del sur de Brasil, fue reproducido experimentalmente usando bajas temperaturas. Temperaturas hasta de 11°C causan este tipo de lesión. Al respecto, Carvajal (1972) afirma que es el tiempo de exposición a las bajas temperaturas la que determina el daño; pues temperaturas cercanas a 0°C no son perjudiciales para el cafeto si se mantienen por corto tiempo.

### 3. El cafetal como un ecosistema.

El crecimiento normal de una planta de café está determinado por la interacción de todos los diversos elementos y factores que constituyen su ambiente. Sin embargo, Fournier (1980) señala, que este crecimiento está fuertemente supeditado a los elementos o factores que se encuentran en menor cantidad o en exceso. Estos factores y elementos que limitan el crecimiento de una planta de café pueden ser tanto de carácter físico (luz, humedad, nutrientes) como bióticos (hongos, bacterias, nemátodos, malas hierbas). Una especie de café como Coffea arabica L., está dotada de un determinado potencial genético que se manifiesta a través del grado de adaptabilidad al ambiente de los diversos cultivares y variedades que la integran. Esta situación le permite a la especie crecer con éxito en un territorio bastante amplio, de acuerdo al ámbito de tolerancia de sus individuos. Se tiene entonces, que cada especie tiene un ámbito de tolerancia con respecto a los componentes de su ambiente con dos puntos extremos, uno máximo y otro mínimo y una zona óptima.

Así pues, tanto los excesos como faltantes de un factor o elemento del ambiente pueden tornarse limitantes para la planta de café. Por ejemplo, un suelo con exceso de humedad puede ser tanto o más limitante para el crecimiento del cafeto que uno en que este elemento se encuentre a un nivel inferior de la capacidad de campo del suelo. Casualmente, el éxito de un

cultivo de café en una determinada región depende de que las variedades que ahí se planten tengan un ámbito de tolerancia adecuado al ambiente de este sitio. (Fournier, 1980).

Un ecosistema se establece cuando se produce un flujo de energía del medio físico hacia los seres vivientes, fundamentalmente a través del proceso de fotosíntesis. Conforme el hombre ha ido colonizando la tierra, los ecosistemas naturales, tales como los bosques, han ido cediendo lugar a ecosistemas " artificiales ", como es el caso del agroecosistema de un cafetal. Estos ecosistemas se establecen con un objetivo definido, como es el suministrar un determinado producto agrícola. El mantenimiento de la producción en estos agroecosistemas depende fundamentalmente de la capacidad que tenga el hombre de aprovechar, de manera racional, el ambiente del lugar en beneficio de la especie o especies cultivadas en ese sitio.

La productividad de un ecosistema natural llega a alcanzar cierta estabilidad dinámica, como resultado de un equilibrio entre el medio físico y la biota.

Este equilibrio se mantiene dentro de ciertos límites, siempre que no se produzcan alteraciones entre los diversos componentes del sistema. Sin embargo, en un agroecosistema como el de un cafetal, este equilibrio es muy frágil y depende enteramente de la acción del hombre.

El éxito de la producción agrícola además de los factores socioeconómicos depende de cómo la tecnología puede aminorar la resistencia ambiental que ejercen el clima, el suelo y la fisiografía sobre el potencial genético de los individuos que componen la población de plantas cultivadas.

En ecosistemas naturales la productividad resultante de esta interacción población-ambiente es lo fundamental, sin embargo, en agrosistemas lo que interesa en forma directa es la producción, o sea, aquella parte de la productividad que se logra encauzar hacia uno o varios productos de interés económico. Por ejemplo en un cafetal, lo que interesa es el volumen de la cosecha

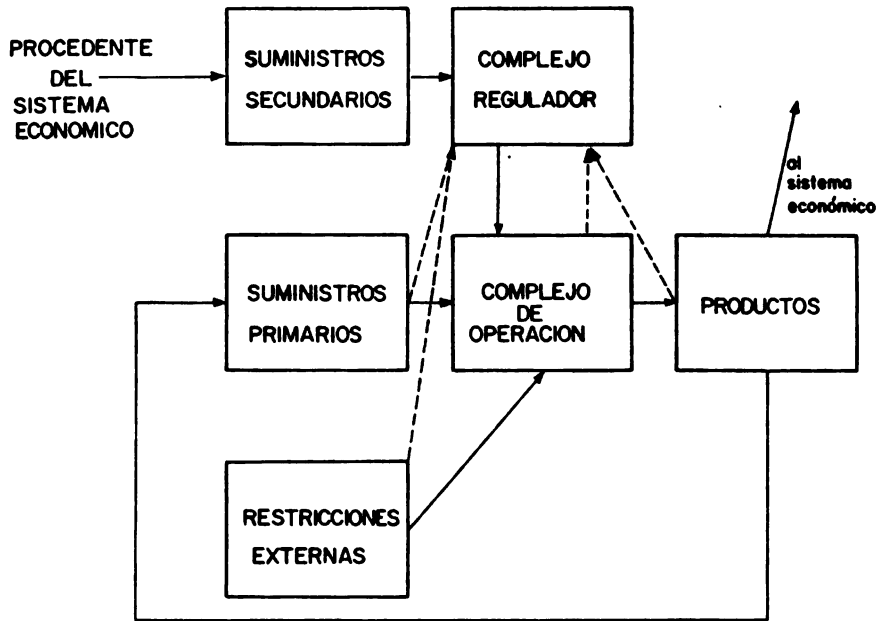
que este produce al año.

La Figura 1, tomada de Wallen por Fournier (1980) representa un modelo de agro-sistema que empleó como base este último autor para el análisis de cuatro modelos productores de café.

El modelo de Figura 2 representa las condiciones naturales del bosque etíope que se considera como el área de origen de la especie Coffea arabica L. Este bosque es relativamente complejo y en él están presentes diversos estratos de plantas leñosas.

Los modelos de las Figuras 3, 4 y 5 muestran tres situaciones de ecosistemas productores de café regulados por el hombre. Estas tres situaciones se pueden observar en la actualidad en los países productores de café de América Latina y deben ser consideradas en el momento de definir la metodología de zonificación. El primero de estos modelos (Figura 3) es un cafetal en el que los suministros secundarios (Figura 1) son relativamente bajos y en igual forma lo es el complejo regulador. En estas condiciones, la productividad y producción del ecosistema cafetalero dependen en alto grado de los suministros primarios y de las restricciones externas en interacción con el complejo de operación. También es, en este sistema en el que los productos incluyen un alto porcentaje de desechos no pertenecientes a la producción de café.

Los modelos de las Figuras 4 y 5 ilustran dos ecosistemas productores de café en los que emplean un alto grado de tecnología (suministros secundarios-complejo regulador) de ahí que los suministros primarios se vean en ambos casos muy reforzados y las restricciones externas altamente reducidas. Por tal razón la producción aumenta grandemente. No obstante, entre estos dos ecosistemas cafetaleros existe una diferencia notable, uno de ellos opera bajo sombra regulada (Figura 4) mientras que el otro (Figura 5) representa la máxima expresión de los suministros secundarios sobre los complejos regulador y de operación. Este es un cafetal cultivado a plena exposición solar, con alta densidad de siembra, alto nivel de fertilización química y un estricto combate de plagas,



COMPONENTES=

Suministros primarios		suministros secundarios	restricciones externas	regulación	operación
<u>ATMOSFERA</u>	<u>GEOSFERA</u>				
radiación	tipo suelo	hombre	contaminantes	cultivo	planta
temperatura	prof. suelo	máquinas	enfermedades	nutrimentos	genética
precipitación	cobertura suelo	energía	pestes	pesticidas	fenología
evaporación		agua	malas yerbas	irrigación	fisiología
viento	nutrimentos	fertilizantes		protección de ambiente físico	productos cosecha desperdicios
gases					

FIG. 1 MODELO GENERAL DE UN AGROSISTEMA (Wallen, 1974)



FIG 2 BOSQUE DE ORIGEN DEL CAFE (Fournier, 1980)



FIG 3 CAFETAL CON EXCESO DE SOMBRA (Fournier, 1980)

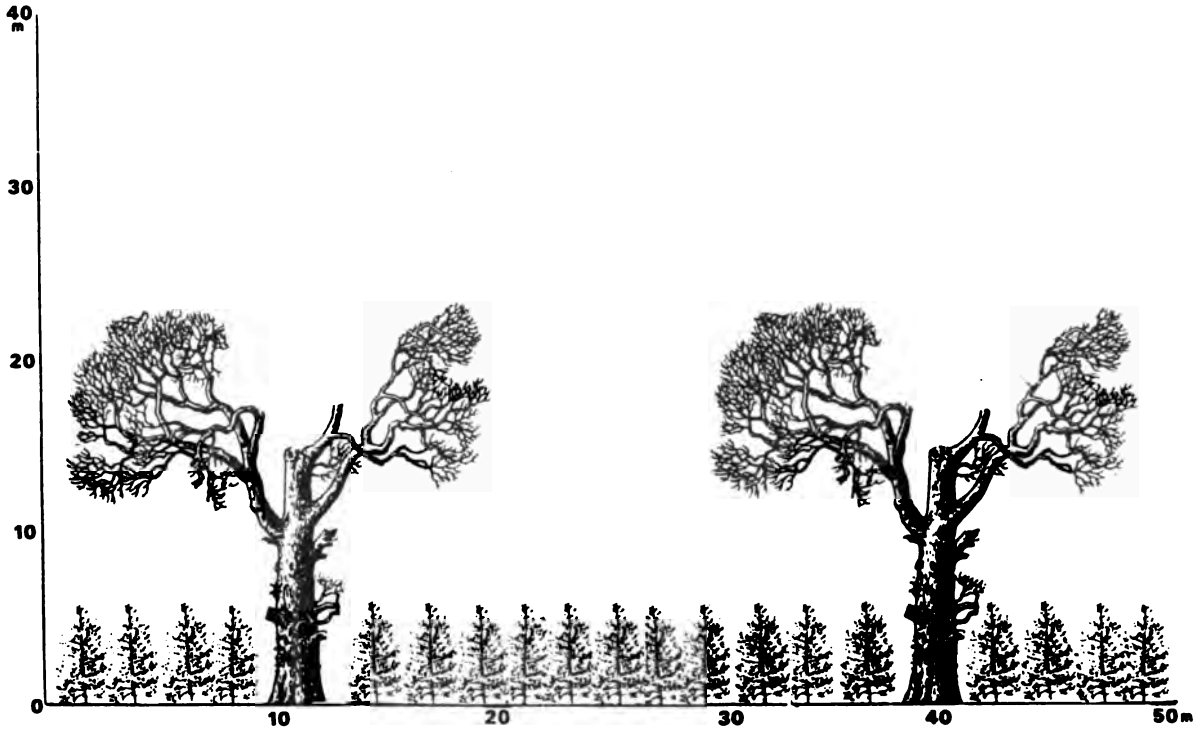


FIG 4 CAFETAL DE ALTA DENSIDAD DE SIEMBRA CON SOMBRA REGULADA (Fournier, 1980)

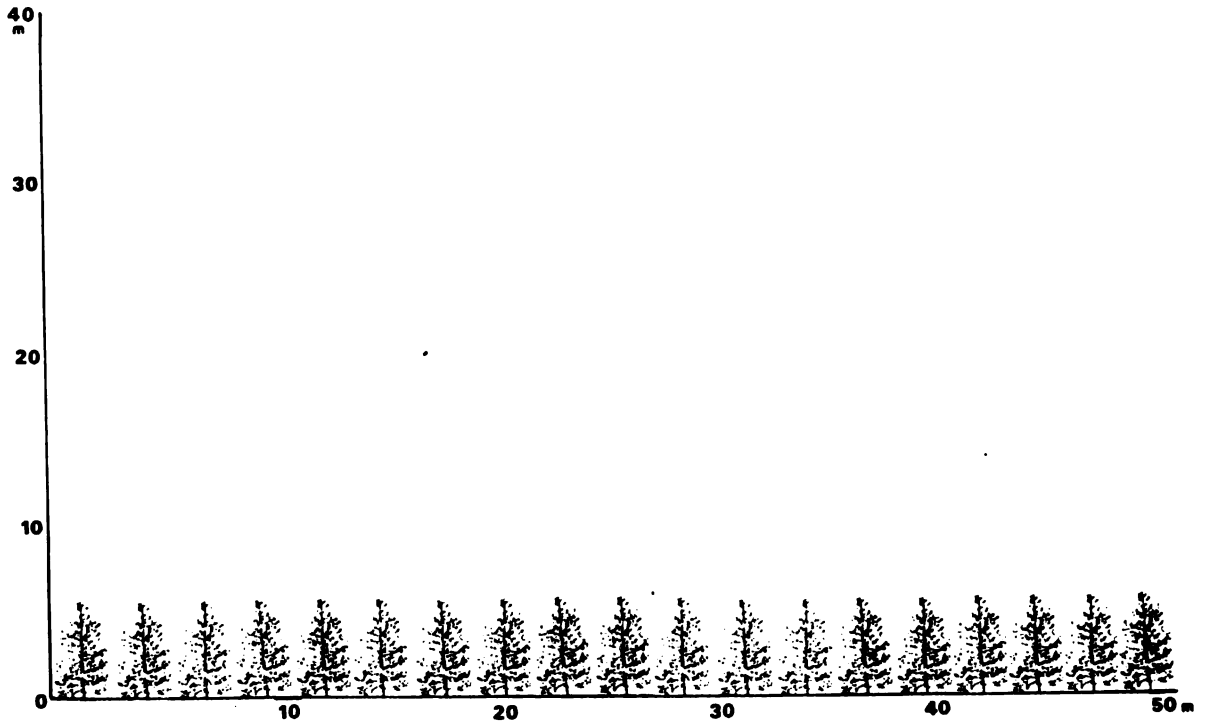


FIG 5 CAFETAL CON ALTA DENSIDAD DE SIEMBRA Y SIN SOMBRA (Fournier, 1980)

enfermedades y malas hierbas. Estas últimas altamente reducidas en cuanto a densidad y complejidad florística, por falta de luminosidad. En este tipo de ecosistema altamente dependiente de la tecnología, la productividad y producción son menos diferentes que en los otros casos contemplados.

