

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA



ZONIFICACION AGROCLIMATICA PARA EL CULTIVO DEL CAFE  
(Coffea arabica L.) EN LA ZONA OCCIDENTAL DE EL SALVADOR

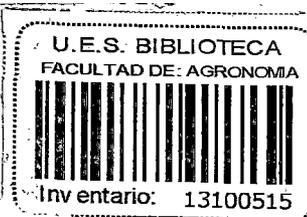
POR:

JÓSE ROBERTO DERAS CORTEZ  
AGUSTIN HERNANDEZ DE LA CRUZ  
TITO ROLANDO LOPEZ FIGUEROA

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 1989.

Tesis  
D 4272



8.1.1  
000719

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : LIC. LUIS ARGUETA ANTILLON

SECRETARIO GENERAL : ING. RENE MAURICIO MEJIA MENDEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

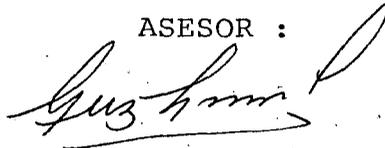
DECANO : ING. AGR. HECTOR ARMANDO MARROQUIN AREVALO

SECRETARIO : ING. AGR. JORGE ALBERTO ULLOA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

ING. AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ HENRIQUEZ, M. Sc.

ASESOR :



DR. GELIO TOMAN GUZMAN LOPEZ

JURADO EXAMINADOR



ING. AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ HENRIQUEZ, M. Sc.



LIC. CARLOS HUMBERTO SALAZAR MORALES, M. Sc.



LIC. ANGEL DANILO MALDONADO LOPEZ

## RESUMEN

En este trabajo, se presenta una metodología de zonificación agroclimática de cultivos y su aplicación en la zona occidental de El Salvador (Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate), utilizando la oferta climática de la zona y otras exigencias de los cultivos. Esta metodología consiste en evaluar los elementos climáticos (temperaturas, radiación, lluvia, etc.); y su relación con las necesidades del cultivo, siendo una combinación de los índices bioclimáticos y los estudios sobre producción potencial y longitud de período de cultivo desarrollado por la FAO.

Para su comprobación se eligió el cultivo del café, obteniéndose como resultado el mapa de zonificación agroclimática, determinándose las áreas óptimas, subóptimas y marginales. De mostrándose que este método es aplicable al país en zonificaciones de cultivos.

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos :

- Al Dr. Gelio Tomás Guzmán L., por su gran dedicación en la orientación de este trabajo. Quien más que un asesor, es un amigo.
  
- Al personal del Servicio de Meteorología e Hidrología del Centro de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería, quienes en todo momento colaboraron proporcionando la información necesaria para la elaboración de esta investigación.
  
- A todas aquellas personas que en una forma desinteresada colaboraron con el buen desarrollo de este estudio.

## DEDICATORIA

Dedicamos nuestro trabajo :

- A Dios Todopoderoso.
- A nuestros padres, ejemplo digno de dedicación y esfuerzo, quienes con su constante sacrificio nos permiten alcanzar nuestras metas.
- A nuestros hermanos, con amor y respeto por su valioso apoyo.
- A aquellas personas especiales que han estado a nuestro lado, dándonos palabras de aliento.
- Y a nuestros amigos, con todo respeto.

# I N D I C E

	Página
RESUMEN .....	iv
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA .....	v
INDICE DE CUADROS .....	x
INDICE DE FIGURAS .....	xi
1. INTRODUCCION .....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA .....	3
2.1. Generalidades .....	3
2.2. Importancia .....	4
2.3. Metodologías .....	5
2.3.1. Analogía climática .....	6
2.3.2. Modelos estadísticos .....	6
2.3.3. Índice bioclimático .....	7
2.3.4. Método de los valores ponderados .....	7
2.3.5. Método de la FAO .....	8
2.4. El cultivo del café .....	8
2.4.1. Clasificación taxonómica .....	8
2.4.2. Origen y distribución .....	9
2.5. El café en El Salvador .....	10
2.5.1. Importancia económica .....	11
2.5.2. Suelos aptos para el cultivo ...	11
2.5.3. Influencia de los factores climá ticos en el cultivo del café ...	12

	Página
2.5.3.1. Precipitación .....	12
2.5.3.2. Temperatura .....	13
2.5.3.3. Luminosidad .....	15
2.5.3.4. Vientos .....	17
3. MATERIALES Y METODOS .....	18
3.1. Materiales .....	18
3.2. Métodos .....	18
3.3. Determinación de la longitud del período de cultivo .....	19
3.4. Índice de producción potencial .....	20
3.5. Determinación de períodos con deficien- cias hídricas .....	22
3.6. Elaboración de mapas .....	22
3.7. Presentación de resultados .....	22
4. RESULTADOS .....	27
4.1. Temperaturas .....	27
4.1.1. Temperatura mínima promedio ....	27
4.1.2. Temperatura media anual .....	27
4.1.3. Temperatura máxima anual.....	28
4.1.4. Temperatura diurna anual.....	28
4.1.5. Temperatura nocturna .....	32
4.2. Precipitación .....	32
4.2.1. Distribución .....	33
4.2.2. Cantidades .....	34

	Página
4.3. Longitud del período de cultivo .....	38
4.4. Índice de producción potencial .....	48
4.5 Meses con deficiencias hídricas .....	51
5. DISCUSION .....	54
5.1. Longitud del período de cultivo .....	54
5.2. Meses con déficit hídrico .....	55
5.3 Probabilidades de ocurrencia de lluvia ma yores o iguales a 5 mm por décadas .....	56
5.4 Índice de producción potencial .....	56
6. CONCLUSIONES .....	61
7. RECOMENDACIONES .....	63
8. BIBLIOGRAFIA .....	64
9. ANEXOS .....	66

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio agroclimático .....	24
2	Fechas de las décadas del año .....	26
3	Fechas y duración del período de cultivo .	47
4	Indice de producción potencial (Tn/ha), y otras características de la zona en estudio .....	50
5	Probabilidades de ocurrencia de lluvias de cádicas $\geq$ 5 mm por cada región .....	53
6	Categoría y clasificación de los índices de potencialidades de producción para <u>Coffea arabica</u> .....	59
A-1	Cálculo de producción de biomasa neta (FAO PROYECTO DE ZONAS AGROECOLOGICAS, 1978) ...	75

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Temperatura mínima media anual en °C, para la zona occidental de El Salvador .....	29
2	Temperatura media anual en °C, para la zona occidental de El Salvador .....	30
3	Temperatura máxima media anual en °C, para la zona occidental de El Salvador .....	31
4	Temperatura diurna anual en °C, para la zona occidental de El Salvador .....	35
5	Temperatura nocturna anual en °C, para la zona occidental de El Salvador .....	36
6	Cantidades anuales de lluvia en mm. Series mayores o iguales a 15 años hasta 1980, para la zona occidental de El Salvador .....	37
7	Longitud del período de cultivo en días para la zona occidental de El Salvador ..	39
8	Longitud del período de cultivo en días para la Estación Acajutla .....	40

Figura		Página
9	Longitud del período de cultivo en días para la Estación Santa María Coquiama .....	41
10	Longitud del período de cultivo en días para la Estación Finca Novi .....	42
11	Longitud del período de cultivo en días para la Estación Los Andes .....	43
12	Longitud del período de cultivo en días para la Estación San Jerónimo .....	44
13	Longitud del período de cultivo en días para la Estación Taxis Junction .....	45
14	Longitud del período de cultivo en días para la Estación La Palma .....	46
15	Producción potencial en Tn/ha, para la zona occidental de El Salvador .....	49
16	Número de meses con deficiencia hídrica para la zona occidental de El Salvador .....	52
17	Zonificación agroclimática del cultivo del café para la zona occidental de El Salvador.	60

Figura		Página
A-1	Curva típica del crecimiento acumulativo del cultivo .....	69
A-2	Forma normal de la curva de la tasa de crecimiento de un cultivo .....	70
A-3	Variaciones promedio con la temperatura diurna promedio de las tasas máximas de fotosíntesis de las hojas de plantas que pertenecen a grupos con metabolismo del tipo $C_3$ , $C_3$ especial, $C_4$ y $C_4$ especial .	72

## 1. INTRODUCCION

Muchos países en vías de desarrollo presentan grandes limitantes para utilizar racional y eficientemente sus recursos naturales y poder lograr así aumentar su producción.

La mayoría de las limitaciones territoriales surgen de la distribución tradicional que los agricultores establecen, basados en la experiencia que obtienen con determinado cultivo, en diferentes regiones. Muchas veces estos resultados no son los que en realidad se pueden obtener si se toman en cuenta la oferta climática para realizar dicha distribución.

Es por estas razones que se escogió en el presente estudio, una metodología de zonificación agroclimática, que se adapta a las condiciones de la información meteorológica existente en el país, y que se puedan generar de acuerdo a fórmulas establecidas, lo cual se podrá utilizar para zonificar cualquier cultivo.

La metodología utilizada en este estudio es una combinación de los índices bioclimáticos y la desarrollada por la FAO, debido a que así se involucran la mayoría de los elementos climáticos para obtener resultados más confiables.

Como un ejemplo de la aplicación de esta metodología se eligió el cultivo del café por ser uno de los principales, debido a su contribución socioeconómica y además por contar con una información más amplia acerca de sus requerimientos, tanto térmicos como hídricos.

Con este estudio se pretende hacer una mejor distribución del cultivo del café en la zona occidental del país (Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate), en base a la metodología establecida. Esta misma metodología es la que se puede utilizar para la zonificación de las demás regiones de El Salvador.

Para este estudio se tomó únicamente la zona occidental, ya que para poder empezar un estudio de zonificación se hace necesario tener una región que contenga un número adecuado de estaciones meteorológicas, con series largas de registros (para el caso de la lluvia), de manera que los resultados sean más confiables y con este estudio poder emprender la zonificación de las demás regiones de El Salvador.

Así se deja abierta la inquietud para poder zonificar cualquier parte de El Salvador, para el cultivo que se estime necesario.

## 2. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. Generalidades

En los países en vías de desarrollo con una tradición agrícola más reciente que la de los países del viejo continente, hay regiones en las cuales no se conoce su verdadero potencial agrícola; es decir, existen áreas geográficas que no están siendo explotadas y que de estarlo, se ignoran los cultivos que devengarían la mayor utilidad desde el punto de vista económico y que a la vez estén acorde con una explotación racional de los recursos naturales. Además, en otras regiones, el agricultor ha introducido cultivos que no son los más apropiados al medio agroecológico, obteniendo rendimientos de medios a marginales y en muchos casos deteriorándolo. Por otra parte, existen en estos países generalmente abundantes estudios socioeconómicos fundamentados en la teoría macroeconómica y en el análisis de oferta y demanda, cuyos resultados señalan los diferentes cultivos que tienen las mejores perspectivas de exportación (8).

Es necesario señalar que las decisiones relativas al fomento de un cultivo; ya sea, en los niveles de área, nación o región, implican una serie de acciones coordinadas, como son las de investigación, extensión y crédito. Estas acciones para alcanzar éxito, también deberían ser establecidas en función de las áreas que tengan aptitudes ecológicas para

el desarrollo de un cultivo y cuya factibilidad económica ha ya sido establecida (8).

Este tipo de programas generalmente utilizan un gran volumen de información, tanto de suelo como de clima. García (1980), dice que esto radica en lograr una integración de la información que genere las respuestas necesarias para una programación agropecuaria eficiente y establecer a través del conocimiento de la vocación productiva de las tierras (8).

## 2.2. Importancia

El Salvador, con características netamente agrícolas presenta una carencia de proyectos de investigación, que permitan mejorar las condiciones técnicas del desarrollo de la agricultura. Muchas zonas del país actualmente son utilizadas de una forma inadecuada, ya que existen cultivos establecidos sin tomar en cuenta los requerimientos climáticos de los mismos, por lo que se tienen producciones muy bajas. Esta situación se debe a que no existe una guía que reúna las condiciones, tanto ecológicas como agroclimáticas, para determinar cuales cultivos se adaptan mejor a las diferentes zonas y obtener así una mayor producción.

La zonificación agroclimática, es una técnica que se aplica en muchos países, como un instrumento que caracterice las zonas más adecuadas, para ser destinadas a determinada actividad agrícola.

Esta técnica permite establecer un mejor aprovechamiento de la tierra y el clima, con el propósito de dar recomendaciones acerca de como, diferentes cultivos se adaptan mejor a determinadas zonas.

Mediante esta técnica, es posible proporcionar al agricultor la información que necesita para la elaboración de la planificación de la actividad agropecuaria y en general como un material muy importante para la ejecución de otros proyectos, ya que por medio de la zonificación se obtiene el clima imperante en determinadas regiones, entre otras cosas; y con ello se puede establecer cuando el clima es apto para el desarrollo de determinados patógenos y poder saber cuando es el momento para su control.