En el área cafetalera de Costa Rica se observan ya numerosos cafetales bajo estas condiciones del modelo de la Figura 5, en donde la densidad por hectárea es de 7 200 plantas y la producción de café en el tercer año de plantados es cerca de 5 500 kg. por hectárea (Pérez, 1977).

A la vez, es este modelo (Figura 5) el que se acerca más a las condiciones que pueden ser modelizadas sin tener que incluir ajuste a las variables externas o suministros primarios, provocados por la acción del hombre sobre el agrosistema.

Esto es, un cafetal con sombra regulada, provoca un cambio notable en las condiciones microclimáticas y edáficas del sitio, difícil de cuantificar y modelizar. A continuación se presenta un breve resumen de los cambios que provoca la acción del hombre cuando introduce sombra al modelo de la Figura 5 (Fournier, 1970; Hardy, 1970; Holdridge, 1978).

1. Disminución en la luminosidad
2. Disminución en la temperatura del suelo y de la atmósfera circundante, así como en su fluctuación diurna y anual.
3. Disminución en la evapotranspiración.
4. Aumento de la humedad relativa.
5. Disminución en la intensidad y patrón de movimiento de las corrientes de viento.
6. Aumento de la capacidad de infiltración del suelo.
7. Disminución en la escorrentía.
8. Aumento de la humedad del suelo.
9. Cambios en la dinámica de los gases en el suelo.
10. Aumento en el contenido de materia orgánica del suelo.

11. Cambios en la reacción del suelo
12. Disminución en la erosión
13. Disminución en la mineralización del mantillo
14. Cambios en la microflora y microfauna del suelo y el mantillo
15. Cambios en los ciclos biogeoquímicos
16. Disminución de las poblaciones de hierbas y graníneas.

Al ser tantos los cambios que se dan dentro de un agrosistema con sombra regulada y de difícil modelización, la metodología de zonificación deberá limitarse en un principio a un cafetal con alta densidad de siembra y sin sombra.

#### 4. Zonificación cafetalera de Costa Rica

En 1964, se hizo un primer intento para fijar los límites climáticos de las diferentes zonas cafetaleras, y establecer así una zonificación ecológica del país (Acosta; Cléves, 1964). A partir de esa fecha; diversas investigaciones del Departamento de Estudios Agrícolas y Económicos de la Oficina del Café han confirmado la validez de aquella zonificación, en sus aspectos básicos. En 1975 Cléves realiza una revisión de este estudio, caracterizando desde el punto de vista climático las condiciones de las principales regiones productoras de café del país, constituyéndose el mismo en la actual zonificación cafetalera de Costa Rica. (Cuadro 3). A este estudio pionero, no se le dio expresión cartográfica y no se incluyó el análisis de las variables fisioedáficas, sin embargo, es la fuente más rica en información sobre las características del grano y de la taza en relación a las condiciones climáticas imperantes en la región. Información que conserva su validez y que será de gran utilidad para la interpretación del potencial de las zonas que se delimiten como aptas para el cultivo.



Ingeniero Rodrigo Cléves Serrano

ZONIFICACION CAFETALERA I

Noviembre de 1975.

TIPOS DE CAFE REGIONES — MADURACION	SUBTIPOS Y ZONAS DE PRODUCCION	ALTITUD (METROS)	PRECIPIT.
			TOTAL
STRICTLY HARD BEAN (S.H.B.) Vertiente del Pacífico. Estaciones húmeda y seca bien definidas. Maduración tardía.	S.H.B. NORTE: Alajuela y Heredia (por semejanza, también el SHB de Coto Brus y El General).	1200-1600	3000 mm
	S.H.B. CENTRAL: Zona central del Valle Central (Moravia, Tres Ríos, etc.).	1200-1650	2250 mm
	S.H.B. SUR: Sur de San José y Cartago (Aserri, Dota, Turrazú, etc.).	200-1700	2000 mm
GOOD HARD BEAN (G.H.B.) Vertiente del Pacífico, Valle Central Occidental. Estaciones húmeda y seca bien definidas. Maduración Tardía.	Se produce en Naranjo, Palmares y San Ramón, diferenciándose de otros tipos de café del Valle Central, de la misma altitud, por su maduración tardía.	1000-1200	2250 mm
HARD BEAN (H.B.) Vertiente del Pacífico, Valle Central Occidental. Estaciones húmeda y seca bien definidas. Maduración Media, exceptuando el subtipo producido en zonas lluviosas. (Mad. Temprana).	H.B. ZONA ALTA: franja inmediata inferior a la de S.H.B. en San José, Heredia y Alajuela.	1000-1200	2750 mm
	H.B. ZONAS BAJAS O LLUVIOSAS: Zonas cálidas de Alajuela, y otras de maduración temprana como Paríscal, Acosta y Grecia.	800-1000	3000 mm a 2600 mm
MEDIUM HARD BEAN (M.H.B.) Pacífico Húmedo (Sur). Estaciones húmeda y seca definidas, pero con niveles de precipitación más altos que los anteriores. Coto Brus: Maduración Media; los inicios son de Maduración Temprana. El General: Maduración Temprana.	M.H.B. COTO BRUS: Sabalito a Río Negro y zonas adyacentes.	800-1200	3750 mm
	M.H.B. COTO BRUS LLUVIOSO: Campos 2 y 3, Agua Buena, Cañas Gordas, etc., hasta San Vito.		4200 mm
	M.H.B. EL GENERAL: Valle de El General y estribaciones montañosas adyacentes.	400-1200	3200 mm
HIGH GROWN ATLANTIC (H.G.A.) Vertiente Atlántica, Valle Central Oriental. Estación lluviosa más prolongada que en la tendencia pacífica, y estación seca no bien definida. Maduración Tardía: los inicios son de Maduración Media.	H.G.A. PARAISO Y JIMENEZ: Oroqui, Palomo, Ujarras, Cachi, Santiago, Juan Vinales, etc.	900-1200	2230 mm
	H.G.A. TURRIALBA NORTE: Zona de alta pluviosidad al Norte de Turrialba, (Aguarces).		3250 mm
MEDIUM GROWN ATLANTIC (M.G.A.) Vertiente Atlántica, Valle Central Oriental. Estación lluviosa más prolongada aún que en el tipo anterior. Maduración Temprana.	M.G.A. TURRIALBA: Valle de Turrialba y estribaciones montañosas adyacentes. También zona de SARAPIQUI.	600-900	3000 mm
	M.G.A. CIMARRON: Zona de Cimarrón de Peralta, con más altos niveles de precipitación.		3750 mm
LOW GROWN ATLANTIC (L.G.A.) SUB-VERTIENTE NORTE Y ATLANTICO. Zona de alta pluviosidad, sin definición de estaciones. Maduración Temprana.	L.G.A. ZONA ALTA: Franja inmediata inferior a la de M.G.A., en San Carlos y algunas zonas atlánticas.	350-600	4000 mm
	L.G.A. ZONA BAJA: Zona cafetalera de menor altitud, bajo influencia atlántica; San Carlos, Sarapiquí, etc.	200-350	
PACIFIC (P.) Pacífico Seco (Norte) Estaciones húmeda y seca muy definidas con un mínimo de días con lluvia. Verano prolongado. Maduración Media.	P. PUNTARENAS, GUANACASTE Y ALAJUELA. Cultivo muy disperso que abarca pequeñas zonas de esas 3 provincias.	300-1000	2250 mm



## 5. Suelos aptos para el cultivo del café.

El cafeto exhibe una gran adaptabilidad respecto a los suelos aptos para su cultivo. Según Carvajal (1972) en ausencia de características físicas indeseables, como es el caso de los suelos con poca aeración natural, muy superficiales o con predominancia de agregados gruesos, puede decirse que las limitaciones de carácter químico no ofrecen problema, a la luz del conocimiento de hoy. En cuanto a la topografía, el cultivo del café se practica en suelos planos como de fuerte pendiente.

### 5.1. Origen de los suelos

Los suelos dedicados al cultivo del cafeto son de muy variado origen en el mundo. Algunos son derivados de cenizas volcánicas (Inceptisoles), a menudo laterizados, como ocurren en América Central, México, Java, Colombia, Hawai, Camerún y Malaya. Estos suelos y los de origen aluvial, presentan condiciones excelentes para el cultivo del café pero no son de muy amplia distribución, (Carvajal, 1972).

En Costa Rica los suelos derivados de cenizas volcánicas y los aluviales, son en general los mejores para el cultivo del cafeto. Son suelos profundos de excelentes condiciones físicas y altos en bases de intercambio. En México, los suelos cafetaleros que han sido estudiados, aunque de origen volcánico en un 90%, la saturación de bases, el nitrógeno total y la capacidad de intercambio son comúnmente altos. En estos estudios se han encontrado algunas correlaciones: la CICT muestra correlación significativa con la materia orgánica, así como los agregados finos (limo + arcilla) y el contenido de  $Al^{+3}$  cambiante. El porcentaje de saturación de bases y la reacción del suelo (pH) dependen principalmente del contenido de calcio y aluminio. Algunas propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica, de los cationes nutrientes mayoritarios ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$ ), el

contenido de nitrógeno, acidez, aluminio, saturación de bases y la CICT resultaron afectadas por factores climáticos y por la topografía, (Carvajal 1972).

## 5.2. Contenido de materia orgánica

El tenor del nitrógeno está regido en los suelos principalmente por el factor clima. El contenido de materia orgánica de los suelos disminuye a medida que aumenta la temperatura media anual. De la misma manera, la disminución de la precipitación media anual contribuye a bajar el contenido de materia orgánica.

La productividad primaria neta de un ecosistema es el producto de la estabilidad dinámica y se fundamenta en el suministro continuo de la hojarasca, con lo cual se produce un reciclaje de nutrimentos. Estudios de esta clase han sido realizados en México, con el propósito de cuantificar el aporte de la materia orgánica como factor ecológico, para compararlo con la dinámica de un ecosistema forestal. Estos trabajos han puesto en evidencia que bajo la influencia de la sombra no se observan diferencias significativas con respecto al bosque caducifolio. Sin embargo, las discrepancias se tornan importantes cuando se incluye la variable del cultivo a pleno sol. En Brasil se considera que un suelo ideal debe contener alrededor de un 5% de materia orgánica.

## 5.3. Propiedades físicas del suelo

Desde el punto de vista físico, los suelos para café deben ser profundos, permeables, friables y de buena textura. La aeración del suelo es fundamental para el cultivo con éxito. El suelo de Brasil, denominado originalmente Terra roxa, se cita como ejemplo de suelos profundos, pues a menudo alcanzan hasta 20 m. En Kenya, Colombia y Costa Rica los mejores suelos son también profundos. En general, los suelos de mal drenaje y los muy pesados no son aconsejables.

Por otra parte, los arenosos y livianos, muy sueltos, son de relaciones hídricas pobres. Ninguna de las tres especies comercialmente más importantes de café crece bien en suelos arcillosos o muy livianos. En Brasil se considera que el suelo para café debe tener una profundidad no inferior a un metro. En relación con la textura un autor ha indicado que el suelo ideal debería tener un espacio de poro del 60%, del que un 30% debe permanecer ocupado por el aire del suelo, cuando húmedo; que la densidad real fuese de 2.65. Otro autor ha señalado que un suelo ideal debería tener alrededor de 50% de porosidad y 45% de sustancias minerales. En síntesis, el cafeto se cultiva en ámbito mundial, en suelos de características físicas y químicas muy dispares. La predicción de cosechas altas sólo puede tener lugar en suelos fértiles. En su defecto, la fertilidad debe ser mantenida artificialmente mediante la adición de abonos minerales y orgánicos, favorables a un equilibrio nutricional óptimo.

### Topografía

El cafeto, por ser una planta rústica, se adapta con facilidad a condiciones topográficas desfavorables para otros cultivos.

La importancia de la topografía depende de si se dan o no, localmente, algunas condiciones. En general, podrían resumirse así:

- Debe o no permitir mecanización
- La erosión superficial no debe ser favorecida
- Idealmente debe permitir la formación de un horizonte de acumulación de nutrimentos.
- Debe favorecer el transporte dentro y fuera del campo.
- Debe permitir una mayor o menor retención del agua de lluvia.

No cabe duda de que los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café, por su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrimentos, y por ser aptos para la

mecanización. Una pendiente mayor de 15 a 20% elimina la posibilidad de usar tractores (Carvajal, 1972).

## CAPITULO II

### MATERIALES Y METODOS

Para realizar el estudio de zonificación agroecológica del cultivo del café en Costa Rica se utilizó la estructura metodológica desarrollada por el IICA (Bohorquez, J. 1972; García J., 1972; Icaza, J., 1971; Manrique, L. 1972; Montoya, M. 1971 ), con las modificaciones introducidas por el proyecto de Agroclimatología a inicio de los años 80. (Eldin, 1983; Rojas; Eldin, 1983).

Una síntesis del esquema metodológico se presenta a continuación.

#### 1. Etapas que comprende el Esquema Metodológico.

##### 1.1. Primera etapa. Definición de los requerimientos agroecológicos de los cultivos.

En esta etapa se determina para el cafeto (Coffea arabica) sus requerimientos ecológicos (temperatura, radiación, agua, etc.). Su mejor o menor definición dependerá de la información disponible. En el caso ideal para definir estos índices agroclimáticos se podrían seguir las siguientes vías:

- a) Determinación del tipo bioclimático del cultivo.
- b) Evaluación agroclimática de la región de origen de la especie.
- c) Evaluación agroclimática de las regiones del mundo de difusión de la especie.
- d) Evaluación del agroclima de las regiones en donde la

experiencia ha demostrado el fracaso del cultivo.

- e) Evaluación de los índices agroclimáticos derivados de trabajos experimentales sobre los requerimientos agroclimáticos de la especie.

Mediante la aplicación de las normas anteriores, se puede determinar el agroclima de la especie cultivada; y si la amplitud comprendida entre los valores extremos de los índices se dividen en jerarquías sistemáticas, se obtienen los tipos agroclimáticos que facilitan la clasificación y permiten establecer diferencias y analogías.

Paralelamente a la determinación de los índices agroclimáticos se debe proceder de igual forma para la definición de los requerimientos fisiológicos del cafeto. Esto último en función de sus exigencias biológicas, y de los requisitos tecnológicos necesarios para su producción.

1.2 Segunda etapa: Constitución de un banco de datos meteorológicos y estimación de los elementos climáticos faltantes.

Para este estudio se empleó el banco de datos meteorológicos elaborado por el IICA en cooperación con el Instituto Francés de Investigaciones Científicas y Técnicas para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM) y el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMM) (Rojas et al, 1982).

Dicho banco de datos contiene la información meteorológica de 101 estaciones, de las cuales 72 tienen registros diarios de la precipitación, 54 registran las temperaturas máxima y mínima diarias y 22 el brillo solar. Es importante señalar que la mayoría de las estaciones que registran la precipitación fueron seleccionadas por presentar al menos 20 años de registro y por



una adecuada ubicación en el territorio nacional. Las coordenadas de dichas estaciones aparecen en el Cuadro 4.

En relación a la estimación de los elementos climáticos faltantes se utilizaron las ecuaciones de regresión calculadas por Rojas y Eldin (1983) y publicadas por Rojas en el " Estudio Agroclimático de Costa Rica " (1985). Estas ecuaciones se utilizaron para estimar: Las temperaturas diurna ( $\theta$ ) y diaria ( $t$ ) y la duración de la insolación ( $h$ ) necesarias para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP).

### 1.3 Tercera etapa : Definición del período de cultivo por medio del análisis frecuencial de lluvias.

Este tipo de análisis tiene por objetivo, estudiar la disponibilidad de agua para el cultivo del café a lo largo del año. Emplea en lugar de promedios, probabilidades que tienen un mayor significado e interés en la producción agrícola. Esto es, se expresa la disponibilidad de agua para el cultivo en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvia relacionada con la evapotranspiración potencial (ETP) del período considerado. El período seleccionado de análisis es de diez días (denominado década) por guardar relación con la reserva hídrica del suelo.

La ETP se considera como el requisito máximo de agua para cualquier cultivo según las condiciones climáticas existentes.

A partir de este máximo se define ETP/2 como el requisito mínimo de agua para que el crecimiento y desarrollo del café continúen normalmente.

Una vez calculadas las probabilidades para cada década, se determina el período de cultivo fijando como riesgo aceptable para el agricultor la probabilidad 0,75 (esto es lo que

CUADRO 4ESTACIONES METEOROLOGICAS EMPLEADAS EN EL ESTUDIO AGROCLIMATICO

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION		ELEVACION	TIPO
		LAT. NORTE	LON. OESTE		
69503	Puerto Viejo, Sarapiquí	10 28	84 01	37	6
69506	San Miguel, Sarapiquí	10 19	84 11	500	1
69508	Chilamate	10 27	84 04	60	5
69510	Ciudad Quesada	10 20	84 26	650	1
69511	Los Ensayos	10 18	84 29	1 090	1
69512	Zarcelero	10 11	84 24	1 736	1
69513	Los Llanos	10 28	84 21	100	1
69514	Arenal	10 28	84 51	520	5
69515	Quebrada Azul	10 24	84 28	83	5
69528	Palmira	10 13	84 23	2 010	3
69530	La Marina, S.C.	10 22	84 23	380	1
69531	Hacienda Orosí	10 57	85 33	350	1
69533	Barra del Colorado	10 46	83 35	5	1
69535	C. Rural Metodista	10 21	84 24	600	4
69538	Upala	10 54	85 01	50	1
69551	Guatuso	10 41	84 49	50	5
72101	Nicoya	10 05	85 27	120	0
72105	Colonia Carmona	10 00	85 15	100	1
72106	Santa Rosa	10 50	85 37	315	3
72107	Lepanto, Naranjo	9 58	85 02	50	1
72114	Playa Panamá	10 35	85 40	3	5
73009	El Cairo, Siquirres	10 07	83 32	60	1
73010	Turrialba	9 53	83 38	602	0
73011	Sanatorio Durán	9 56	83 53	2 337	1
73013	Los Diamantes	10 13	83 46	249	0
73015	La Maruja	9 47	83 51	1 100	1
73018	El Guarco	9 50	83 58	1 400	2
73022	Pacayas	9 55	83 49	1 735	6
73024	Paraíso, Cartago	9 50	83 52	1 380	1
73033	Villa Mills	9 34	83 43	3 000	6
73046	Cachí	9 49	83 48	1 018	5
73078	Coliblanco	9 57	83 48	2 200	3
73080	Repetidora, C. Muerte	9 33	83 44	3 365	5
73081	Irazú	9 59	83 51	3 400	0
73082	Cobal	10 15	83 40	55	3
73091	Hacienda El Carmen	10 12	83 29	15	3
74002	Filadelfia	10 26	83 35	17	1
74003	Santa Cruz	10 16	85 35	54	2
74004	Quebrada Grande	10 51	85 30	366	1
74006	La Guinea	10 25	85 28	40	4
74020	Liberia	10 36	85 32	85	0
76002	Tilarán	10 28	84 58	562	2

.../...

CUADRO 1 (Continuación)

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION		ELEVACION	TIPO
		LAT. NORTE	LON. OESTE		
76005	Cañas, Pacífica	10 25	85 05	95	0
76008	Taboga	10 21	85 09	40	0
76011	Hacienda Guayabo	10 42	85 14	550	1
76034	Fortuna	10 41	85 12	430	5
77002	La Lola	10 06	83 23	40	0
78001	Las Juntas, Abangares	10 17	84 58	140	5
78002	Monteverde	10 20	84 50	1 380	6
78003	Puntarenas	9 58	84 50	3	0
79005	Moravia, Chirripó	9 50	83 26	1 200	1
80002	San Miguel, Barranca	10 00	84 42	140	2
81003	Limón	10 00	83 03	5	0
82002	Tivives	9 52	84 42	25	5
84001	San José	9 56	84 05	1 172	0
84003	La Argentina	10 02	84 21	760	1
84004	Atenas	9 59	84 23	696	1
84005	Avances, Tres Ríos	9 56	83 58	1 870	1
84006	Hacienda Concepción	9 55	84 00	1 320	1
84007	Coronado	9 59	84 00	1 382	1
84011	Lornessa, Santa Ana	9 56	84 11	909	1
84012	Turrúcares	9 58	84 19	639	6
84014	Palmares	10 03	84 26	1 017	1
84015	San Joaquín Flores	10 00	84 09	1 050	1
84016	B. Pilas Naranjo	10 06	84 23	1 042	1
84017	Los Andes, Orotina	9 55	84 31	224	1
84018	Rancho Redondo	9 58	83 57	1 480	1
84021	Juan Santamaría	10 00	84 12	932	0
84023	Fabio Baudrit	10 01	84 16	840	0
84024	S. Rafael Ojo de Agua	9 56	84 13	850	1
84034	La Garita	9 57	84 21	460	5
84040	Alto Ochomogo	9 54	83 57	1 546	1
84046	San Josecito, Heredia	10 02	84 02	1 450	4
84074	Pavas Aeropuerto	9 58	84 08	1 132	3
84075	Coop. Café, Naranjo	10 07	84 23	1 100	4
85001	Pandora	9 45	82 57	17	5
85004	Finca 16	9 42	82 59	30	6
86001	Herradura	9 40	84 38	3	1
88001	Puriscal	9 51	84 19	1 102	0
88004	Finca Palo Seco	9 32	84 18	15	1
88005	San Ignacio Acosta	9 48	84 10	1 095	1
88015	Playón	9 38	84 18	65	5
90001	Pocares	9 31	84 15	6	1
90003	Quepos	9 26	84 09	5	1
90005	Cerros	9 30	84 09	5	1
92001	Bartolo	9 26	84 06	10	1
92002	Llorona	9 24	84 05	10	1
98002	Palmar Sur	8 57	83 28	16	0

.../...

CUADRO 1 (Continuación)

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	UBICACION		ELEVACION	TIPO
		LAT. NORTE	LON. OESTE		
98004	San Isidro General	9 22	83 42	703	1
98007	San Vito de Java	8 50	82 59	890	1
98010	Cedral	9 22	33 33	1 450	6
98011	Bolivia	9 11	83 38	950	5
98012	Potrero Grande	9 01	83 11	183	5
98013	Río Negro	8 53	82 52	955	5
98022	La Piñera	9 11	83 20	350	3
98028	Volcán Angel	9 14	83 27	450	6
100008	Finca 8	8 55	83 30	8	1
100034	Golfito	8 39	83 11	15	6
100035	Coto 47	8 36	82 59	8	1
100078	Caucho	8 27	82 56	25	1

TIPO 0 = Estaciones con registros diarios de precipitación, temperaturas y brillo solar.

TIPO 1 = Estaciones con registros diarios de la precipitación.

TIPO 2 = Estaciones con registros diarios de la precipitación y las temperaturas.

TIPO 3 = Estaciones con registros diarios de las temperaturas y el brillo solar.

TIPO 4 = Estaciones con registros diarios de las temperaturas.

TIPO 5 = Estaciones con registros mensuales de las temperaturas.

TIPO 6 = Estaciones con registros diarios de la precipitación y registros mensuales de las temperaturas.

puede ocurrir 3 años de cada 4)

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó utilizando la fórmula de Priestley-Taylor (1972) que se detalla a continuación:

$$ETP=1.26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (Rn-G)$$

- ETP Evapotranspiración potencial  
Δ Pendiente de la curva que da la presión máxima de vapor de agua en función de la temperatura.  
γ Constante psicométrica  
Rn Radiación neta  
G Flujo de calor a nivel del suelo, representa aproximadamente un 5% de Rn

El término  $\Delta/(\Delta + \gamma)$  no tiene dimensión y varía con la temperatura del aire. Para un rango de temperaturas entre 10 y 30°C, se puede estimar por medio de la fórmula siguiente:

$$\Delta/(\Delta + \gamma) = f(\theta) = 0,430 + 0,012 \theta$$

La fórmula de Priestley-Taylor se utiliza generalmente a nivel diario, siendo en este caso  $\theta$  el promedio de la temperatura diurna y Rn la radiación neta diaria.

La radiación neta a nivel diario, Rn se determina a partir de la radiación global diaria, Rg, ya que el cociente Rn/Rg es considerado como una constante para una región determinada, esto es Rn/Rg=c. Se puede emplear c=0.60 para Costa Rica.

El análisis frecuencial de lluvias permite evaluar la disponibilidad de agua para el cafeto en forma general, sin embargo, debido a la gran influencia que tiene el déficit hídrico para la antesis del café se hace necesario estudiar las condiciones hídricas en forma más fina. Por esta razón se recurre a un modelo de balance hídrico teórico (Lhomme, J.P. et al, 1984; Rojas, O. 1984) que integra la capacidad de retención de agua por parte del suelo (RU) y características propias del cultivo. Además de estas ventajas el modelo trabaja a nivel diario y en forma recurrente, lo que nos permite simular la evolución del agua en el suelo con una mejor aproximación a la realidad. Por otra parte permite detectar déficits de corta duración que podrían ser suficientes para romper el período de reposo de las yemas florales y que con otro tipo de análisis no se podrían identificar.

1.4 Cuarta etapa: Definición de las potencialidades de producción para el cafeto.

La investigación básica de las relaciones cultivo/clima durante las dos últimas décadas, ha proporcionado un conocimiento elemental para establecer modelos de respuesta de los cultivos a su medio bajo una amplia variedad de suelos, climas y patrones agronómicos. Con la disponibilidad de modernos medios de computación y las nuevas necesidades de interpretación del tiempo y el clima en términos del comportamiento del cultivo, los modelos agroclimáticos se han desarrollado rápidamente pasando de una herramienta de investigación a ser un componente esencial para los sistemas operacionales.

Baier (1979) ha identificado tres clases de modelos sobre la base de un enfoque predominante y haciendo énfasis sobre los aspectos biológicos, físicos y estadísticos:

- 1) Simuladores de tipo mecánico de crecimiento de cultivo.
- 2) Modelos de análisis cultivo/clima basado en estadísticas.
- 3) Modelos de rendimiento basados en el análisis de regresión múltiple.

Para el caso específico del cafeto se escogió la primera clase de modelos: Simuladores de tipo mecánico de crecimiento de cultivo. Este tipo de modelos asume que el impacto de las variables meteorológicas (radiación, temperatura, viento, humedad, etc.) sobre los procesos específicos tales como la fotosíntesis, transpiración, o respiración pueden ser simulados adecuadamente por medio de un conjunto de ecuaciones matemáticas basadas en experimentos o el conocimiento disponible sobre el proceso en particular (Baier, 1979).