También sirve como una herramienta para poder establecer, en que momento es adecuado sembrar determinado cultivo, y cual será su longitud de período; así como, la máxima producción que se puede obtener en dichas regiones. Todo esto con la finalidad de lograr un mejor aprovechamiento de las áreas y poder obtener mayores producciones sin incurrir en gastos innecesarios haciendo uso nada más de la oferta climática - que nos proporciona la región en estudio.

### 2.3. Metodologías.

La zonificación agroclimática consiste en dividir al país o sus regiones en áreas de óptimo rendimiento desde el

punto de vista climático-edáfico para especies o variedades mejoradas, ya sean nativas o exóticas.

Una zonificación agroclimática presupone la disponibilidad de estadísticas agrometeorológicas directas y derivadas, que incluyen la descripción geográfica y temporal de los elementos que constituyen una fuente de energía o de agua y que presenten riesgos climáticos.

Las metodologías de aproximación son muy diversas y a continuación se presentan algunos métodos que han sido aplicados más que todo a países en vías de desarrollo

#### 2.3.1. Analogía climática

Este método consiste en comparar el clima de un lugar de alto rendimiento conocido, con los datos climatológicos de la zona estudiada.

Se puede calcular las diferentes medias, desviaciones standard y residuos máximos de temperaturas máximas y mínimas. Además la regresión y correlación de las precipitaciones mensuales.

#### 2.3.2. Modelos estadísticos

Se derivan de análisis de correlación y regresión de datos climatológicos con datos de producción.

Los más utilizados son los modelos empíricos estadísticos,

que suponen la disponibilidad de series de datos fenológicos-agrícolas, para establecer una ecuación de regresión.

Debe de tomarse en consideración al establecer el modelo, las variables más representativas en los períodos más críticos y en el menor número posible.

### 2.3.3. Índice bioclimático

Un índice bioclimático es un valor o rango meteorológico que determina el desempeño del cultivo. Los índices biometeorológicos son obtenidos por modelos, analogías climáticas o investigaciones de campo y generalmente por revisión de bibliografía. Pueden ser fijados para cada especie o variedad en sus rangos letales, máximos, óptimos y mínimos.

### 2.3.4. Método de los valores ponderados

Conociendo los índices bioclimáticos de un cultivo se procede a juzgar las condiciones de una localidad, utilizando varios elementos y dando a las desviaciones de lo óptimo un valor determinado, ya que a veces dos elementos pueden compensarse. En el análisis final se dá a cada elemento un valor de acuerdo a la importancia de su influencia, de esta manera pueden considerarse también zonas o valores marginales.

### 2.3.5. Método de la FAO

La FAO desarrolló una metodología basada en la longitud del período de cultivo y en las producciones potenciales, habiendo sido aplicada con mucho éxito en Costa Rica por Rojas (7), en la zonificación de la caña de azúcar y el cultivo del café. Además ha sido utilizada para zonificación de varios cultivos en Honduras y Colombia.

En este estudio se toma en consideración tanto la metodología desarrollada por la FAO, como la metodología de los índices bioclimáticos, logrando de esta forma, involucrar la mayoría de los elementos climáticos, con la finalidad de obtener resultados que estén apoyados por una base científica más sólida.

## 2.4. El cultivo del café

### 2.4.1. Clasificación taxonómica

Las especies conocidas de Coffea se agrupan en cuatro secciones :

- Paracoffea
- Argocoffea
- Mascarocoffea
- Eucoffea

La sección Eucoffea comprende cinco subsecciones: Erythro-

coffea, Nanocoffea, Pachycoffea, Melanocoffea y Mozambicoffea.

La Erythrocoffea comprende la especie (arabica, en la cual se encuentran las especies cultivadas en El Salvador.

La clasificación es la siguiente (4) :

- Reino : Vegetal
- División : Antofita
- Subdivisión : Angiosperma
- Clase : Dicotiledóneas
- Subclase : Simpétalas
- Orden : Rubiales
- Familia : Rubiáceas
- Tribu : Cofeales
- Subtribu : Cofeíneas
- Género : Coffea
- Sección : Eucoffea
- Subsección : Erythrocoffea
- Especie : arabica

#### 2.4.2. Origen y distribución

La planta es originaria de Africa y tuvo su nacimiento en Abisinia (Etiopía), según algunos historiadores, de allí pasó al Yemen, en el Medio Oriente, y empezó a extenderse por el Asia, las Indias Orientales Holandesas, hasta llegar a Oceanía. De este continente fue llevado por los holandeses a Europa y aclimatada por algún tiempo en Holanda, de

donde pasó a Francia, y desde estos dos puntos, después de un breve tiempo de aclimatación, se llevó al continente americano a principios del Siglo XVIII, entre los años 1715 y 1723 (2).

Parece que los holandeses, fueron los primeros en plantar café en Ceilán en 1658 y posteriormente en Java, en 1690 y 1699, con plantas abarcadas de la Costa de Malabar que habían nacido de semillas de Coffea arabica originalmente llevados a Malabar desde Arabia.

El primer cafeto fue importado a Europa hacia 1700 y se trataba de un platón expedido por los holandeses de Java en Jardín Botánico de Amsterdam, donde se encontraban los primeros invernaderos del continente (1).

En la actualidad, el café se produce en cuatro de los cinco continentes del mundo: Africa, Asia, Oceanía y América. De todos estos continentes, América es la que tiene la supremacía en cuanto a los métodos de cultivo y formas de producción (2).

## 2.5. El café en El Salvador

Sa sabe que a Costa Rica y a México, el café llegó hacia 1796. En El Salvador posiblemente se introdujo a fines del Siglo XVIII ó principios del XIX. Historiadores informan que el café llegó a El Salvador por la región de Ahuachapán y que las semillas o arbustos fueron traídos de Guatema-

la. De Ahuachapán lo trasladaron a Santa Ana, extendiéndose al resto de la República (2).

#### 2.5.1. Importancia económica

El café es de vital importancia para la economía del país, puesto que, se está sujeto fundamentalmente a este producto para mantener gran parte de la ocupación de su población rural, que es donde reside la mayoría de la población potencialmente activa. Dependiendo de las cosechas y de los precios, el café ha representado entre el 45% y 54% del valor bruto de la producción agrícola total en diferentes años.

La economía salvadoreña depende en sumo grado del comercio exterior, constituyéndose el café en su principal producto de exportación y en consecuencia en el mayor generador de divisas (1).

#### 2.5.2. Suelos aptos para el cultivo

Los cafetales en El Salvador, se encuentran establecidos sobre suelos pertenecientes a los grandes grupos de los Latosoles arcillo rojizo, Latosoles pardo forestales, Regosoles y algunos de poca importancia están sobre Litosoles.

El suelo ideal para café es un Franco bien drenado, profundo, ligeramente ácido, rico en nutrientes y bien provisto de materia orgánica (2).

### 2.5.3. Influencia de los factores climáticos en el cultivo del café.

Como todo cultivo, el cafeto presenta límites de adaptación a las diferentes condiciones climáticas que interactúan sobre su crecimiento y producción.

A nadie escapa que los elementos y factores climáticos ejercen gran influencia en el manejo y obtención de rendimientos máximos de las plantaciones de café, y que muchas veces la falta de definición exacta de estos elementos, factores y de sus índices climáticos dificultan la modalización precisa de las interacciones clima-cultivo, necesarias en la evaluación de potencialidades agroclimáticas (9).

A continuación se presenta las relaciones más importantes del cafeto (C. arabica) y sus índices bioclimáticos.

#### 2.5.3.1. Precipitación

Las lluvias constituyen uno de los factores más importantes para el cultivo del café; se estima que precipitaciones entre 1 500 y 2 000 mm anuales, son apropiadas para el cultivo del café. La importancia de las lluvias no debe estimarse por la cantidad de lluvia anual, sino además por la distribución de la misma durante el año. Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un período seco favorecen al crecimiento del cafeto. El período seco parece ser importante pa-

ra el desarrollo de : la raíz, de las ramas formadas durante el período lluvioso previo, iniciación de floración y la maduración de frutos (9).

La deficiencia de agua es un requisito indispensable para que se presente la floración. El reposo de las yemas florales es una consecuencia de la deficiencia de agua, y cualquier tratamiento que disminuya esa deficiencia causa la floración. En nuestro caso esa deficiencia hídrica es interrumpida por las lluvias después de la época seca (9).

#### 2.5.3.2. Temperatura

El comportamiento de la temperatura tiene gran influencia en el cafeto, tanto en época seca como en la lluviosa, en el día como en la noche.

Algunos investigadores han determinado, que el rango de temperatura media anual óptima se encuentra entre 20 °C a 24 °C, con medias máximas y mínimas de 30 °C y 14 °C, respectivamente.

Se ha determinado también que la temperatura ambiente ideal para el crecimiento del café es de 26 °C durante el día, y 20 °C durante la noche, bajas temperaturas con valores alrededor de 17 °C en zonas altas son perjudiciales, así como - también temperaturas altas con valores arriba de los 35 °C en las zonas bajas.

Como temperaturas medias del mes más cálido necesita va-

lores de 23 °C a 27 °C, temperaturas arriba de este límite aceleran el crecimiento vegetativo y frecuentemente ocurre muerte descendente, así como floración y fructificación limitadas (9).

Temperaturas promedios con un rango de 13 °C a 16 °C para el mes más frío, provocan el cese del crecimiento.

Al igual que en otras plantas el cafeto necesita crecer bajo un régimen de termoperíodo que beneficie el crecimiento vegetativo y el sistema radicular. El crecimiento vegetativo parece favorecerse más con la disminución de la 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.

Se ha determinado que la temperatura puede también afectar la iniciación de las yemas y la fructificación. Así se ha obtenido, mayor información de yemas florales con una combinación de temperaturas de 23 °C en el día y 17 °C en la noche (esta combinación se da más en las zonas altas del país). La combinación anterior es mejor que la 26 °C/20 °C ó 30 °C/24 °C que se aproximan a las de las zonas de media altura y bajo respectivamente. Con la combinación de 30 °C en el día y 22 °C en la noche, muchas de las yemas florales no dan origen a flores normales; ya que algunas se secan y otras forman las llamadas "flor estrella" o flores atrofiadas, y se reduce

el tamaño de la flor.

En cuanto a la fructificación, una vez establecida, el cafeto se desarrolla bajo muy variadas condiciones de crecimiento afectado por la temperatura, así tenemos que en las zonas altas a medida que la temperatura son muy bajas con valores alrededor de 20 °C durante el día y 15 °C durante la noche, el desarrollo del fruto es lento y las cerezas pueden madurar 8 ó 9 meses después de la floración. En las zonas bajas con temperaturas entre 25 °C/ 20 °C, el fruto madura 7 meses después de la floración.

En algunas áreas cafetaleras una considerable proporción de la cosecha se pierde por caída de los frutos durante el proceso de crecimiento, este desorden fisiológico, puede estar relacionado con: la cantidad de frutos por rama, una lluvia intensa y/o una temperatura relativamente baja.

#### 2.5.3.3. Luminosidad

La luminosidad tiene gran importancia no sólo por su intensidad, sino que también por su duración diaria y distribución durante el año. Durante los meses secos se puede contar con 12 972 horas de luz solar, y en los lluviosos con 17 282 horas, lo cual da sumas anuales para zonas cafetaleras de 30 254 horas. La luz actúa abriendo el ostíolo (estoma de la hoja) de manera que el agua escapa en mayor cantidad (9).

Las experiencias demuestran que en Costa Rica, el culti-

vo al sol, en comparación con la sombra balanceada, produce aproximadamente 10% más de cosecha por hectárea, teniendo por otro lado el inconveniente de que al sol, se presenta con mayor intensidad la mancha cercospora (Cercospora coffeicola), y un crecimiento de malas hierbas, aumentándose los costos de producción. Así también, el abuso de la sombra es la causa aparente de los bajos rendimientos.

Con relación al fotoperíodo, se estima que es importante en la regulación de algunas funciones vitales tales como: floración, fructificación y crecimiento vegetativo.

En cuanto a la floración el cafeto es una planta de día corto, y en condiciones de días largos, la planta crece vegetativamente. El fotoperíodo crítico para la iniciación de la floración es entre 13 y 14 horas.

La iniciación floral ocurre en períodos de luz con valores alrededor de 13 horas ó menos, más no en aquellos de 14 horas ó más. La iniciación de las yemas florales se adelanta con un fotoperíodo de 8 horas, en relación con uno de 12 horas.

Observaciones posteriores realizadas por Cannel (1972), han puesto en duda el papel de la duración del día en el control del crecimiento y florescencia del cafeto, habiéndolos asociado principalmente a fluctuaciones de lluvia y temperatura.

2.5.3.4. Vientos

Los vientos son por lo general muy dañinos al café; ya que muestran varios efectos destructivos, tanto mecánicos como ambientales. El daño mecánico puede ser desde la rotura de hojas hasta la destrucción de plantas enteras, pasando por la defoliación, caída de flores y frutos, rotura de ramas de cafeto y de árboles de sombra; además causan un aumento desmedido de la transpiración, lo que resulta en un desbalance hídrico de graves consecuencias.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Materiales

Para el estudio de zonificación agroclimática se seleccionan todas aquellas estaciones meteorológicas, comprendidas en el área de interés, las que proporcionan información completa sobre los elementos y series consideradas (Cuadro 1).

#### 3.2. Métodos

La metodología utilizada para realizar la zonificación agroclimática del cultivo del café es una combinación de los índices bioclimáticos y los estudios sobre producción potencial y longitud de períodos de cultivo desarrollado por la FAO. Se describe de la siguiente manera :

- Se determina para el cafeto (*Coffea arabica* L.), sus requerimientos agroclimáticos tales como: suelo, temperaturas del aire, radiación y precipitación.
- Recopilación y ordenamiento de los elementos climáticos del área en estudio.
  - a. Recopilación de la información climatológica disponible :

Se refiere al ordenamiento de la información que se encuentra en los archivos del Servicio de Meteorología e Hidrología, Centro de Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura-

ra y Ganadería. La longitud de la serie de datos climáticos depende de cada elemento, para precipitación se necesitan series de por lo menos 20 años; la radiación puede derivarse de información de 5 ó más años.

b. Generación de información climática faltante en base a fórmulas establecidas (ver Anexo 3).

Se generó la información que no se encuentra disponible en forma directa, tales como: temperatura diurna, temperatura nocturna, evapotranspiración potencial (ETP), entre otros.

c. Análisis del régimen térmico.

Esta comprende el estudio de las temperaturas media, máxima y mínimas, así como los períodos opresivos, si es necesario.

### 3.3. Determinación de la longitud del período de cultivo.

El análisis frecuencial de lluvias expresa la disponibilidad de agua para el cultivo, en términos de probabilidades de ocurrencia de una cantidad de lluvias relacionada con la evapotranspiración potencial (ETP) del período considerado (3).

El período de análisis es variable y depende principalmente de las condiciones del suelo y de la necesidad del cultivo. Se ha considerado un período de diez días (década) por ajustarse mejor a este trabajo (Cuadro 2).

La ETP es calculada a partir de la fórmula de Hargreaves, por ser la que mejor se adapta a la fórmula de Penman, bajo -

las condiciones climáticas del país como lo desarrolló Salazar. Se considera como el requisito máximo de agua para cualquier cultivo, según las condiciones climáticas existentes, considerado el ETP/2 como el requisito mínimo de agua para el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Calculadas las probabilidades para cada década (método frecuencial), de que la precipitación sea mayor o igual a una fracción de ETP, obteniendo el Gráfico con todas las décadas del año y sus respectivas probabilidades. Luego se establece una probabilidad que represente un riesgo aceptable de ocurrencia para la agricultura. En este trabajo se toma un riesgo de 75%, es decir, que la precipitación será mayor o igual que ETP o ETP/2, por lo menos 3 de cada 4 años.

Por medio del análisis frecuencial es posible detectar la(s) época(s) con mayor probabilidad de ocurrencia de precipitación o sea con un buen abastecimiento hídrico, además permite determinar los períodos de sequía. Toda esta información permite planificar de una forma más adecuada las actividades agrícolas (siembra, cosechas, riesgos, etc.), de los cultivos.

#### 3.4. Índice de producción potencial

El índice de producción potencial (IPP), ha sido elaborado por de Wit y utilizado grandemente por otros investigadores, entre ellos la Organización para Agricultura y la Alimentación (FAO). Esta técnica permite hacer al criterio de zoni

ficación más arbitrario a la vez que introduce las leyes de la física en los procesos biológicos que rigen la producción vegetal: fotosíntesis, respiración, evapotranspiración, crecimiento, entre otros. De esta manera, se tendrá más oportunidad de lograr una zonificación válida para zonas bien diferenciadas (3).

Esta función básicamente relaciona las variables del clima más importantes: radiación solar, y la temperatura con los procesos biológicos que determinan la producción neta de biomasa: la fotosíntesis y la respiración, bajo el supuesto de buen abastecimiento de agua y nutrientes (3).

La función propuesta es la siguiente :

$$PN = \frac{0.36 \times b_{gm}}{1/N + 0.25 \times Ct}$$

Donde :

PN = Producción neta de materia seca total del cultivo durante los n días del ciclo del mismo y expresada en Tn/ha.

b<sub>gm</sub> = Tasa máxima de producción bruta de biomasa del cultivo.

N = Ciclo del cultivo expresado en días.

Ct = Coeficiente de respiración del cultivo.

El valor de Ct, depende de la temperatura promedio y el de b<sub>gm</sub>, de la tasa máxima de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condiciones de saturación por la luz.

Para ampliar el desarrollo de este método, consultar trabajo realizado por la FAO (3).

3.5. Determinación de períodos con deficiencias hídricas.

Consiste mediante la técnica del balance hídrico climatológico según (Thornthwaite), en determinar las zonas que tienen características bien definidas en lo que a reserva de humedad del suelo disponible para los cultivos se refiere, determinándose períodos consecutivos de déficit hídrico que puedan afectar al desarrollo del cultivo.

3.6. Elaboración de mapas

Consiste en la elaboración y sobreposiciones de los mapas, permitiendo con esto seleccionar las áreas que permitan el crecimiento y producción del cultivo en un rango preseleccionado de magnitud (áreas óptimas, subóptimas y marginales), principal objetivo de la zonificación agroclimática.

3.7. Presentación de resultados

Esta etapa consiste en la elaboración final del mapa de zonificación agroclimática del cultivo del café.

Como se mencionó al inicio de este trabajo, uno de los objetivos primordiales es comprobar esta metodología y recomendar el modelo para futuros trabajos de zonificación en otros cultivos de importancia económica.

Es necesario mencionar que con el objeto de hacer análisis

más a profundidad se han incluido en la metodología, aspectos como balance hídrico; y estudio de las temperaturas diurnas y nocturnas como índice bioclimáticos del cultivo.

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, se divide la zona en estudio en cuatro regiones:

- Región I : Esta comprende la zona costera de 0 a 500 msnm.
- Región II: Comprende el área de las montañas costeras y cadena volcánica, de 500 a 2 000 msnm, ubicados entre los departamentos de Santa Ana, Sonsonate y Ahuachapán.
- Región III : Comprende el área de valles interiores, ubicada entre la Región II y IV, predominando elevaciones entre 300 a 500 msnm, incluyendo además la zona alta de Candelaria de La Frontera.
- Región IV : Corresponde a la zona norte del área en estudio, con elevaciones de 500 a 2 000 msnm.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio agroclimático. (Series : 20 años de registro).

CODIGO	ESTACION	UBICACION		ELEVACION (msnm)
		Latitud Norte	Longitud Oeste	
A <sub>1</sub>	San Jerónimo	14°21,2'	89°34,5'	490
A <sub>3</sub>	Metapán	14°18,7'	89°27,2'	480
A <sub>4</sub>	Taxis Junction	14°06,2'	89°27,2'	400
A <sub>10</sub>	Finca Novi	13°55,0'	89°36,7'	1 020
A <sub>12</sub>	Santa Ana, El Palmar	13°58,6'	89°34,2'	725
A <sub>15</sub>	Guija	14°13,7'	89°28,7'	485
A <sub>18</sub>	Finca Los Andes	13°52,5'	89°38,7'	1 770
T <sub>3</sub>	Izalco	13°45,7'	89°42,3'	390
T <sub>4</sub>	El Zunza	13°45,2'	89°33,2'	610
T <sub>6</sub>	Acajutla, Pto. Nuevo	13°34,4'	89°50,0'	15
T <sub>8</sub>	Finca El Triunfo	13°44,3'	89°32,9'	620
T <sub>15</sub>	santa María Coquiama	13°38,0'	89°41,3'	140
T <sub>16</sub>	La Majada	13°52,1'	89°43,3'	1 170
T <sub>1</sub>	Sonsonate, Fenadesal	13°43,3'	89°43,6'	230
H <sub>1</sub>	Ahuachapán, Fenadesal	13°51,71'	89°51,2'	750
H <sub>13</sub>	Apaneca, Santa Leticia	13°51,71'	89°46,9'	1 300
L <sub>1</sub>	Tepecoyo	13°42,9'	89°29,6'	960
L <sub>4</sub>	San Andrés	13°48,5'	28°24,4'	460
G <sub>3</sub>	Nueva Concepción	14°07,5'	89°17,9'	320
G <sub>4</sub>	La Palma	14°07,5'	89°09,7'	1 000

Otras Estaciones utilizadas (Series : Mayores de 5 años y menores de 20 años).

A <sub>2</sub>	Hacienda Montecristo	14°25,1'	89°21,0'	2 230
A <sub>27</sub>	Candelaria de La Frontera	14°07,2'	89°39,1'	700
A <sub>31</sub>	Planes de Montecristo	14°23,9'	89°21,6'	1 851

Continuación Cuadro 1.

CODIGO	ESTACION	UBICACION		ELEVACION (msnm)
		Latitud Norte	Longitud Oeste	
A <sub>35</sub>	Cerro Verde	13°49,6'	89°37,4'	2 030
T <sub>24</sub>	Los Naranjos	13°52,5'	89°40,5'	1 450
H <sub>14</sub>	La Hachadura	13°51,6'	80°05,4'	30
H <sub>20</sub>	Atiquizaya, CEL	13°58,3'	89°45,1'	630
L <sub>8</sub>	Santa Tecla	13°41,2'	89°17,3'	965
G <sub>13</sub>	Las Pilas	14°21,9'	89°05,4'	1 960

CODIGO :    A : Estaciones del Departamento de Santa Ana.  
          T : Estaciones del Departamento de Sonsonate.  
          H : Estaciones del Departamento de Ahuachapán.  
          L : Estaciones del Departamento de La Libertad.  
          G : Estaciones del Departamento de Chalatenango.

Cuadro 2. Fechas de las décadas del año.

DECADA	FECHA	DECADA	FECHA
1	1E - 10E	19	1J - 10J
2	11E - 20E	20	11J - 20J
3	21E - 31E	21	21J - 31J
4	1F - 10F	22	1A - 10A
5	11F - 20F	23	11A - 20A
6	21F - 28F	24	21A - 31A
7	1M - 10M	25	1S - 10S
8	11M - 20M	26	11S - 20S
9	21M - 31M	27	21S - 30S
10	1M - 10A	28	1Ø - 10Ø
11	11A - 20A	29	11Ø - 20Ø
12	21A - 30A	30	21Ø - 31Ø
13	1M - 10M	31	1N - 10N
14	11M - 20M	32	11N - 20N
15	21M - 31M	33	21N - 30N
16	1J - 10J	34	1D - 10D
17	11J - 20J	35	11D - 20D
18	21J - 30J	36	21D - 31D

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Temperaturas

###### 4.1.1. Temperatura mínima promedio anual

En la Región I, se tiene que las temperaturas mínimas disminuyen de los 30 a 32 °C, a medida que se aleja de la costa hacia la Región II, en la cual continúa disminuyendo hasta 12 °C a una altura de 2 000 msnm, observándose nuevamente un incremento en la temperatura hasta los 18 °C a los 800 msnm, a medida que se acerca a la Región III. Esta región presenta temperaturas de los 18 °C en la zona alta de Candelaria de La Frontera, predominando en el resto de la región, temperaturas entre 18-20 °C, en la Región IV, presenta variaciones de 18 °C-10 °C, una elevación de 500 - 2 000 msnm, respectivamente (Figura 1).

###### 4.1.2. Temperatura media anual

El comportamiento de la temperatura media en las diferentes regiones es similar al de las temperaturas mínimas, así para la Región I, se tienen variaciones de 27-24 °C; en la Región II, variaciones de 22-16 °C, presentándose en la Región III, temperaturas de 24-20 °C; y finalmente la Región IV, con un rango de 20-14 °C (Figura 2).

4.1.3. Temperatura máxima anual

En la Región I, la temperatura varía de 34-32 °C, en la Región II, de 32-20 °C, en la Región III, 30-28 °C; y en la Región IV, varían de 28-17 °C (Figura 3).

4.1.4. Temperatura diurna anual

Para la Región I, se presentan variaciones de 30-28 °C; en la región II, de 26-18 °C; la Región III, de 28-24 °C; y la Región IV, de 28-15 °C (Figura 4).