Algunos ejemplos típicos son: ELCROS (Simulador Elemental de Crecimiento de Cultivos) desarrollado por de Wit et al (1971); SPAM (Modelo Suelo/Planta/Atmósfera) por Shawcroft et al (1974); SIMED (Simulador para el alfalfa) por Holt et al (1975) SORGF (Modelo para el sorgo) por Arkin et al (1976) y CORNF (Modelo para el maíz) por Stapper y Arkin (1980).

Entre estos modelos se seleccionó el elaborado por de Wit por su versatilidad y que ha sido ya utilizado por la FAO para realizar estudios de zonificación agroclimática (1981).

Esta función contribuye a hacer el criterio de zonificación menos arbitrario; a la vez que introduce las leyes de la física en los procesos biológicos que rigen la producción vegetal (fotosíntesis, respiración, evapotranspiración). De esta manera se tendrá más oportunidad de lograr una zonificación válida para zonas ecológicas bien diferentes (Eldin, 1983)

Esta función relaciona básicamente las variables del clima más importantes (radiación solar y la temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes en la producción neta de biomasa (fotosíntesis y respiración) bajo el supuesto de buen abastecimiento de agua y nutrientes.

El supuesto de buen abastecimiento en agua es sustentado por medio de los resultados del análisis frecuencial de lluvias; esto es por la definición del período de cultivo en el cual se integrará esta función de producción de biomasa.

La función empleada tiene la siguiente expresión:

$$PN = \frac{0.36 \cdot bgm}{\frac{1}{n} + 0.25 \cdot C_t}$$

PN: Producción neta de materia seca del cafeto durante los n días del ciclo del mismo y expresada en toneladas por hectárea.

bgm: Tasa máxima de producción bruta de biomasa del cultivo.

n: Ciclo del cultivo expresado en días

$C_t$ : Coeficiente de respiración del cultivo.

El valor de  $C_t$  depende de la temperatura promedio y el de valor bgm depende de la tasa máxima de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condiciones de saturación por la luz. Evidentemente la especie Coffea arabica no tendrá la misma tasa máxima de fotosíntesis que la especie Coffea canephora para rangos iguales de temperatura. El café Arabica se ajusta a una planta con metabolismo  $C_3$  mientras que el Robusta se ajusta a un metabolismo  $C_3$  especial. Debido a



esta diferencia este último se adapta a zonas con temperaturas más altas que las toleradas por C. arabica. Aspecto que es considerado por el modelo de Wit e ilustrado en la Figura 6.

#### 1.5 Quinta Etapa: Análisis de variables fisioedáficas.

A partir del conocimiento de los requerimientos edáficos del cultivo, determinados en la primera etapa y del conocimiento de las prácticas culturales más aconsejables (riego, mecanización, etc.) para el cultivo, se analiza la información disponible sobre aspectos topográficos y edáficos del territorio a zonificar.

En condiciones óptimas, el tipo de documentos cartográficos más empleados, son los mapas de capacidad de uso de la tierra o de uso potencial.

Con la finalidad de simplificar la interpretación de las variables fisioedáficas a los utilizadores de los mapas de zonificación, se recomienda hacer una jerarquización de las unidades cartográficas de suelo en función de la aptitud para el cultivo.

Las tres categorías que se emplean con mayor frecuencia son las siguientes: (1) muy buena, (2) buena y (3) regular.

#### 1.6 Sexta etapa: Síntesis cartográfica

La síntesis cartográfica como su nombre lo indica, es la sobreposición y síntesis sucesiva de los mapas elaborados en las etapas anteriores. Siendo discriminadas aquellas

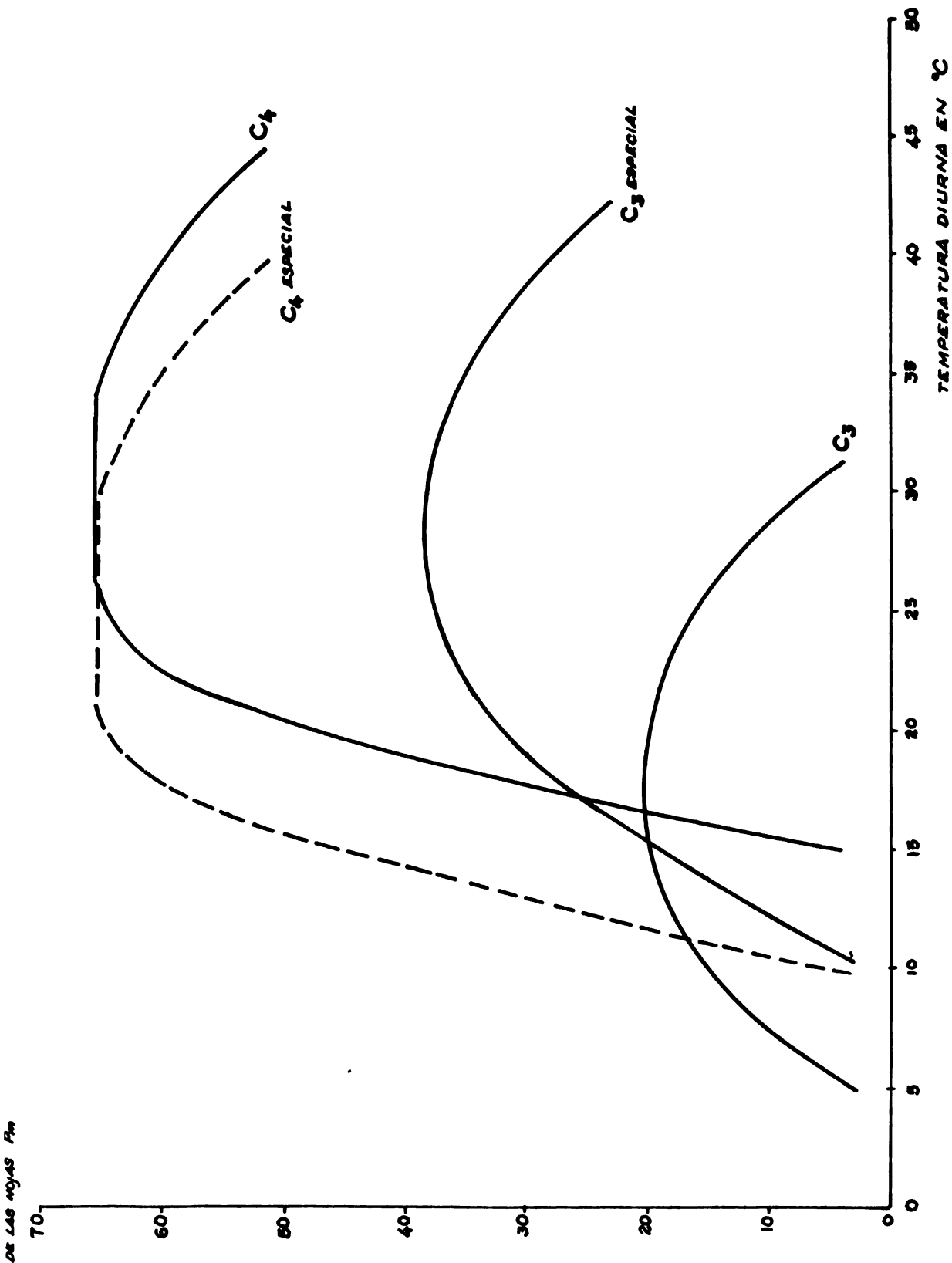


Figura 6 . VARIACIONES PROMEDIO CON LA TEMPERATURA DIURNA PROMEDIO DE LAS TASAS MAXIMAS DE FOTOSINTESIS DE LAS HOJAS DE PLANTAS QUE PERTENECEN A GRUPOS CON METABOLISMO DE TIPO C<sub>3</sub> , C<sub>3</sub> ESPECIAL , C<sub>4</sub> Y C<sub>4</sub> ESPECIAL (EN CONDICION DE SATURACION POR LA LUZ.)

DE LAS HOJAS Fm

áreas del territorio a zonificar que no son contempladas por el mapa de potencialidades de producción y por el mapa de variables fisiológicas.

1.7 Séptima etapa: Presentación de los resultados finales en esta etapa se elaboran los mapas finales del estudio de zonificación y se realizan las interpretaciones respectivas. Para la confección de los mapas finales se hará el diseño correspondiente para la organización del material cartográfico, texto y leyendas que acompañan al documento.

El seguimiento de las siete etapas anteriores darán como resultado la zonificación agroecológica para el cultivo del café. Esto se representa en la Figura 7

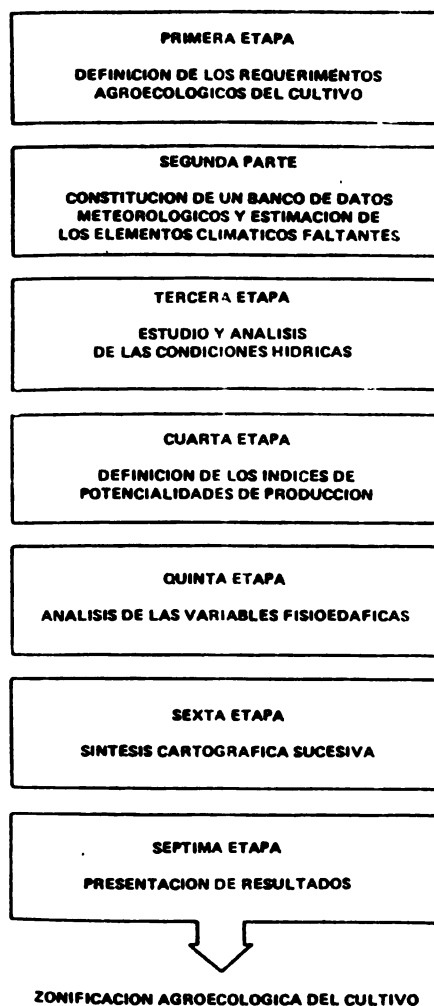


Fig. 7 Etapas del esquema metodológico necesarias para la zonificación agroecológica de cultivos.



### CAPITULO III

#### RESULTADOS Y DISCUSION

1. Definición de los requerimientos agroecológicos del cultivo.

Primera etapa

Los resultados de esta etapa lo constituye el primer capítulo de este documento; que por razones de presentación se ubican de primero.

2. Definición del período de cultivo por medio del análisis frecuencial de lluvias.

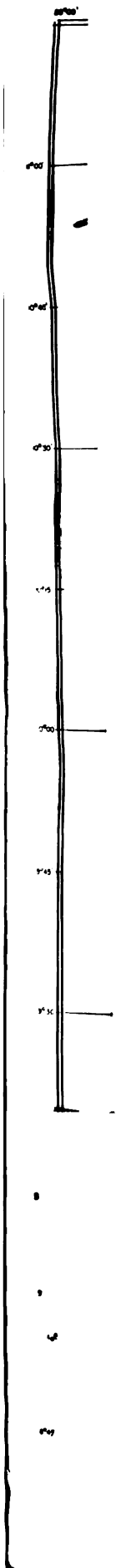
Tercera etapa

Esta técnica de análisis tiene como propósito, evaluar la disponibilidad de agua para el cafeto en condiciones de secano. Por medio de ella se define el período potencial de crecimiento para una frecuencia de ocurrencia de 3 años sobre 4. La definición de la duración del período de cultivo es básica para integrar la función de producción del cafeto. La misma nos permite, además, realizar varias observaciones importantes para la determinación de las áreas con potencial agroecológico para este cultivo.

García (1968) señala como límite de distribución en el tiempo cuatro a tres meses de sequía relativa y de ser posible correspondiente, estos meses al período de reposo vegetativo, que precede a la floración principal. De lo anterior se deduce que períodos potenciales de crecimiento de duración superior a los 260 días no son adecuados para el cultivo del café. En el Mapa 1 se aprecia que gran parte del Atlántico y la región norte del país presentan una inadecuada distribución de la precipitación con períodos de hasta 360 días.