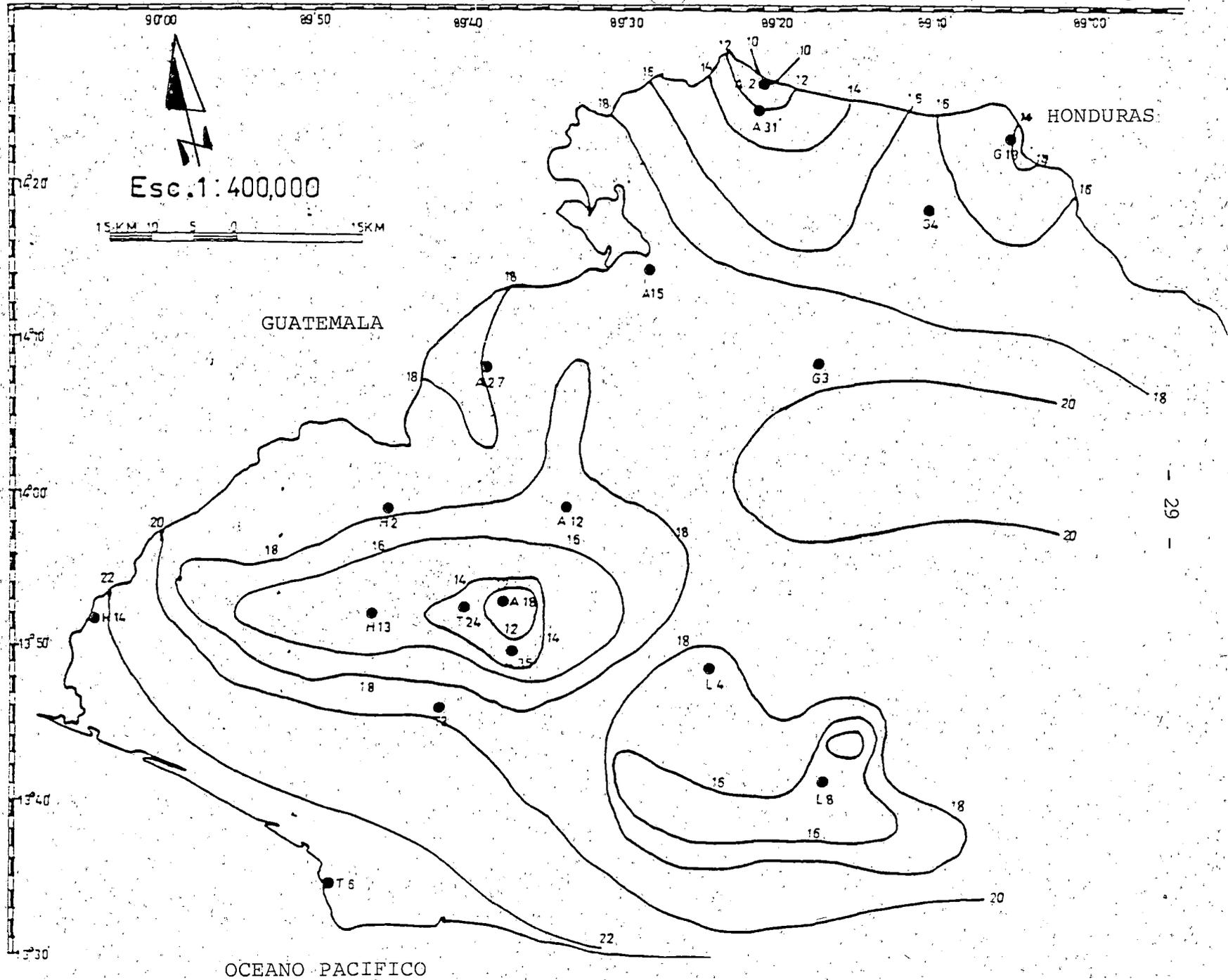


Fig. 1. Temperatura mínima media anual en °C para la zona occidental de El Salvador.

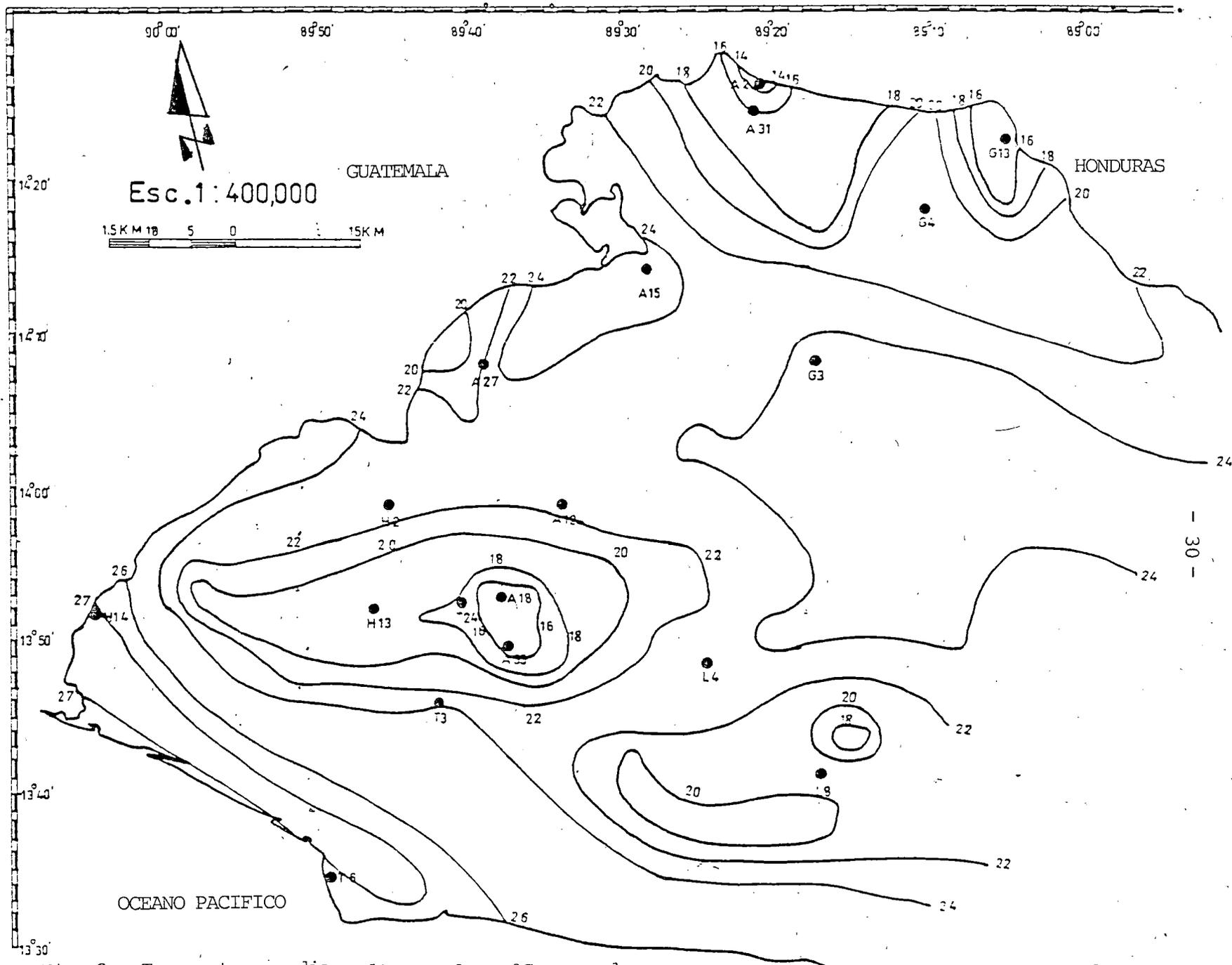


Fig. 2. Temperatura media media anual en °C, para la zona occidental de El Salvador.

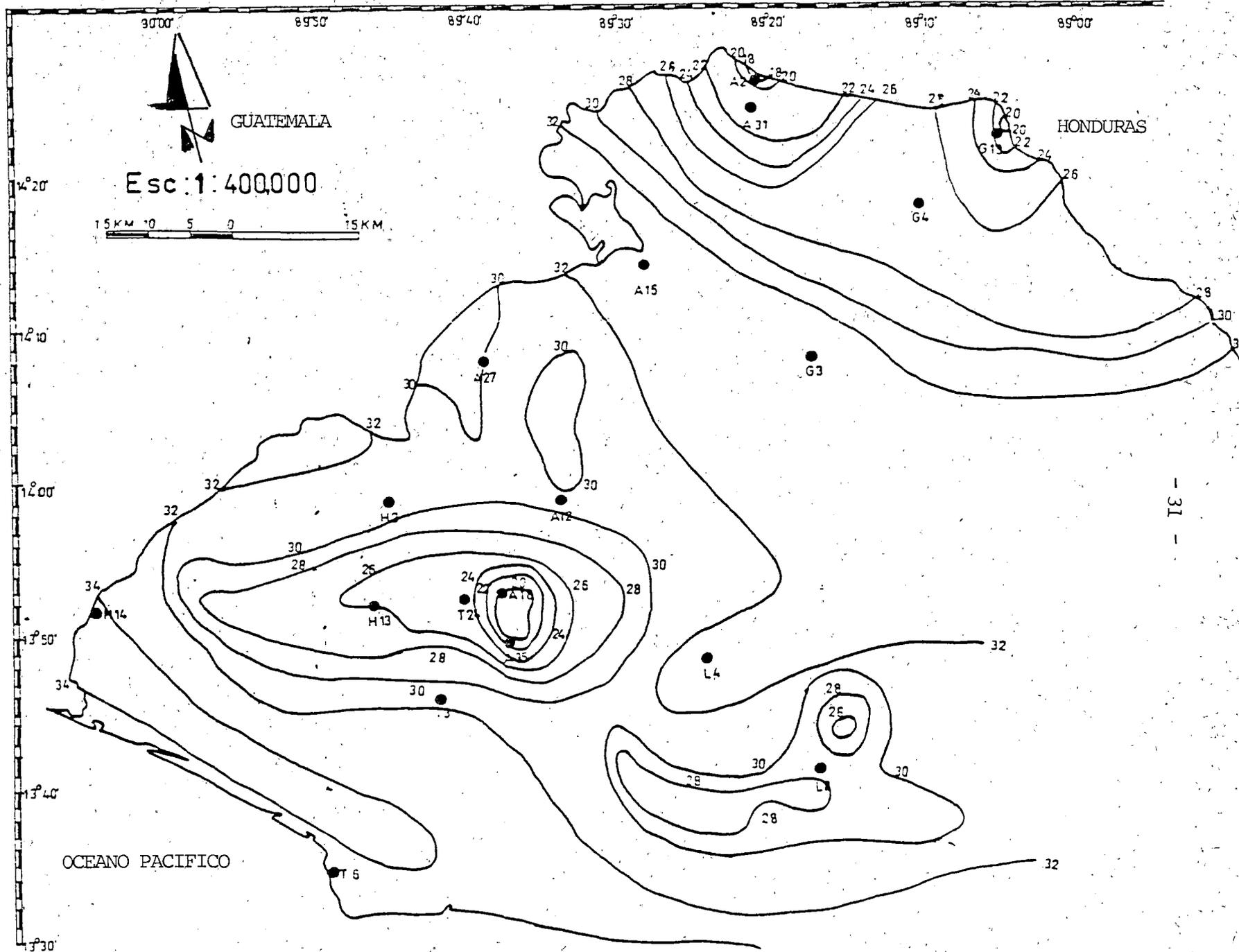


Fig. 3. Temperatura máxima media anual en °C, para la zona occidental de El Salvador.

#### 4.1.5. Temperatura nocturna

El comportamiento de la temperatura nocturna en la Región I, varía de los 26 - 22 °C, en la Región II, los valores oscilan de 22-15 °C; la Región III, presenta un rango de 24-20 °C; y por último la Región IV, de los 20-14 °C (Figura 5).

#### 4.2. Precipitación

La lluvia es el elemento meteorológico, más variable, ya que debido a sus características particulares, muestra distinto comportamiento a través del tiempo y el espacio. La variación a través del tiempo es muy notoria, mediante la observación de las cantidades de lluvia que se tienen cada año, -- existiendo muchas veces grandes variaciones que pueden ser muy determinantes para la producción de los cultivos. La variación en el espacio, se debe a que la lluvia es un fenómeno natural de tipo localizado, razón por la cual su influencia es sobre un área determinada. A partir de lo expuesto anteriormente, es que se plantea la necesidad de utilizar series de registros de lluvia, lo suficientemente largas (un mínimo de 20 años), para disminuir al mínimo, los posibles errores en el análisis e interpretación del comportamiento de dicho fenómeno.

Para fines del presente trabajo se utilizan estaciones - que poseen series de registros de lluvia de por lo menos 20 -

años, utilizando los datos registrados desde 1961 hasta 1981. Con la finalidad de poder analizar de forma más objetiva la distribución de la lluvia, se ha elaborado un registro decádico.

En este trabajo se analizan tanto la distribución como las cantidades precipitadas. La primera de una forma general y la segunda para cada una de las regiones en que se ha dividido la zona en estudio.

#### 4.2.1. Distribución

En El Salvador, se presentan dos épocas claramente definidas :

- a) Época seca
- b) Época lluviosa

La primera se establece desde noviembre hasta abril, caracterizándose por una nula o muy baja precipitación.

La época lluviosa se establece desde mayo hasta octubre, y se caracteriza por un incremento progresivo de las precipitaciones a partir de mayo hasta alcanzar su primer máximo en junio, dándose una disminución progresiva hasta alcanzar un mínimo en julio y/o principio de agosto (ocasionando en algunos lugares el fenómeno conocido como "canícula" o "veranillo"). Posteriormente se observa un nuevo incremento hasta alcanzar su segundo máximo en septiembre, disminuyendo nuevamente hasta finalizar la época lluviosa.

Es importante mencionar que existen períodos de transición entre ambas épocas.

#### 4.2.2. Cantidades

Región I : En esta región las precipitaciones anuales varían desde 1 600 mm en la costa hasta los 1 900 mm a los 500 msnm.

Región II : En la Región II se presenta un considerable incremento en las precipitaciones con respecto a la Región I, registrándose cantidades que van de los 1 900 mm a los 500 msnm, hasta los 2 300 mm a 2 000 msnm.

Región III : La Región III registra precipitaciones que oscilan de 1 700 a 1 800 mm en la parte central, presentando de 1 800 a 2 000 mm en la zona de Candelaria de La Frontera; a diferencia la zona de Guija que registra valores de los 1 200 a 1 500 mm.

Región IV : Esta región muestra registros de precipitación que van desde los 1 700 mm a los 500 msnm, hasta los 2 400 mm a los 2 000 msnm (Figura 6).

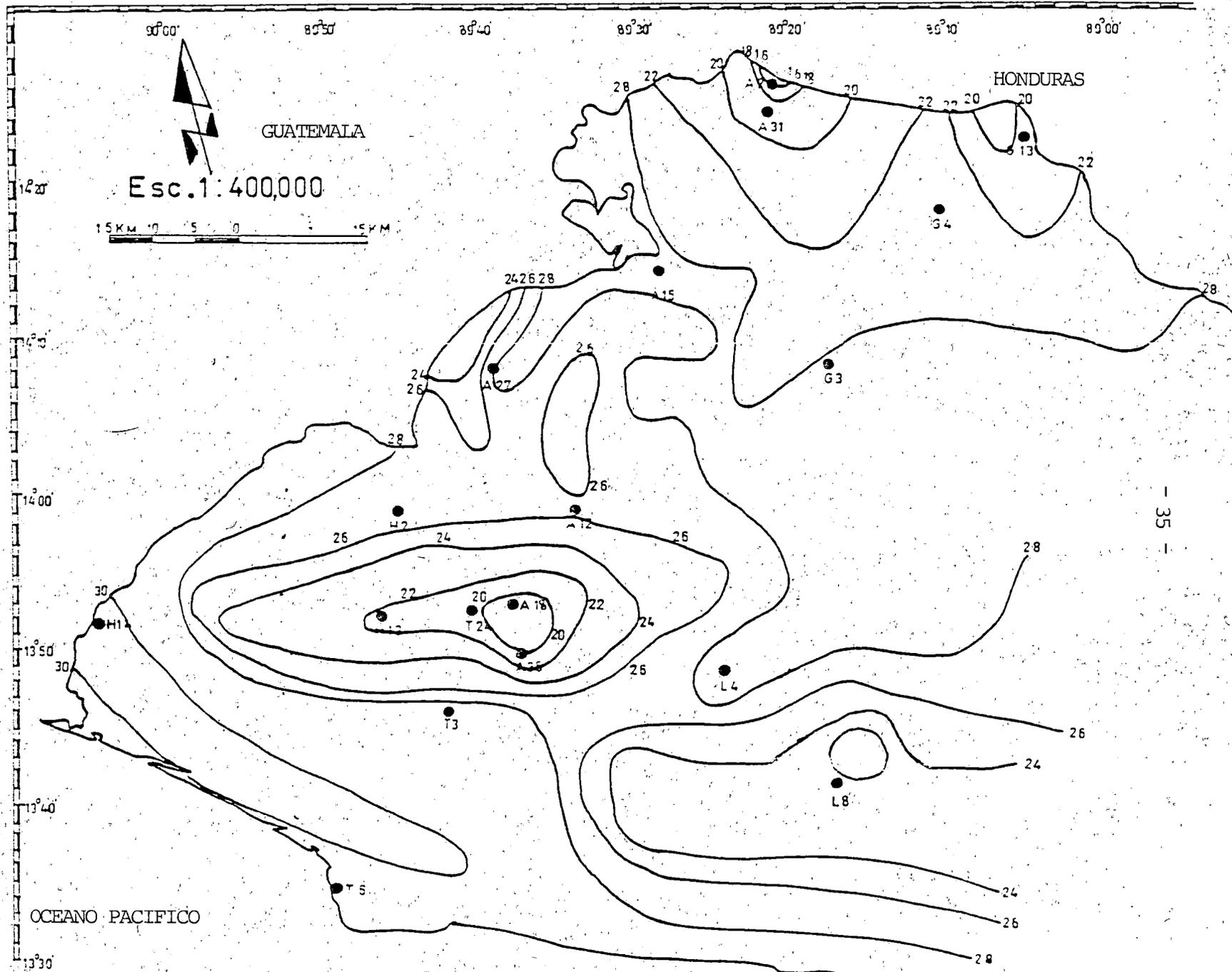


Fig. 4. Temperatura diurna anual en °C, para la zona occidental de El Salvador.

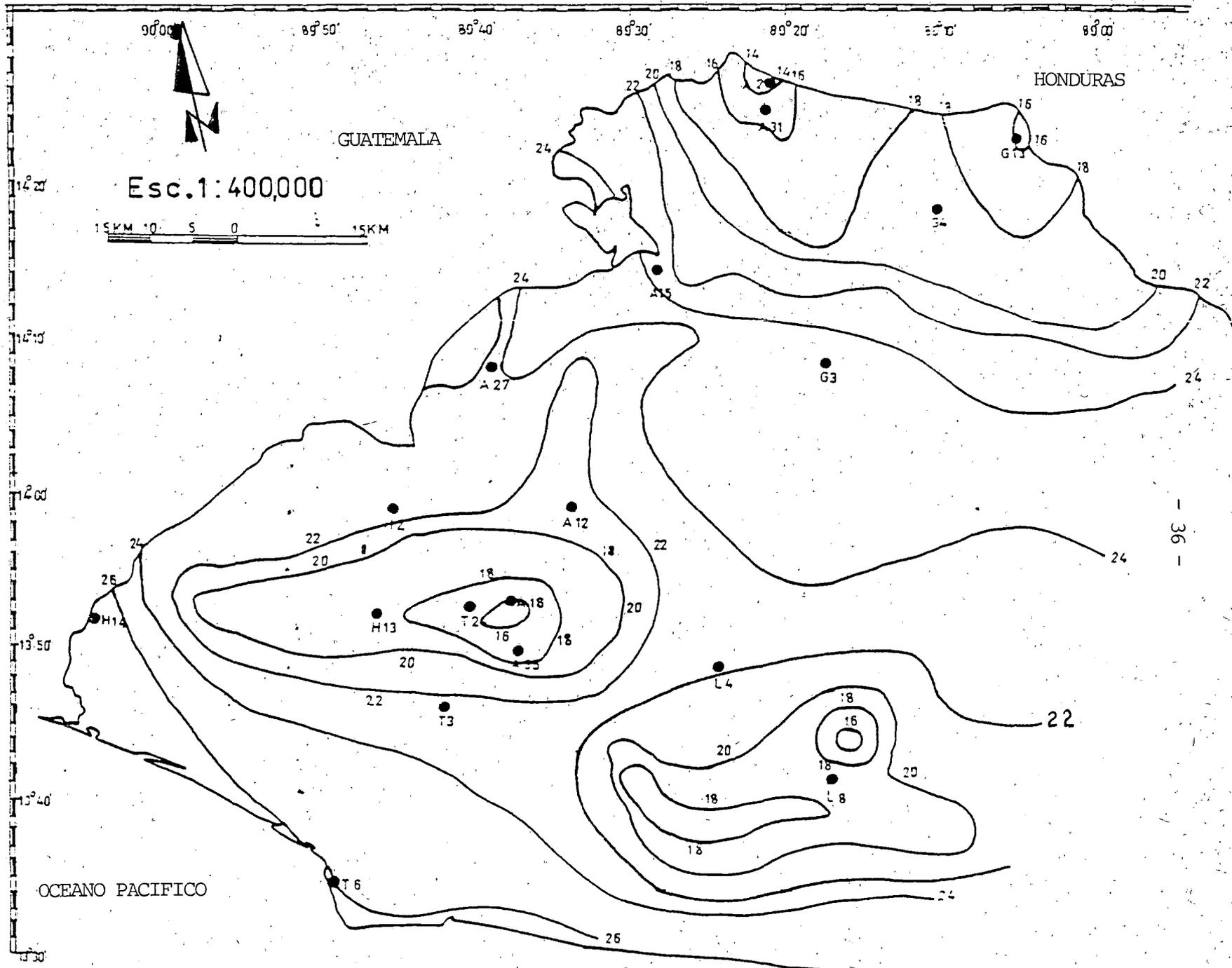


Fig. 5. Temperatura nocturna anual en °C, para la zona occidental de El Salvador.

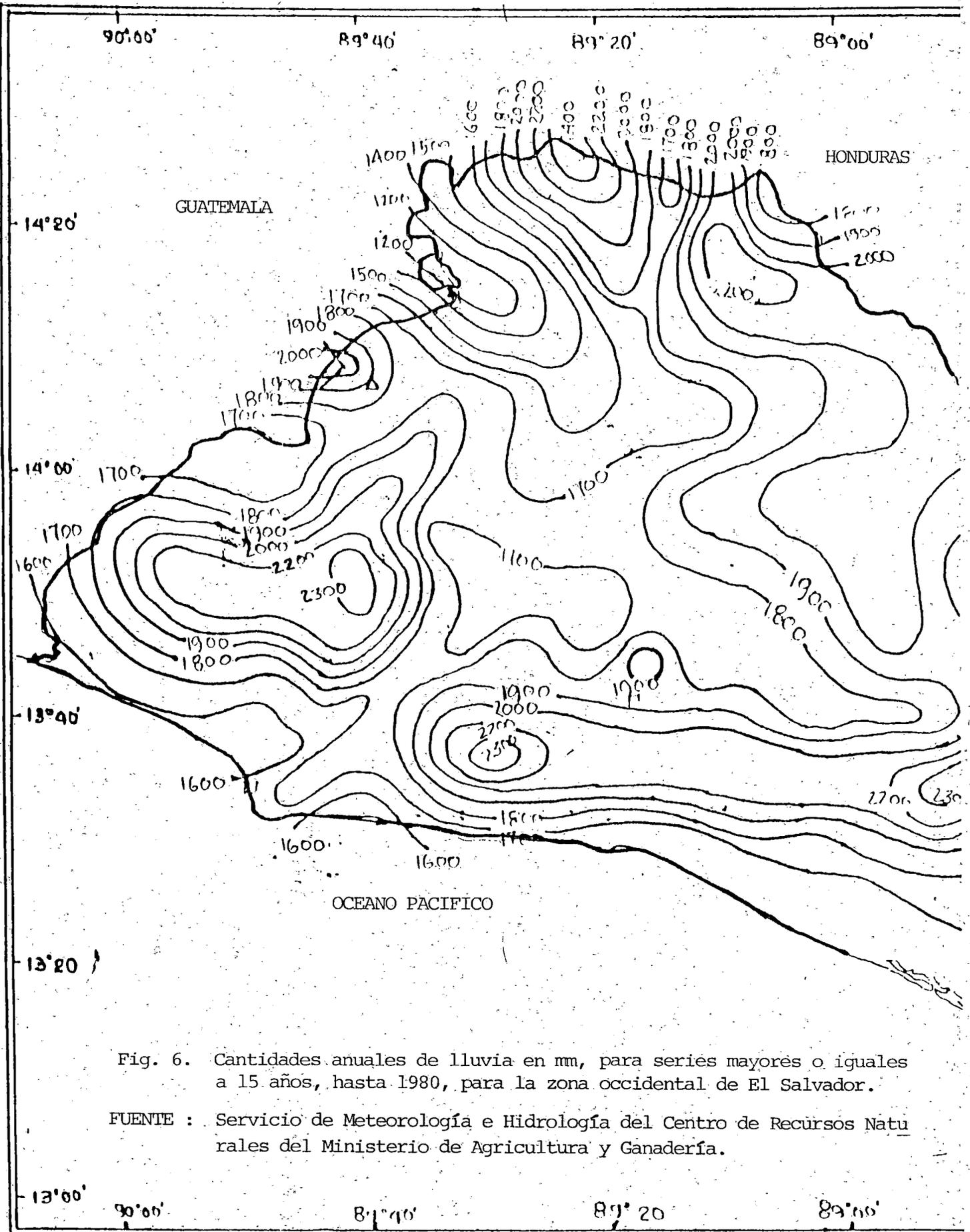


Fig. 6. Cantidades anuales de lluvia en mm, para series mayores o iguales a 15 años, hasta 1980, para la zona occidental de El Salvador.