Al analizar los gráficos del estudio frecuencial para regiones cuyos resultados se encuentran sobre la isolínea de los 260 días: Turrialba,

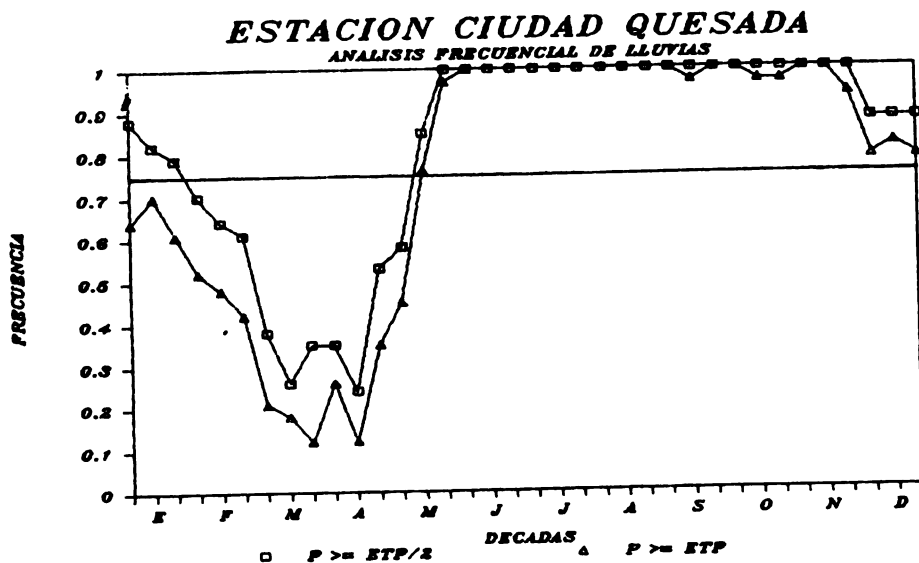
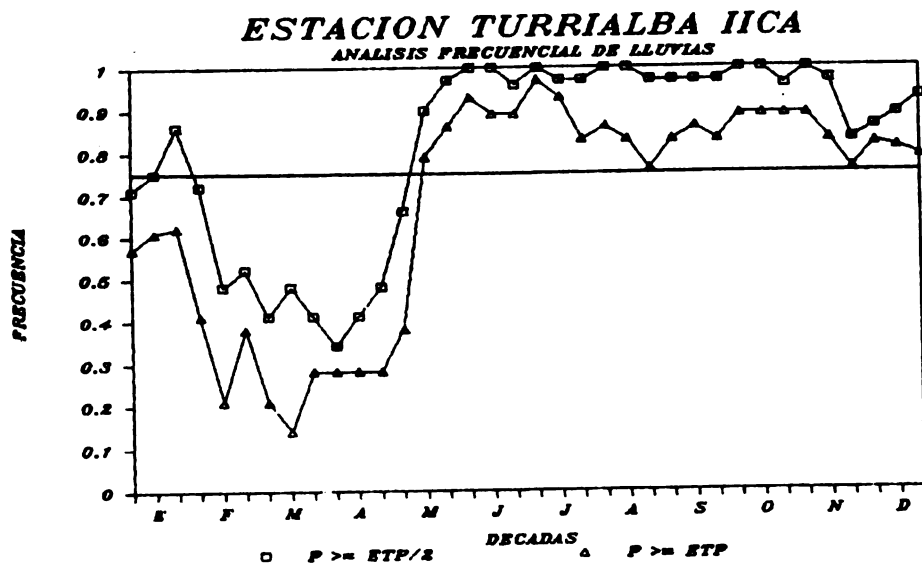








Ciudad Quesada; se puede notar que la falta de una época seca definida producirá efectos desfavorables en el rendimiento final del cafeto. Esto provocará que las yemas florales crezcan continuamente resultando en floraciones sucesivas, con las consecuentes desventajas de cosecha, en calidad del grano y economía. (Figuras 8 y 9)



Si se analizan varios resultados del análisis frecuencial de lluvias de las estaciones meteorológicas que se encuentran en las actuales zonas productoras de café; se notará un patrón en el comportamiento de la precipitación.. (Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17)

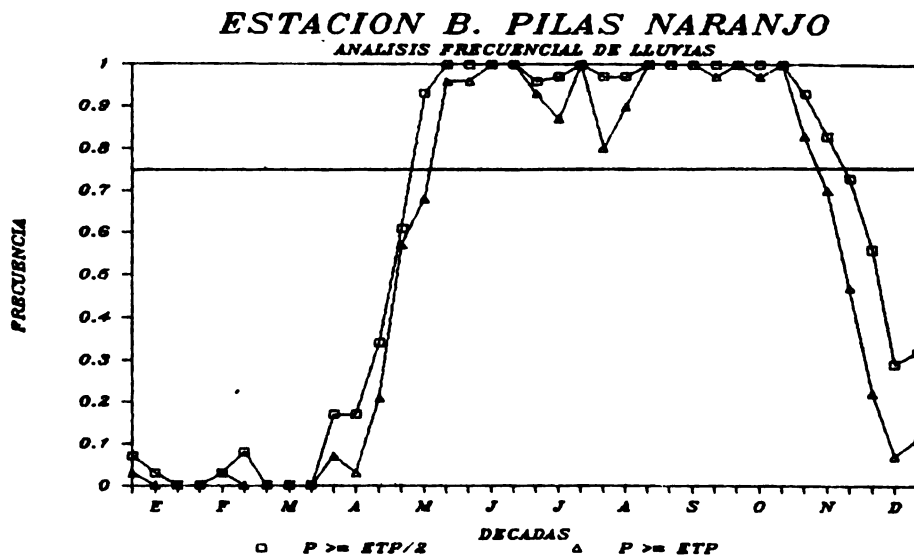
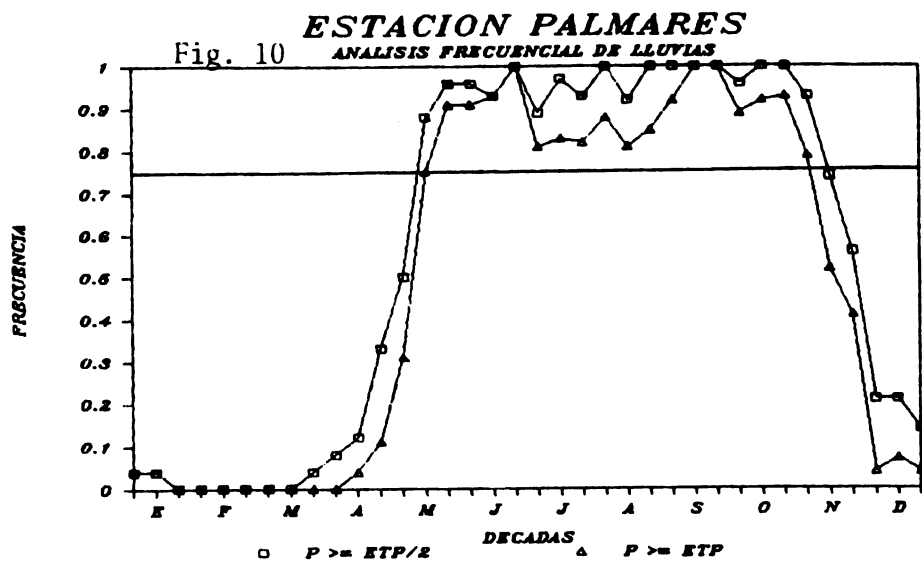


Fig. 12

**ESTACION PURISCAL**

ANALISIS FRECUENCIAS DE LLUVIAS

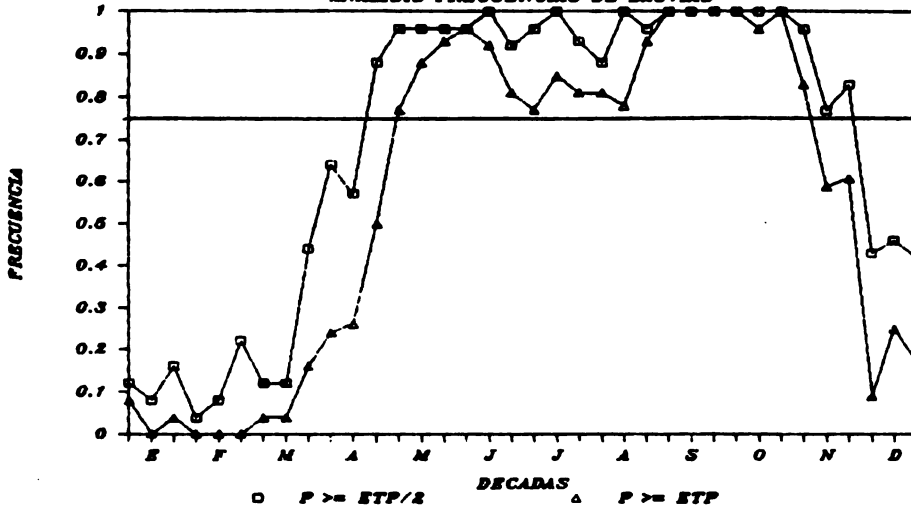


Fig. 13

**ESTACION SAN IGNACIO ACOSTA**

ANALISIS FRECUENCIAS DE LLUVIAS

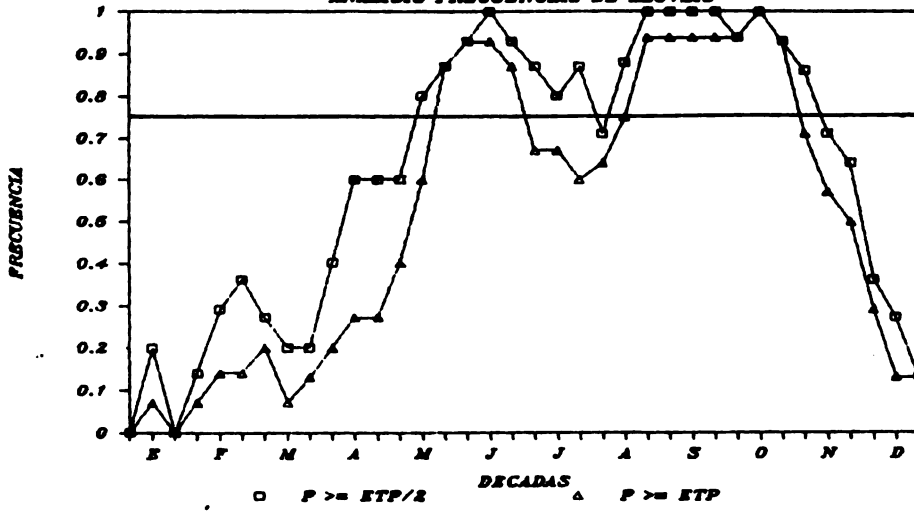


Fig. 15 ESTACION SAN JOAQUIN DE F.

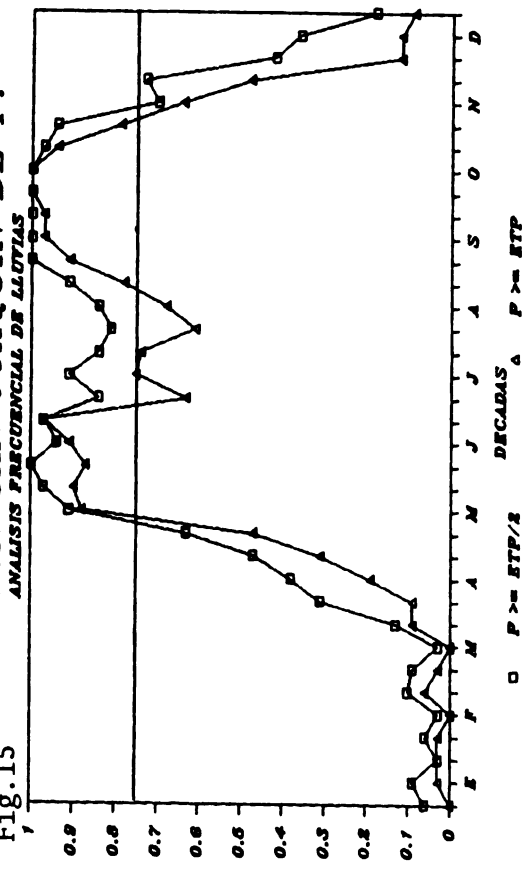


Fig. 17 ESTACION SAN VITO DE JAVA

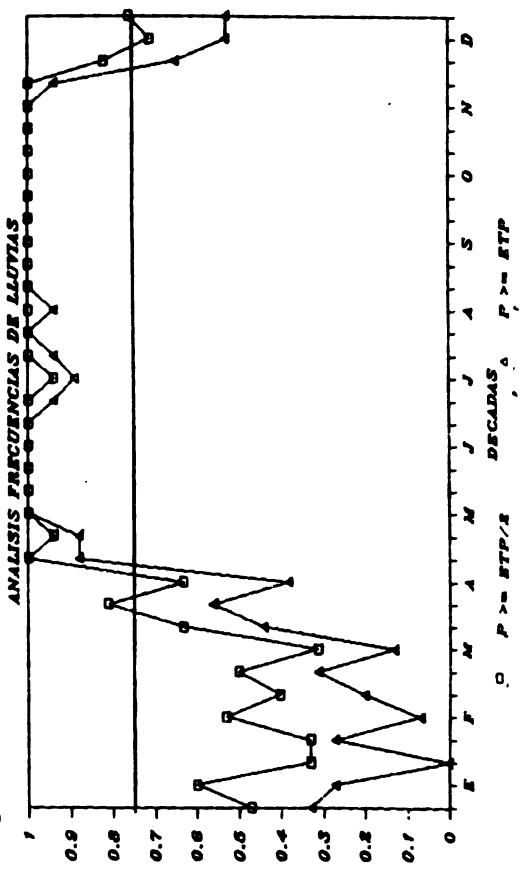


Fig. 14 ESTACION SAN ISIDRO GENERAL

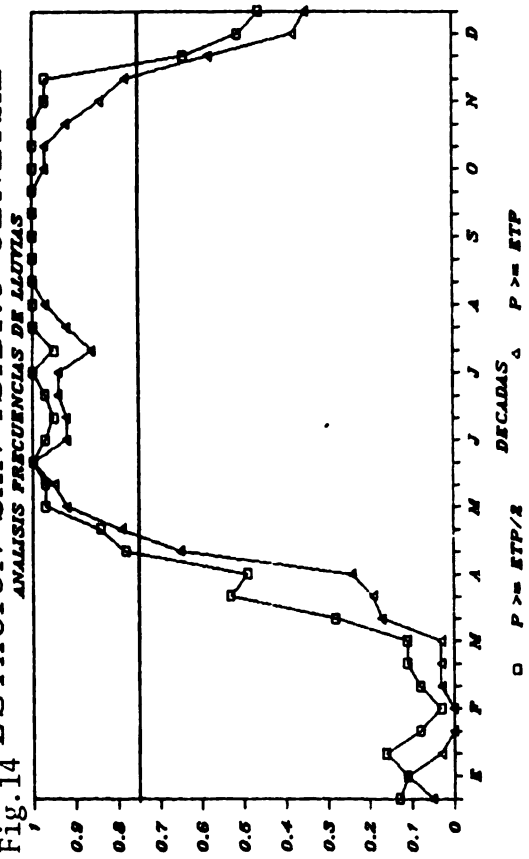
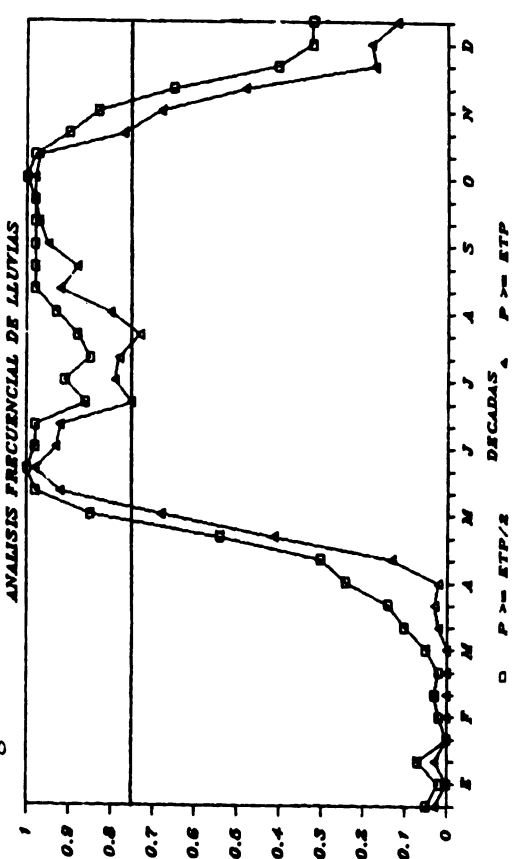