FUENTE : Servicio de Meteorología e Hidrología del Centro de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

4.3. Longitud del período de cultivo (Figura 7)

Puede observarse que para la Región I, las longitudes del período de cultivo oscilan entre los valores de 146 días hasta 152 días a 15 y 500 msnm respectivamente, comenzando generalmente entre la 14 y 15ª década y finalizando entre la 29 ó 30 década del año, como puede observarse en las Estaciones de Acajutla (Figura 8) y Santa María Coquiama (Figura 9).

La Región II presenta valores de período de cultivo desde 152 días a 500 msnm hasta 158 días a los 1800 msnm (Figuras 10 y 11).

La Región III, presenta longitudes de período de cultivo desde 122 días, hasta 152 días (Figuras 12 y 13).

Finalmente, la Región IV describe curvas de frecuencia de lluvia cuya longitud de período de cultivo presenta valores de 147 días; describiendo además, un período lluvioso con probabilidades más uniformes (Figura 14).

En el Cuadro 3, se observan las longitudes del período de cultivo para todas las estaciones en estudio, también la fecha de inicio y finalización del mismo período.

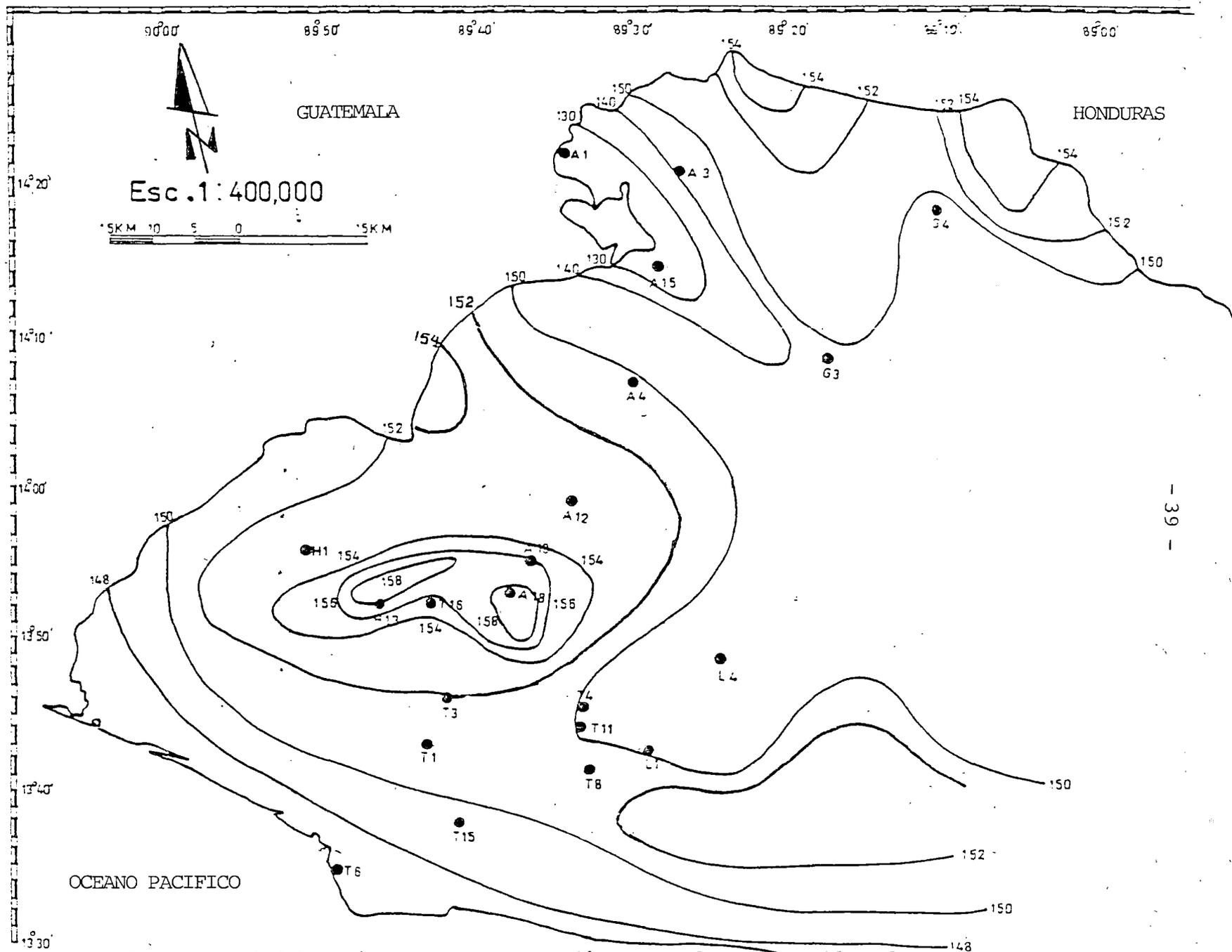


Fig. 7. Longitud del período de cultivo en días, para la zona occidental de El Salvador.

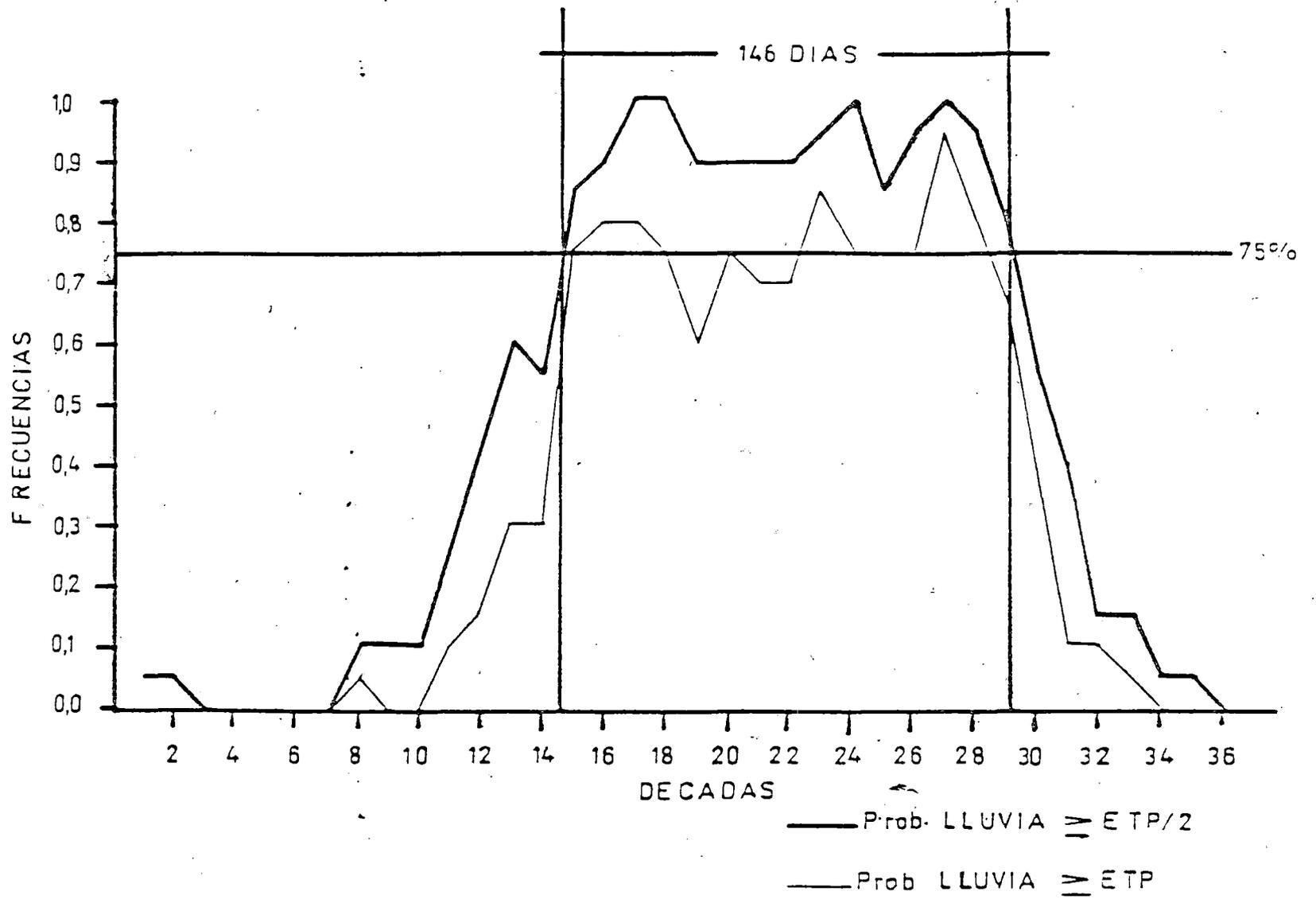


Fig. 8. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación Acajutla.

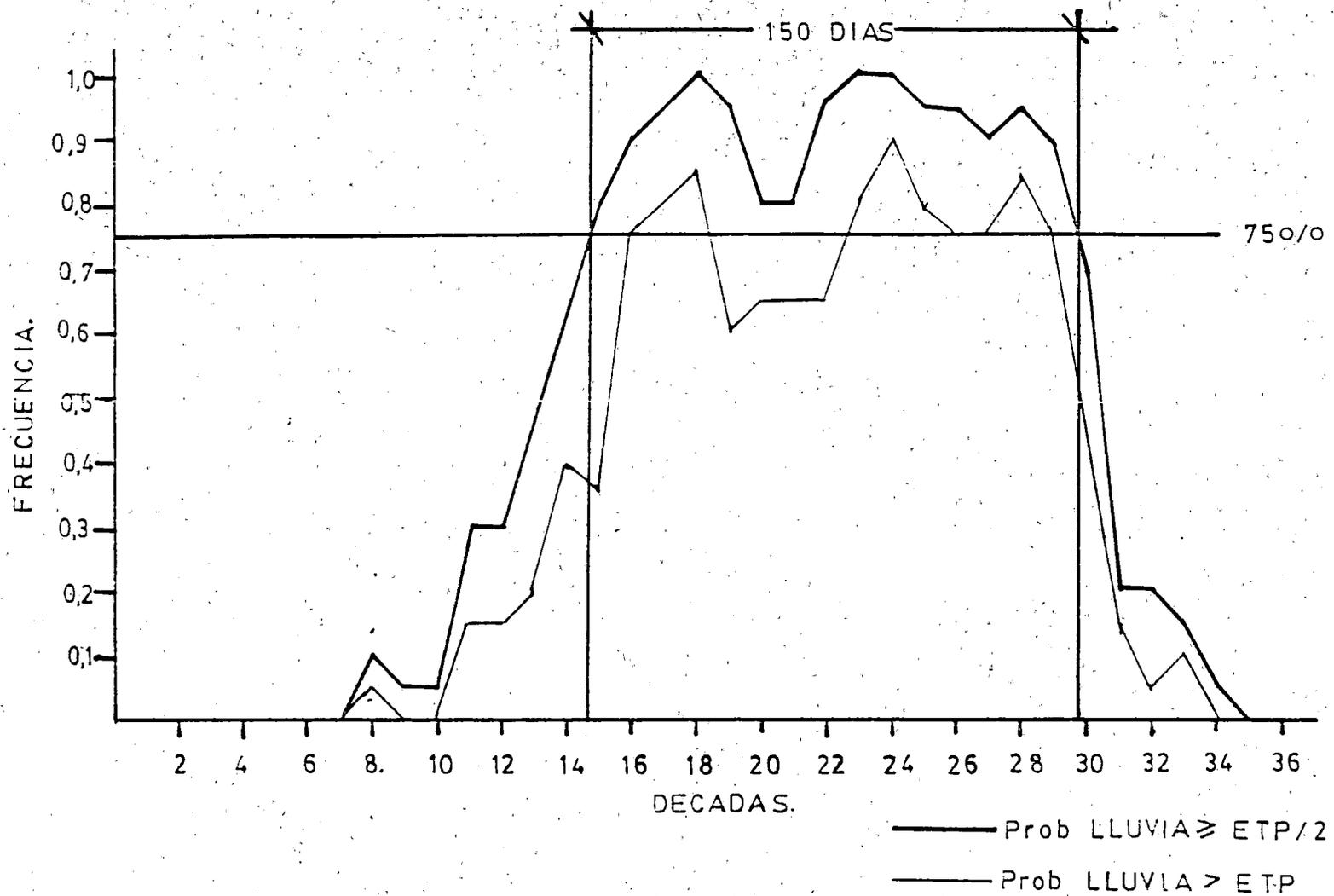


Fig. 9. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación Santa María Coquima.

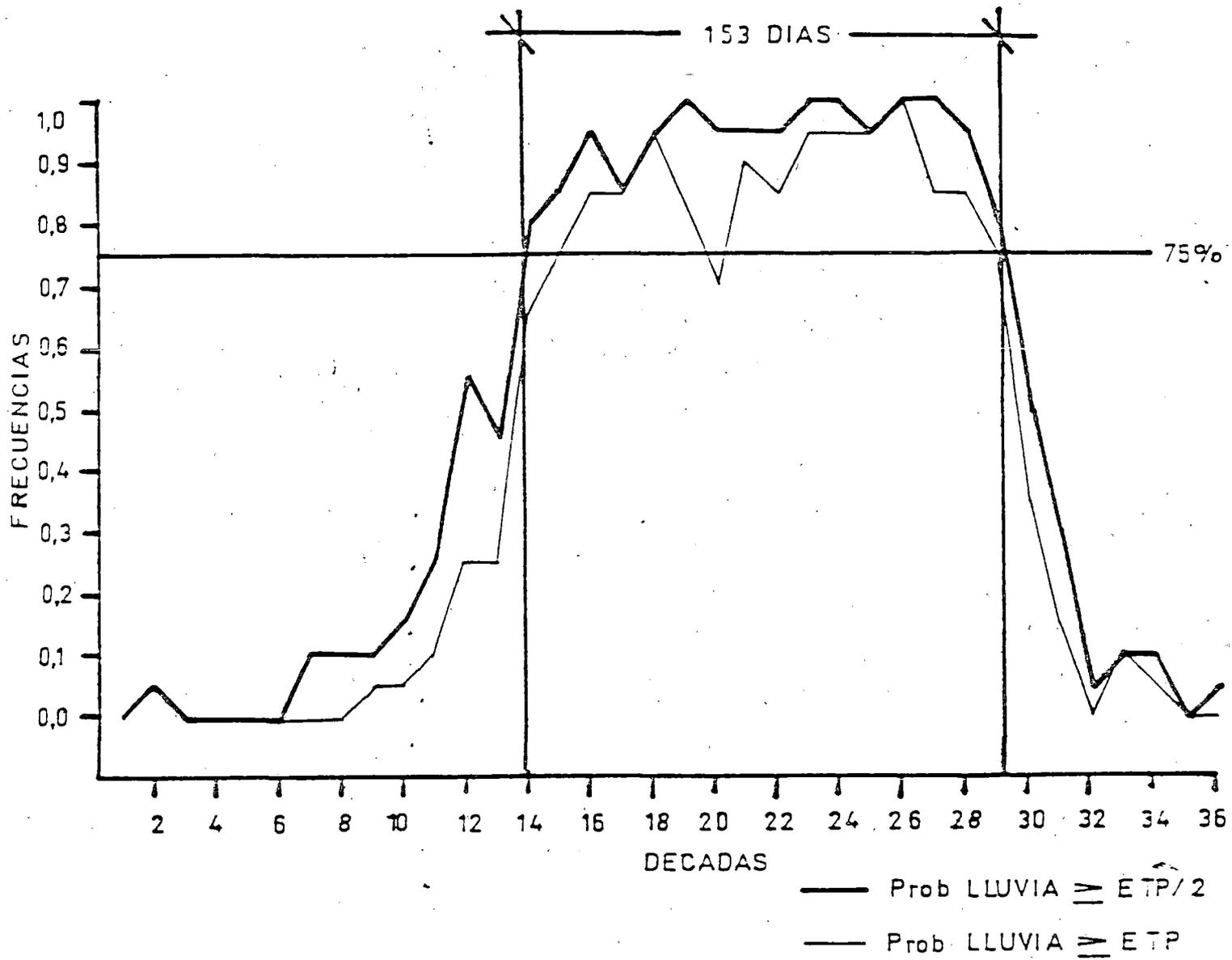


Fig. 10. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación Finca Novi.

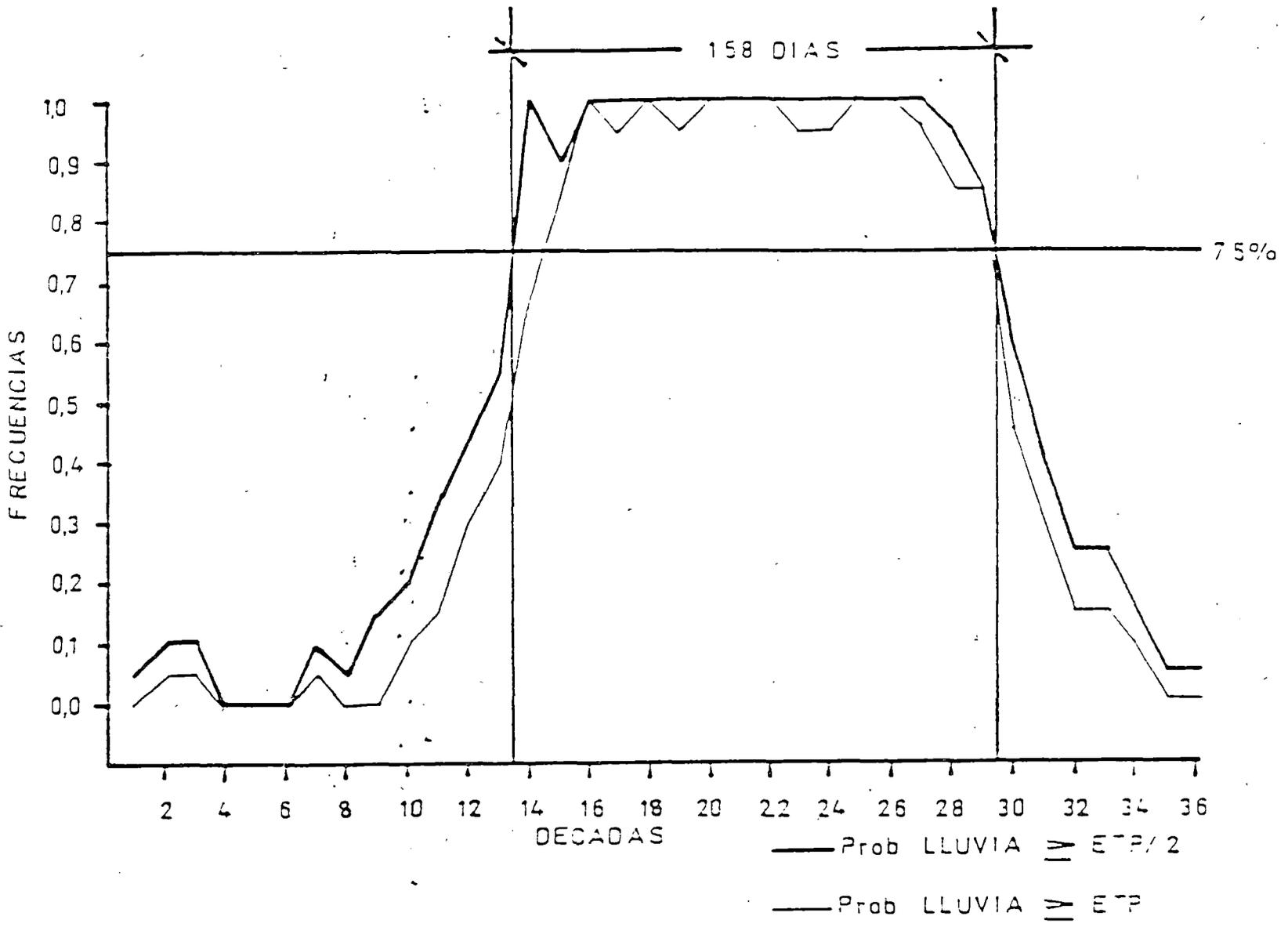


Fig. 11. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación Los Andes.

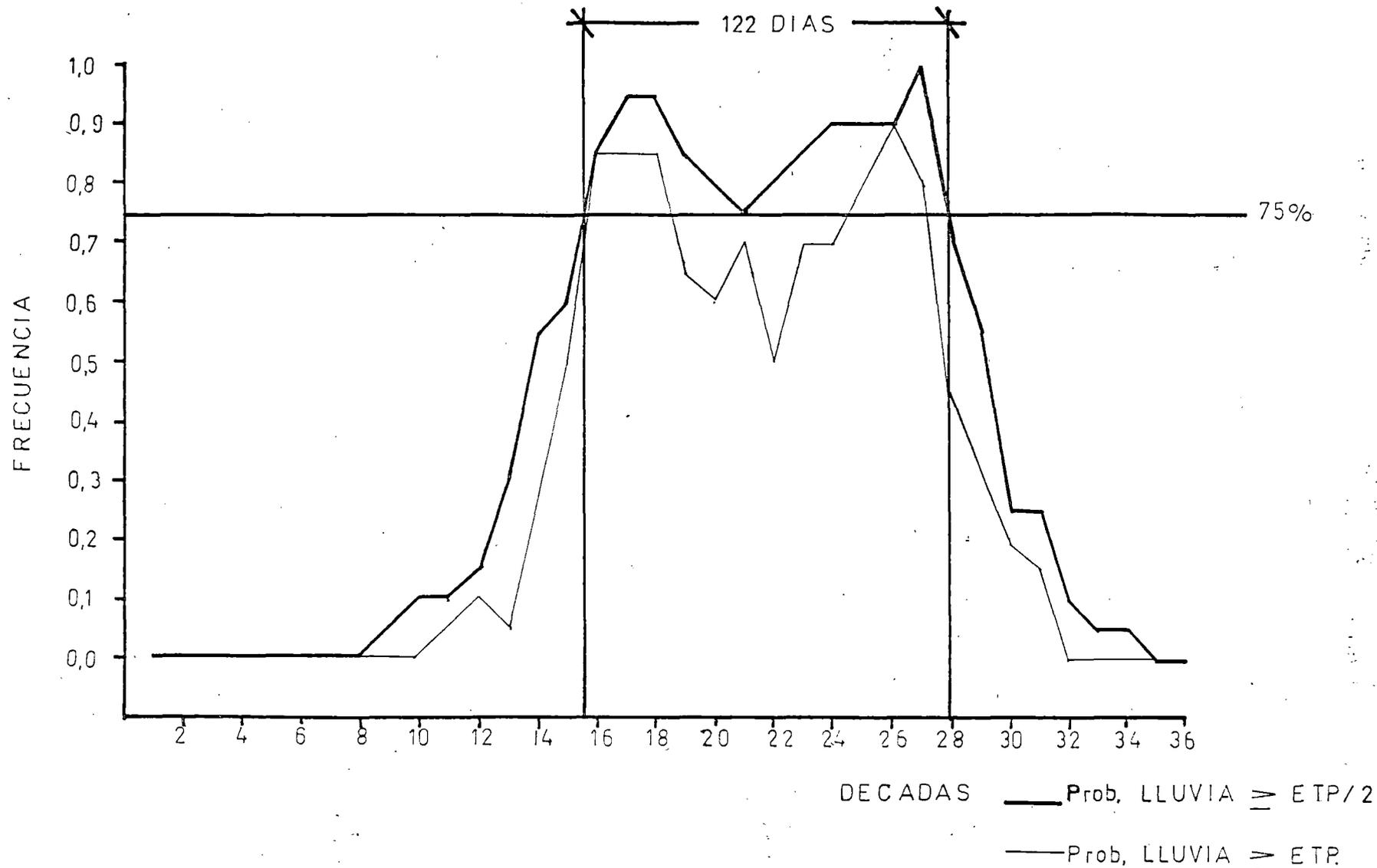


Fig. 12. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación San Jerónimo.