Fig. 16 ESTACION SAN JOSE



FRECUENCIA

FRECUENCIA

FRECUENCIA

FRECUENCIA

Exceptuando la estación de San Vito de Java (Figura 17) las demás regiones presentan una época seca definida de 3 a 4 meses. Es interesante resaltar el hecho de que dentro de la época seca ocurren lluvias que aunque no sobrepasan el valor de la ETP/2 serían suficientes para provocar la antesis del cafeto. Además se notan varios picos, generalmente alrededor del mes de enero y febrero que pueden significar picos de floración, siendo en este caso ventajoso el fenómeno. Esto último no se aprecia en forma clara para la estación Palmares, sin embargo, se recuerda que este análisis constituye una técnica general y que se piensa retomar este aspecto con un modelo del balance hídrico diario. También se estudiará el efecto de los otros parámetros del clima sobre el rendimiento.

### 3. Definición de las potencialidades de producción para el cafeto.

#### Cuarta etapa

En relación al índice de producción potencial para el cafeto se presentan los resultados para cada estación meteorológica analizada en los Cuadros del 5 al 9. Se señala, que el valor de este índice debe ser considerado, ante todo como un valor relativo y se recuerda que su propósito principal es permitir la definición y comparación de zonas geográficas diferentes desde el punto de vista de las potencialidades climáticas de producción agrícola.

En términos generales, el Valle Central de Costa Rica, presenta el mayor potencial para la producción de biomasa neta para el cafeto; esto debido a que el valor del índice toma valores altos y la temperatura se mantiene dentro del rango óptimo para este cultivo. De igual magnitud se presentan los valores para este índice en el Atlántico y la Subvertiente Norte; sin embargo, la temperatura en esas regiones sobrepasa el límite térmico superior (temperatura media del mes más cálido entre 23°C y 27 °C). Se estima que temperaturas arriba de este límite aceleran el crecimiento vegetativo y frecuentemente ocurre muerte descendente, así como floración y fructificación limitadas (Carvajal, 1972; Gopal; Vasudeva, 1973; Frederico; Maestri, 1981).

**CUADRO 5**  
**INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL PARA COFFEA ARABICA**  
**VALLE CENTRAL**

ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PERIODO DE CULTIVO EN DIAS	INDICE PRODUCC. POTENCIAL	
		DIURNA PARA EL PERIODO DE CULTIVO	PROMEDIO PARA EL PERIODO DE CULTIVO		TM HA	MS N
Alto Ochozogo	1 546	20.6	19.3	160	15.2	
Atenas	696	24.9	23.2	190	12.6	
Avance, Tres Ríos	1 870	18.6	17.6	210	18.8	
B. Pilas Naranjo	1 042	23.1	21.6	200	14.9	
Coronado *	1 382	21.3	20.0	210	16.8	
El Guarco	1 400	21.2	19.4	150	14.4	
Fabio Baudrit	840	24.1	22.4	210	14.6	
Hacienda Concepción						
Tres Ríos	1 320	21.6	20.3	210	16.7	
Juan Santamaría	932	24.3	22.6	200	13.9	
La Argentina	760	24.6	22.9	200	13.4	
La Maruja	1 100	21.8	20.2	210	16.5	
Lornersa (St. Ana)*	909	24.1	22.5	180	14.8	
Orotina	224	27.5	25.5	200	10.2	
Palmares	1 017	23.3	21.7	190	14.2	
Paraíso, Cartago	1 380	20.1	18.6	210	20.0	
Rancho Redondo	1 480	20.7	19.5	210	17.4	
Sanatorio Durán	2 337	15.0	13.6	200	19.0	
San José	1 172	22.4	21.0	200	15.1	
San Joaquín/Flores	1 050	23.1	21.6	190	14.4	
San Rafael/Ojo de						
Agua	850	24.2	22.6	200	13.9	
Turrucare	639	25.4	23.7	200	12.7	

\*Estaciones con dos períodos elementales de cultivo. La duración en días que se presenta es la suma de los dos períodos

**CUADRO 6**  
**INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL PARA COFFEA ARABICA**  
**PACIFICO NORTE**

ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA DIURNA PARA EL PERIODO DE CULTIVO	TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL PERIODO DE CULTIVO	PERIODO DE CULTIVO EN DIAS	INDICE PRODUC. POTENCIAL	
					TM HA	MS N
Barranca	140	27.2	25.9	190	10.0	
Cañas	95	28.2	26.7	130	7.4	
Colonia Carmona	100	28.2	26.7	190	9.0	
Filadelfia*	17	28.4	27.0	140	7.7	
Hacienda Orosí	350	26.0	24.4	110	7.4	
Herradura	3	28.6	27.0	210	8.6	
Lepanto, Naranjo	50	28.6	27.1	140	7.9	
Liberia*	85	27.9	26.5	70	4.0	
Monte Verde	1 380	20.5	19.2	220	18.2	
Nicoya	120	28.6	26.9	200	8.8	
Peñas Blancas	80	27.6	26.0	170	8.9	
Puntarenas	3	29.1	27.5	170	7.2	
Quebrada grande	366	26.3	25.0	170	10.2	
Santa Cruz*	54	29.0	27.1	160	8.1	
Taboga	40	28.7	27.1	190	8.3	
Tilarán	562	24.7	23.6	210	13.7	

\* Estaciones con dos periodos elementales de cultivo. La duración en días que se presenta es la suma de los dos periodos

CUADRO 7  
 INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL PARA COFFEA ARABICA  
 PACIFICO SUR

ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA DIURNA PARA EL PERIODO DE CULTIVO	TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL PERIODO DE CULTIVO	PERIODO DE CULTIVO EN DIAS	INDICE PRODUC. POTENCIAL	
					TM HA	MS N
Bartolo	10	29.1	27.3	240	9.0	
Caucho	25	29.0	27.2	250	9.3	
Cedral	1 450	19.5	18.3	300	24.2	
Cerros, Finca	5	29.1	27.3	240	8.9	
Coto 47	8	29.1	27.3	250	9.1	
Finca Palo Seco	15	29.0	27.2	220	8.6	
Finca 8	8	29.2	27.3	230	9.0	
Golfito	15	29.1	27.4	280	10.0	
Llorona	10	29.1	27.3	240	9.0	
Palmar Sur	16	28.9	27.3	230	9.2	
Pocares	6	29.1	27.2	230	8.7	
Puriscal	1 102	22.0	20.6	230	17.8	
Quepos	5	29.1	27.3	240	8.9	
S. Ignacio Acosta	1 095	22.0	20.5	190	15.3	
S. Isidro del General	703	24.6	23.0	230	14.8	
S. Vito Java	890	23.5	21.9	280	18.4	
Volcán Angel	450	27.1	25.2	250	12.3	



CUADRO 1

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL PARA COFFEA ARABICA  
ATLANTICO

ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA DIURNA PARA EL PERIODO DE CULTIVO	TEMPERATURA PROMEDIO PARA EL PERIODO DE CULTIVO	PERIODO DE CULTIVO EN DIAS	INDICE PRODUC. POTENCIAL	
					TM HA	MS N
Barra Colorado	5	27.6	25.9	350	14.0	
El Cairo, Siquirres	60	27.1	25.4	350	14.9	
Finca 16*	30	28.1	26.0	290	14.1	
Irazú	3 400	8.9	7.9	240	17.4	
La Lola	40	26.8	25.0	370	14.8	
Limón	5	27.3	25.8	340	14.3	
Los Diamantes	249	25.4	23.9	370	18.3	
Moravia Chirripó	1 200	21.1	19.6	220	17.5	
Pacayas	1 735	18.5	16.8	280	23.3	
Turrialba	602	24.1	22.6	240	15.4	
Villa Millas	3 000	12.9	11.0	220	19.6	

\* Estaciones con dos periodos elementales de cultivo La duración en días que se present  
es la suma de los dos periodos.

CUADRO 9

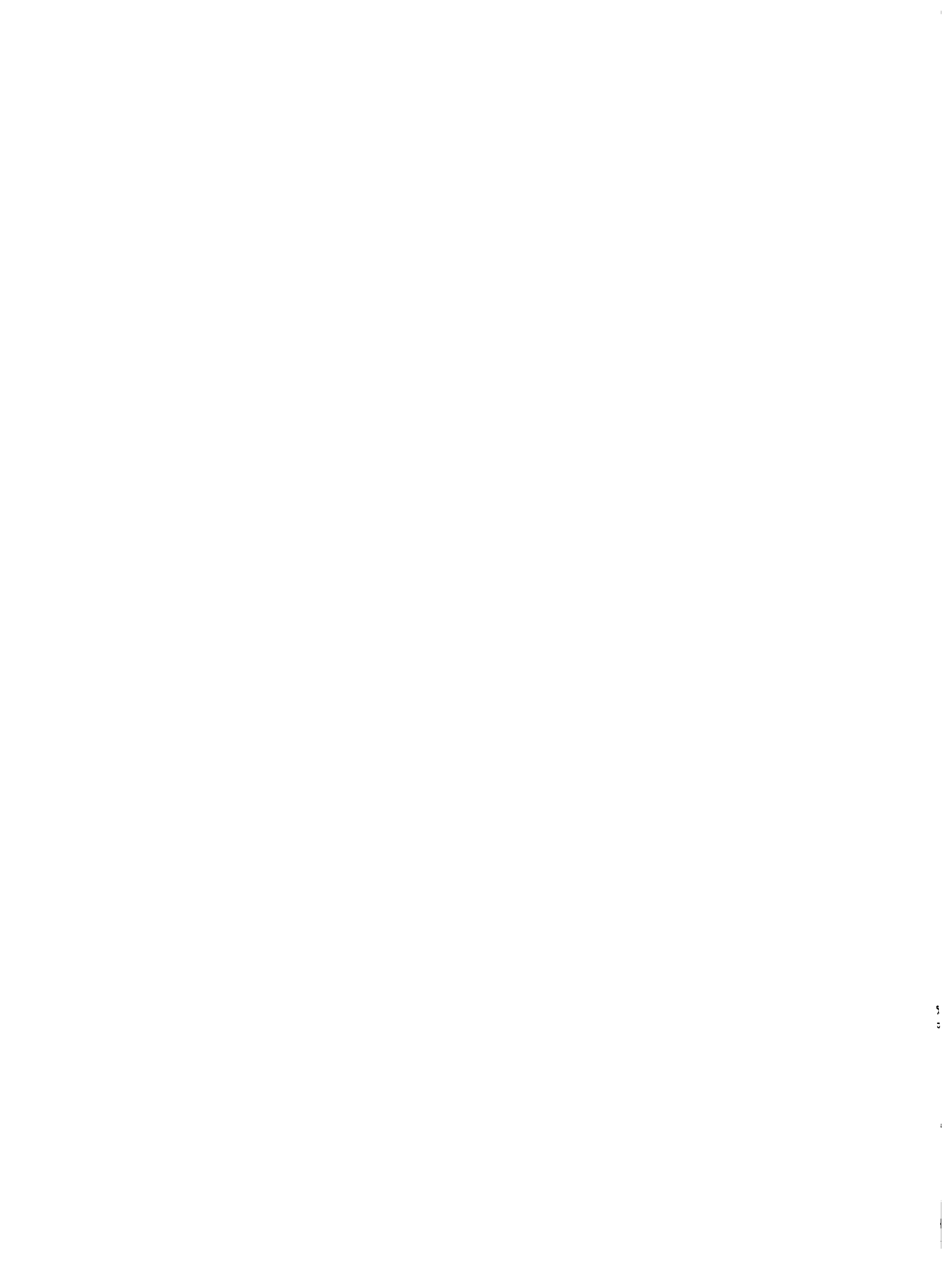
INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL PARA COFFEA ARABICA  
SUB-VERTIENTE NORTE

ESTACION	ALTITUD	TEMPERATURA	TEMPERATURA	PERIODO DE CULTIVO EN DIAS	INDICE PRODUC. POTENCIAL	
		DIURNA PARA EL PERIODO DE CULTIVO	PROMEDIO PARA EL PERIODO DE CULTIVO		TM HA	MS N
Ciudad Quesada	650	24.0	22.6	280	17.1	
La Marina	380	25.5	23.9	310	16.2	
Los Ensayos	1 090	21.8	20.5	220	17.1	
Los Llanos	100	27.2	25.6	220	11.0	
Puerto Viejo	37	28.3	26.4	330	12.2	
San Miguel	500	24.9	23.4	300	16.8	
Upala	50	27.4	25.8	240	11.2	
Zarcelero	1 736	18.3	17.2	200	18.0	

Una de las razones por la cual, el índice adquiere valores altos en estas dos regiones, se debe a la mayor duración en días del período de cultivo, lo que implica una mayor disponibilidad de agua durante el año. En el Pacífico Norte por temperaturas altas y la menor duración del período de cultivo (efecto de la canícula) se obtiene los más bajos valores para el índice. Esto último varía para las zonas altas de la región (Monteverde, Tilarán). En el Pacífico Sur se detectan zonas con buen potencial agroclimático (Puriscal, San Ignacio de Acosta, San Isidro del General, San Vito de Java ).

A partir de estos resultados por estación meteorológica se pasa al estudio y análisis de los campos escalares para el trazado de las isolíneas del índice de producción potencial. Lo anterior con el propósito de determinar las zonas homogéneas, con potencial para la producción de materia seca para el cafeto. De este estudio, Mapa 2, se derivan varias observaciones interesantes. La primera se refiere, nuevamente al potencial sobresaliente de todo el Valle Central; el cual se encuentra limitado por la isolínea de las 14 toneladas de materia seca por hectárea. Una segunda es, en relación a los cuatro focos de alta producción de biomasa neta. El primero entre Zarcero y Tilarán, el segundo alrededor de Santiago de Puriscal, el tercero entre Pacayas y el volcán Turrialba y el cuarto alrededor del Cerro Chirripó. Estos focos se ubican en las zonas altas del país donde las temperaturas disminuyen. Se recuerda que el crecimiento vegetativo del cafeto parece favorecerse más con la disminución de la temperatura que con el aumento de la misma. Las altas temperaturas inhiben el crecimiento, ya que arriba de 24°C comienza a disminuir la fotosíntesis neta tornándose insignificante a 34°C (Maestri; Barros, 1981).

Estos focos de alta producción de biomasa presentan las siguientes características climáticas: Exceptuando el segundo (alrededor de San Ignacio de Acosta), los otros focos se caracterizan por las temperaturas promedio bajas durante la época seca, siendo inferior a los 18°C (Pacayas, Zarcero,



9'00"

7'00"

0'45"

0'30"

0'15"

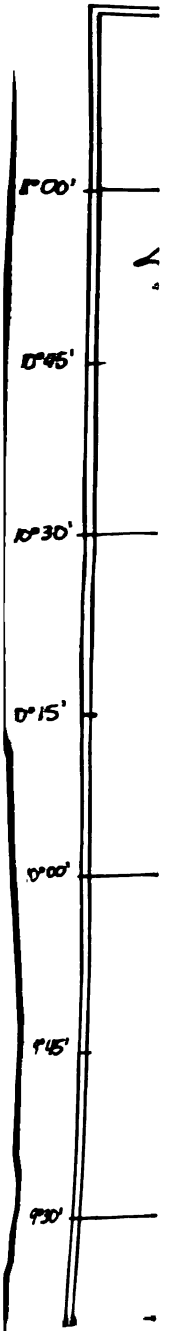
0'00"

9'15"

9'30"

9'33"  
00.

2





Chirripó). Estas temperaturas presentan el inconveniente de influir sobre la duración del período de crecimiento y desarrollo del fruto. Fournier (1980) observó que ya, a temperaturas promedio del orden de los 18°C-20°C, en San Antonio de Coronado, Costa Rica, el fruto tarda casi nueve meses para madurar. Esto último implica inconvenientes desde el punto de vista de una explotación comercial, por lo que estas regiones altas deberán ser consideradas como marginales para el cultivo.

#### 4. Análisis de las variables fisioedáficas. Quinta etapa.

Para la ejecución de esta etapa se recurrió al mapa de asociaciones de Sub-Grupos de Suelos de Costa Rica, elaborado por la Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. Este incluye la mejor información encontrada sobre el tema y la experiencia de campo del biólogo Samuel Pérez y el Dr. Alfredo Alvarado (OPSA, 1979). La misma fue reclasificada por el Ing. Javier Weiss, Coordinador del Departamento de Recursos Naturales de la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial, Cuadro 10.

A partir de esta información, con la cooperación del Personal del Centro de Cómputo del IICA y utilizando el Sistema CRIES, se dió expresión cartográfica a los suelos según su aptitud para el cultivo del café (Mapa 3)

Como suelos aptos para el cultivo se consideran: Suelo con una pendiente de hasta un 45%, con profundidad mayor a 1.5 m., bien drenados, de textura liviana a media, friables, de fertilidad alta a media, con pH entre 5 y 6.5, poco erodables, capa freática a un mínimo de 1.5 m de profundidad y con menos del 5% de fragmentos en el perfil. Como suelos moderados: Suelos con pendiente entre 45 y 60%, con profundidad de 0.75 m. a 1.5 m., medianamente susceptibles a la erosión, drenaje lento, textura pesada, poco permeables, fertilidad baja, con 5 y 25% de fragmentos en el perfil y suelos muy ácidos. Finalmente suelos no aptos para el cultivo del café aquellos con pendientes superiores al 60%, profundidad efectiva menor a

CUADRO 10

CLASIFICACION DE LOS SUBGRUPOS DE SUELOS DE ACUERDO

A SU APTITUD PARA EL CULTIVO DEL CAFE 1/

SUELOS APTOS	SUELOS MODERADOS	SUELOS NO APTOS
<u>Inceptisoles</u>	<u>Inceptisoles</u>	<u>Inceptisoles</u>
1-5		1-1 por drenaje
1-6		1-2 por drenaje
1-7	1-8	1-3 por drenaje
1-10	1-9(En el Atlánt.)	1-4 por profundidad
1-13		1-4 por profundidad
1-14	1-12	1-9 (En el Sur) por profundidad
1-15	1-25	1-11 por pedregocidad
1-16	1-26	1-18 por profundidad
1-17	1-29	1-23 por profundidad
1-19	1-31	1-27 por drenaje y fertilidad
1-20	1-32	1-30 por profundidad
1-21	1-33	
1-22		
1-24	<u>Ultisoles</u>	<u>Vertisoles</u>
	(todos)	(todos)por textura
1-28		
1-34		<u>Entisoles</u>
1-35		(todos) por textura y profundidad y salinidad.
<u>Mollisoles</u>		<u>Histosoles</u>
M-1		(todos) por drenaje, son suelos hidromórficos.
M-2		
M-3		

1/ Independientemente se encuentran en la zona climática o no

Fuente: S.E.P.S.A.



D

DDD

DD

DD

AH DD D

HHHHA

HHHHHHHHH

HHH D

HHHHA

D



0.75 m., lúricos, pantanosos, drenaje nulo, suelos muy arenosos, o extremadamente arcillosos, suelos muy pedregosos, hidromórficos y salinos.

## 5. Síntesis Cartográfica.

### Sexta etapa

Para la síntesis cartográfica se elaboraron tres mapas: el mapa de suelos según su aptitud para el cultivo del café, el índice de producción potencial (biomasa) y el índice para evaluar el efecto de la precipitación sobre la antesis del cafeto. Se trabajó a una escala 1:500 000.

Cada uno de estos índices se clasificaron en tres categorías: bueno, regular y malo, con el propósito de facilitar su interpretación a los usuarios de los mapas de zonificación.

Para el índice de producción potencial de biomasa se consideró como límite inferior la isolínea de 12 toneladas de materia seca por hectárea y como límite superior la de 20 toneladas. En esta última, el factor limitante es las bajas temperaturas que disminuyen la velocidad de los procesos de desarrollo, crecimiento, formación del grano. En relación al índice de duración potencial del cultivo se consideró la isolínea de los 260 días, a partir de la cual existen problemas por el exceso de precipitación que provoca floraciones sucesivas e influye sobre las características organolépticas, provocando condiciones limitadas de acidez, cuerpo y aroma. Siendo característico de las regiones con precipitaciones continuas durante el año que las plantaciones de café presenten flores, frutos verdes, pintones y maduros a la vez. Esto provoca, a nivel de la taza, un sabor característico denominado " grassy ".

A raíz de las anteriores consideraciones se obtuvo la clasificación presentada en el Cuadro 11.

CUADRO 11  
 CLASIFICACION DE LOS INDICES DE POTENCIALIDADES  
 DE PRODUCCION PARA COFFEA ARABICA

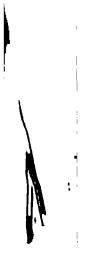
CATEGORIA	INDICE PRODUCCION POTENCIAL EN TM DE MATERIA SECA POR HECTAREA	INDICE PRECIPITACION- ANTESIS EN DIAS
Bueno	14-20	160-220
Regular	12-14	260-220
Malo	<12 ó >20	<160 o' >260

6. Resultados finales

Séptima etapa

Como resultado de la síntesis cartográfica se obtiene el Mapa 4, que constituye la zonificación agroecológica del café en Costa Rica a una escala 1:500 000.

Las unidades delimitadas fueron caracterizadas por un número fraccionario (a/b) con el propósito de facilitar su interpretación. Este número tiene el siguiente significado: En el numerador aparecen dos números; el primer número representa la clasificación del índice de producción potencial, o sea, se señala si es posible esperar un buen rendimiento en biomasa por hectárea. El segundo número representa la categoría del índice de precipitación-antesis e indica cómo son las condiciones del clima con relación a la floración y formación del grano del café. Por otro lado, en el denominador aparece un número acompañado de una letra; el número representa la categoría fisioedáfica y la letra las posibles limitantes que deben ser consideradas para un manejo eficiente del suelo.



---

CATEGOR

---

Bueno  
Regula  
Malo

---

6. Res  
Sép

Com  
tit  
1:5  
Las  
(a/  
el  
mer  
o s  
hec  
tac  
la  
nad  
cat  
con

Con la finalidad de hacer más accesible la interpretación a los utilizadores de las unidades de zonificación ecológica, se hizo una jerarquización de las diversas unidades. Las categorías indican el margen de probabilidad para la obtención de rendimientos.

Se contemplaron las siguientes categorías:

- 1) Muy alta probabilidad de obtener buenos rendimientos.
- 2) Alta probabilidad de obtener buenos rendimientos.
- 3) Regular probabilidad de obtener buenos rendimientos.
- 4) Baja probabilidad de obtener buenos rendimientos.
- 5) Muy baja probabilidad de obtener buenos rendimientos.





### COMENTARIO FINAL

En cultivos tradicionales como el café es interesante comprobar como los resultados teóricos se aproximan con bastante exactitud a la experiencia práctica acumulada por el agricultor en el transcurso de los años. Es así como el Valle Central resulta con el potencial agroecológico más atractivo para C. arabica, y algunas zonas en Turrialba y San Carlos deberían ser consideradas como marginales. En el estudio de zonificación de los cultivos tradicionales, pareciera radicar mayor interés, en determinar aquellas áreas marginales y poder justificar, con un criterio científico, el parámetro ecológico limitante. Lo anterior contrasta con el objetivo buscado en los estudios de zonificación para cultivos no tradicionales donde el interés primordial es la definición de las zonas de buen potencial agroecológico para la introducción de los nuevos cultivos.

Las áreas donde se demostró el bajo potencial agroecológico para el cultivo comercial de Coffea arabica serán las primeras áreas que tendrán que ceder lugar a cultivos más apropiados al medio agroecológico de la región dentro de una política racional de diversificación de cultivos.

Las nuevas técnicas de manejo y prácticas culturales tendientes a aumentar la productividad del cafeto se deberán enfocar en las regiones con mayor potencial agroecológico. De esta forma, se podrán liberar las áreas con potencial marginal sin que esto implique una disminución de la producción nacional.

Lo anterior no es fácil de realizar en el corto plazo, pero con una adecuada política de incentivos bien dirigida (por ejemplo: crédito solo para los cultivos ubicados en las zonas con buen potencial agroecológico), con el apoyo de una eficiente campaña de extensión agrícola para introducir los cultivos alternativos en las áreas marginales para el cafeto, se podrá en un futuro lograr un mejor uso de los factores de producción.

Se recomienda realizar un estudio más detallado de la influencia del agua sobre la antesis del cafeto. En este se podría utilizar un balance hídrico diario (Rojas, O. 1985; Lhomme, J. P., et al 1985) y seguir la evolución de la reserva hídrica del suelo, año tras año relacionándola con el proceso de floración, formación, desarrollo y maduración del grano. Una vez expresado este proceso clima-rendimiento en forma matemática sería posible preveer, con los datos meteorológicos del año en curso, el rendimiento probable de ese mismo año.

## RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una zonificación agroclimática del cultivo del café en Costa Rica.

Las unidades de zonificación son definidas mediante la combinación de tres índices: Rendimiento potencial, condiciones climáticas necesarias para la antesis del cafeto y clases de suelos.

El rendimiento potencial es calculado por medio de una función de producción que relaciona las variables más importantes de clima (radiación solar y la temperatura del aire) con los procesos biológicos determinantes en la producción neta de biomasa (la fotosíntesis y la respiración). Además se emplea el análisis frecuencial de lluvias, que expresa la disponibilidad de agua para el cultivo, en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvia relacionada con la evapotranspiración potencial (ETP) durante la formación de la flor del café.

El período de análisis seleccionado es de diez días por guardar relación con la reserva hídrica de un suelo con características promedio.

Las condiciones climáticas necesarias para la antesis del cafeto se fundamentan en el conocimiento de las probabilidades de ocurrencia de la precipitación y del análisis de la temperatura en la época de la floración.

Las unidades son clasificadas y jerarquizadas de mayor a menor probabilidad de obtener buenos rendimientos, con el afán de facilitar su interpretación a los usuarios del mapa de zonificación agroecológica obtenido.



ABSTRACT

This paper establishes agro-ecological zones for coffee crop in Costa Rica. Definitions of zoning units are based on the combination of three indexes: potential yield, climatic conditions needed for anthesis of coffee, and soil class. Potential yield was calculated by means of a production function which correlates the most important climatic variables (solar radiation and air temperature) to the biological processes which determine net biomass production (photosynthesis and respiration). A frequential analysis of rainfall was also used, it expresses water availability for the crop in terms of probability of occurrence of a certain amount of rainfall related to potential evapotranspiration (ETP) for the period under consideration. A period of ten days was selected for the analysis, as this is consistent with the water reserve in average soils.

The discussion of climatic conditions necessary for coffee flower initiation is based on rainfall probabilities and the analysis of the temperature.

Units are classified and placed in decreasing order of probability of good yields, to facilitate interpretation for users of the resulting agroecological zoning map.

10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100

RESUME

Dans le présent travail nous avons fait une zonification agroécologique de la culture du café au Costa Rica.

Les unités de zonification ont été définies grâce à la combinaison de trois indices: Rendement potentiel, conditions climatiques nécessaires pour l'anthèse du caféier et types de sols.

Le rendement potentiel a été calculé en utilisant une fonction de production, qui relie les plus importants paramètres climatiques (radiation solaire et température de l'air) avec les processus biologiques déterminants de la production nette de biomasse (la photosynthèse et la respiration). L'analyse fréquentielle des pluies, qui représente la disponibilité d'eau pour les cultures, est employée en termes de probabilités d'occurrence d'une quantité de pluie par rapport à l'évapotranspiration potentielle (ETP) durant la floraison du café.

La période d'analyse sélectionnée est de dix jours compte tenu de la réserve hydrique d'un sol de caractéristiques moyennes.

Les conditions climatiques nécessaires pour l'anthèse du caféier s'appuient sur la connaissance des probabilités d'occurrence de précipitation, et de l'analyse des températures lors de la floraison.

Les unités ont été classées et hiérarchisées selon une probabilité décroissant d'obtenir de bon rendement, à fin d'en faciliter l'interprétation.





LITERATURA CITADA

- ACOSTA, R.; CLEVES, R. 1964. Tipos de café de Costa Rica. Oficina del Café.
- ALEGRE, G. 1959. Climats et cafeiers d' Arabie. Agron. Trop. 14 (1):23-58.
- ALVIN, P. de T. 1960. Fisiología del crecimiento y de la floración del cafeto. Café. 2(6); 57-64.
- ARIAS S., G. 1977. Relación de la distancia de siembra y de algunas características morfológicas con la productividad, en cinco cultivares de café (Coffea arabica L.). Tesis Ing. Agr. San José, Costa Rica. Universidad, Facultad de Agronomía, 94 p.
- ARKIN, G. F.; VANDERLIP, R. L.; RITCHIE, J. T. 1976. A dynamic grain sorghum model. Trans of the ASAE 19(4): 622-26, 630.
- BAIER, W. 1979. Note on the terminology of crop weather models. Agric. Meteorol. 20:137-145.
- BENAVIDES, J. A.; GUTIERREZ Z., G. 1978. Observaciones sobre el comportamiento del cultivar " Catuai " (Coffea arabica L.) en Costa Rica. Agronomía Costarricense. 2(2):109-115.
- BOHORQUEZ, J. 1972. Zonificación de algunas especies forestales para el Hualлага, Central Tingo, María, Perú. Tesis. IICA Turrialba, Costa Rica, 144 p.
- CAMPOS C., E. 1978. El café en Costa Rica. Información General. Costa Rica. Departamento de Investigaciones en Café. 16 p.
- CANNEL M., G.R. 1972. Photoperiodic response of mature trees of arabica coffee. Turrialba. 22:198-206.
- CARVAJAL, J.F. 1972. Cafeto-cultivo y fertilización. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 141 p.
- CARVAJAL, J.F. 1984. Cafeto-cultivo y fertilización. Segunda edición. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 254 p.
- CASTILLO Z., J. 1961. Ensayo de análisis del crecimiento en café. Cenicafé. 12 (1):1-16.
- CASTILLO, Z.; LOPEZ A., R. 1966. Notas sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. Cenicafé. 17(2):51-60.
- CLEVES, R. 1970. Efecto de la lluvia durante la época de recolección sobre los componentes del café fruta. Oficina del Café. Costa Rica. 27 p.

- COSTA RICA, OFICINA DEL CAFE. 1975. Zonificación cafetalera de Costa Rica. Boletín Técnico No. 1
- DE WIT, C. T., et al. 1971. A dynamic model of plant an crop growth. In potential crop production. A case study, eds. P.P. Wareing an J. R. Cooper (London, Heinemann Educational Books). 117-142 pp.
- ELDIN, M. 1983. A system of agroclimatic zoning to evalute climatic potential for crop production. In. Cusack, D. F. (Ed). Agroclimatic information for development. Reviving the Green Revolution. Boulder, Colorado, Westview. 83-91 pp.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 1981. Report on the agro-ecological zones project. Vol. 3. Methodology and results for South and Central America. World Soil Resources Report. No. 48. FAO Rome. 251 p.
- FOURNIER, L. A. 1970. Fundamentos de ecología vegetal. Edición preliminar. 2 tomos, Departamento de Biología, Universidad de Costa Rica. 174 p. (mimeografiado).
- FOURNIER, L. A. 1980. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Publicación Miscelánea No. 230. 29 p.
- FREDERICO, D. ; MAESTRI, M. 1970. Ciclo de crecimiento dos botoes florais de café. Revista Ceres (Brasil) 27 (92); 171-181 p.
- GARCIA, J. 1968. Clima agrícola del cafeto (C. arabica L.) y zonas potenciales en los Andes de Venezuela. Agronomía Tropical 28 (1):57-85.
- GARCIA, J. 1972. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos anuales. Tesis, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 155 p.
- GOMEZ G. L. 1972. Influencia de los factores climáticos sobre la periodicidad de crecimiento del cafeto. Cenicafé 28 (1):3-17.
- GOPAL, N. H. ; VASUDEVA, N. 1976. Physiological studies on flowering in arabi-ca coffee under South Indian Conditions. I. Growth of flower buds an flowering. Turrialba. 23(2):143-153.
- GOPAL, N. et al. 1975. Physiological studies on flowering in coffee under south Indian conditions. II. Changes in water content, growth rate, respiration and carbohydrate metabolism of flower buds during bud enlargement and anthesis. Turrialba. 25 (1):29-36.

- GOPAL, N. 1975. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions III. Flowering in relation to foliage and wood starch. Turrialba 25(3):239-242.
- GOPAL, N. 1975. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions. IV. Some physical properties and chromatographic assay of gum-like substance exuded by flowerbuds. Turrialba 25(4):410-13.
- HARDY, F. 1970. Edafología Tropical. Traducción de la edición en inglés por Rufo Bazán. Herrero Hermanos, México. 416 p.
- HOLDRIDGE, L. R. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Traducción de la edición inglesa por Humberto Jiménez Saa. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, San José, Costa Rica. 216 p.
- HOLT, D. A., et al. 1975. Environmental physiology, modeling and simulation of alfalfa growth, 1. Conceptual development of SIMED. Agricultural Experiment Station. Purdue University, West Lafayette, Indiana, in cooperation with the ARS, USDA, Research Bulletin, 907.
- ICAZA, J. 1971. Zonificación ecológica del frijol en Nicaragua. Tesis, Escuela Nacional de Agricultura y Ganadería. 61 p.
- JARAMILLO R., A. 1976. Condiciones micrometeorológicas en un cafetal bajo sombrero. Cenicafé 27(4):180-184.
- LHOMME, J. P.; GOMEZ, L.; JARAMILLO, A. 1984. Modelo matemático del balance hídrico. Turrialba 34 (4) 503-507 pp.
- MAESTRI, M.; BARROS, R. 1981. Ecofisiología de cultivos tropicales. Café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Publicación Miscelánea No. 288. 50 p.
- MAGALHAES, A. C. y ANGELOCCI, L. R. 1976. Sudden alterations in water balance associated with flower bud opening in coffee plants. Journal of Horticultural Science 51:419-423.
- MANRIQUE, L.P. 1972. Zonificación bioclimática para la ganadería bovina de los países centroamericanos. Tesis IICA, Turrialba. Costa Rica. 111 p.
- MOENS, P. 1968. Investigaciones morfológicas, ecológicas y fisiológicas sobre cafetos. Turrialba 18(3):209-233.
- MONTES, S. 1979. Estudio del porcentaje de granos vanos y rendimiento en Coffea arabica Var " Caturra Rojo " y " Amarillo " en plantaciones. Ciencia y Tecnología en la Agricultura: Café y cacao 1(1-2): 35-45.
- MONTOYA, R. y CHAVES, G.M. 1981. Influencia de la temperatura y de la luz en la germinación, inefectividad y período de germinación de Hemileia vastatrix Berk & Por. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O. E. A. Publicación Miscelánea No. 278. 33 p.

- MONTOYA, J.M. 1971. Informe sobre el proyecto zonificación ecológica de cultivos de consumo básico y tradicionales de exportación para los países del Mercado Común Centroamericano. Turrialba, Costa Rica. IICA (100 mapas 1:500 000) 59 p.
- NUNES, M. A.; BIERHUIZEN, J. F. ; PLOEGMAN, C. 1969. Studies on productivity of coffee. III. Diference in photosynthesis between four varieties of coffee. Acta Bol. Neerl. 18, 420-424.
- NUTMAN, J. F. 1937. Studies on the physiology of Coffea arabica. I. Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. Ann. Bot. (London) (N. S.) 1, 353-367.
- OFICINA PLANIFICACION SECTORIAL AGROPECUARIA. 1979. Manual descriptivo de asociaciones de sub-grupos de suelos de Costa Rica. San José. 236 p.
- OROZCO C., F. J. ; JARAMILLO R. A. 1978. Efecto del déficit de humedad en el suelo sobre la temperatura del suelo y de las hojas. Cenicafé 29(4): 121-134.
- PEREZ, V. 1977. Veinticinco años de investigación sistemática del cultivo del café en Costa Rica: 1950-1975. Agronomía Costarricense 1(2):169-185.
- PEREZ, V. 1983. Treinta y dos años de investigación sistemática y transferencia tecnológica del cultivo de café en Costa Rica. 1950-1982. Costa Rica. Oficina del Café. 1983. 31 p.
- PIRINGER, A. A. y BORTHWICK, H. A. 1955. Photoperiodic responses of coffee. Turrialba 5(3):72-77.
- PRIESTLEY, C.; TAYLOR, P. A. 1972. On the assesment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Monthly weather Review. 100:81-92 pp.
- ROJAS, O. E.; ELDIN M.; LHOMME, J. P. 1982. Información del banco de datos agroclimáticos de Costa Rica. IICA-ORSTOM. IMM. Costa Rica. 7 vols.
- ROJAS, O.; ELDIN, M. 1983. Zonificación Agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar (Saccharum sp) en Costa Rica: LAICA-IICA. Serie Publicaciones Misceláneas No. 398. 120 p.
- ROJAS, O; 1984. Etude Agrometeorologique du bilan hydrique théorique et essai de modélesation d' irrigarion dans le Sud-Ouest de la France. INA-París-Grignon. France 74 p.
- ROJAS, O.; 1985. Estudio Agroclimático de Costa Rica. IICA. Serie Publicaciones Misceláneas No. 617. 178 p.
- ROJAS, O. 1986. Estudios Agroclimáticos y Zonificación Agroecológica de Cultivos: Metodología y Resultados. Serie Publicaciones Misceláneas No. A1/CR-86-006, IICA, Costa Rica. 106 p.
- SHAWCROFT, R. W., et al. 1974. The soil plant atmosphere model and some of its

predictions. Agric. Meteorol. 14 (1/2): 287-307 pp.

SILVA, J. E. et al. 1976. Influencia da temperatura sobre translocacao axial de fotoassimilados e na formacao de lesoes no cavle de cafeeiros ( Coffea arabica L.) Revista Ceres (Brasil) 23 (127): 209-221.

SONDHAL, M. R. et al. 1976. Measurements of  $^{14}\text{C}$  incorporation by illuminated intact leaves of coffee plants from gas mixtures containing  $^{14}\text{CO}_2$ . Journal Experimental Botany 27(101):1187-1195.

STAPPER, M.; ARKIN, G. F. 1980. CORNF. A dynamic growth and development model for maize (Zea mays L.). Program and Model Documentation No. 80-2 (Temple Blackland Res. Cen., Texas Agr. Exp. Sta., Texas A & M University System).

VASQUEZ M., R. 1983. El uso de la sombra en el cafetal. Noticiero del Café. (Costa Rica). 19 (221): 2-3.

VASUDENA, N. y GOPAL, N. H. 1977. Physiological studies on flowering in coffee under South Indian conditions. VII. Changes in iron and copper enzymes and ascorbic acid during flower bud development and anthesis. Turrialba 27(4):355-359.

WALLEN, C.C. 1974. A brief survey of meteorology as related to the biosphere. World Meteorological Organization. Special Environmental Report No. 4  
54 p.

WATSON, D. J. 1952. The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy 4:101-145.

WORMER, T.M. y WOOTTON, A. E. 1967. The quality of Kenya coffee in the period 1953-1963 as defined by the Out-turn Report. 1. Methods of investigation and a study of the reference year-group, 1960-1962. Turrialba 17(2): 143-158.





7







**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA**

Apdo. 55-2200 Coronado, Costa Rica – Tel.: 29-0222 – Cable: IICASANJOSE – Telex: 2144 IICA,  
Correo Electrónico EIES: 1332 IICA DG – FACSIMIL 506294741 IICA COSTA RICA