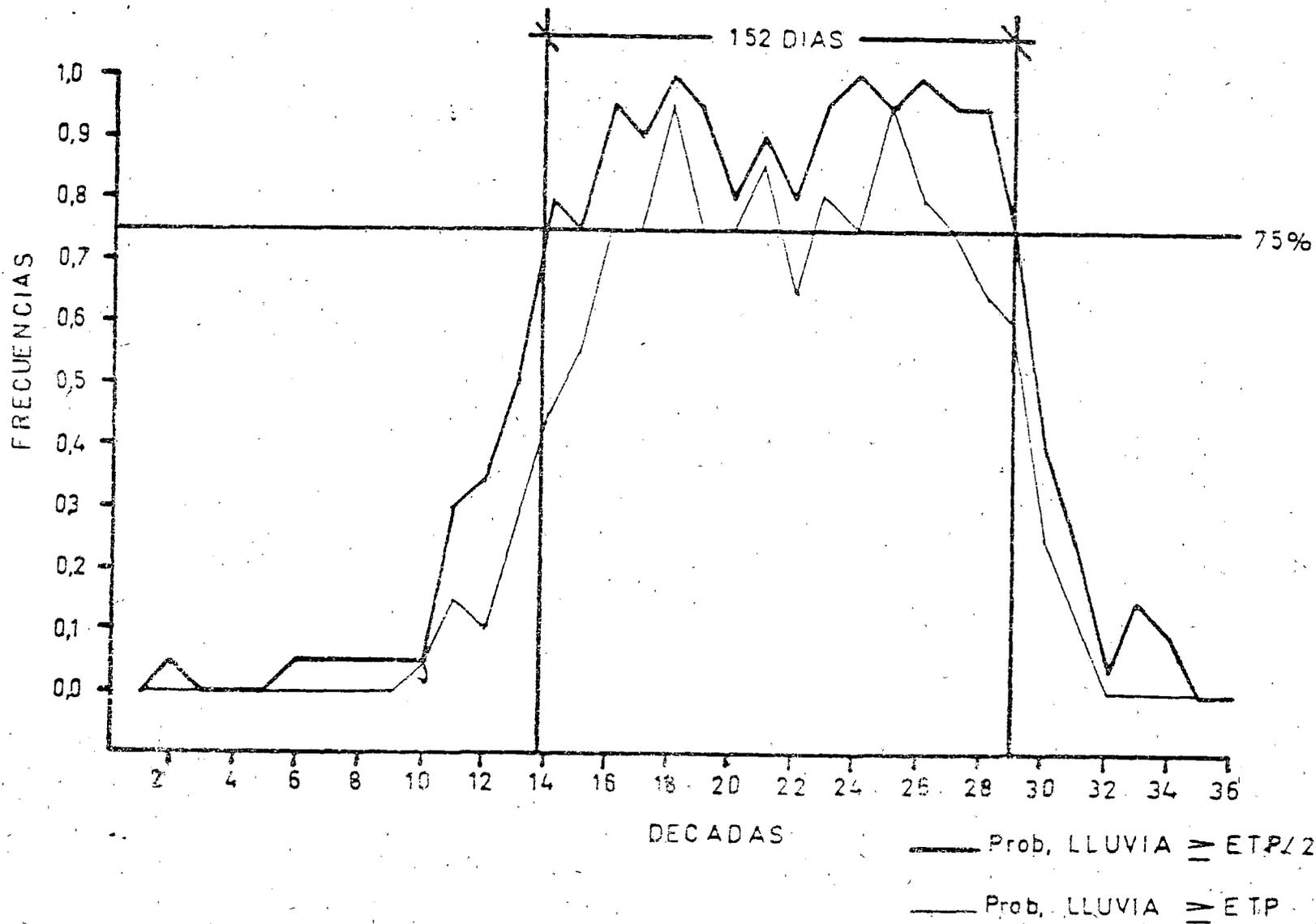


Fig. 13. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación Taxis Junction.

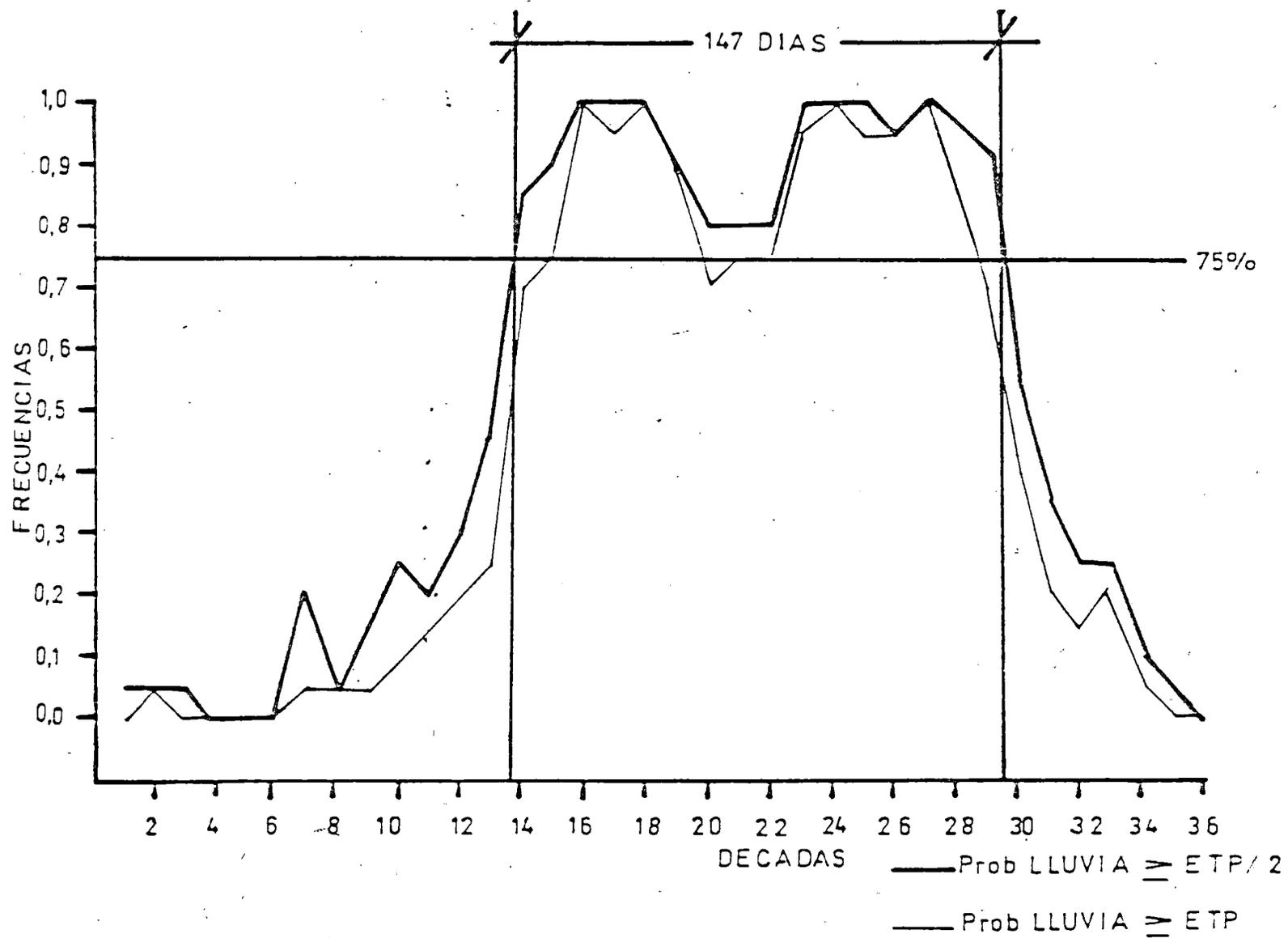


Fig. 14. Longitud del período de cultivo en días, para la Estación La Palma.

Cuadro 3. Fechas y duración del período de cultivo.

ESTACION	INICIO	FINAL	DURACION (días)
San Jerónimo	5 junio	5 Oct.	122
Metapán	20 mayo	11 Oct.	144
Texis Junction	18 mayo	17 Oct.	152
Finca Novi	19 mayo	18 Oct.	153
Santa Ana, El Palmar	6 mayo	7 Oct.	154
Guija	4 junio	7 Oct.	126
Finca Los Andes	6 mayo	11 Oct.	158
Izalco	18 mayo	27 Oct.	162
El Zunza	23 mayo	14 Oct.	144
Acajutla	28 mayo	20 Oct.	146
Finca El Triunfo	22 mayo	15 oct.	140
Santa María Coquima	30 mayo	26 Oct.	150
La Majada	19 mayo	20 Oct.	154
Sonsonate, Fenadesal	28 mayo	25 Oct.	150
Ahuachapán, Fenadesal	28 mayo	16 Oct.	141
Apaneca, Santa Leticia	16 mayo	11 Oct.	148
Tepecoyo	19 mayo	16 Oct.	150
San Andrés	20 mayo	15 Oct.	148
Nueva Concepción	15 Mayo	12 Oct.	150
La Palma	18 mayo	12 Oct.	147

#### 4.4. Índice de producción potencial

La Región I, muestra valores de índice de producción potencial que van de 12-13 Tn/ha, de 0 a 500 msnm respectivamente, mientras que la Región II, presenta valores de 13 Tn/ha a 500 msnm, hasta 16,5 Tn/ha a 2030 msnm, observándose en la Región III, valores que oscilan entre los 12 y 13 Tn/ha, finalmente la Región IV, presenta valores de 13 a 16 Tn/ha (Figura 15).

El Cuadro 4, contiene los valores calculados del índice de producción potencial, para las estaciones consideradas.

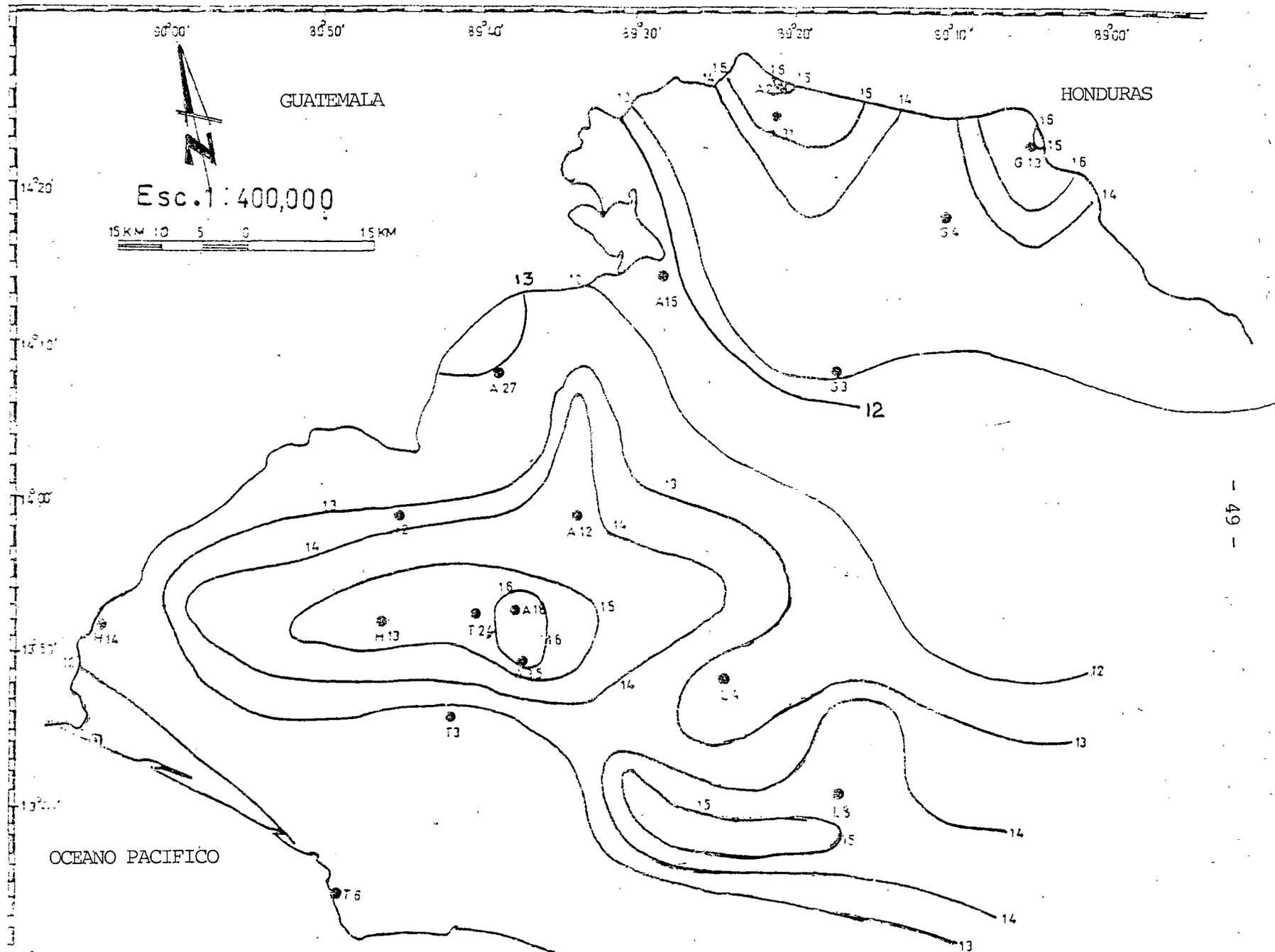


Fig. 15. Producción potencial en Tn/ha, para la zona occidental de El Salvador.

Cuadro 4. Índice de producción potencial (Tn/ha) y otras características de la zona de estudio.

CODIGO	ESTACION	ELEVA- CION	Temperatura promedio del período de cultivo (°C)	Temperatura diur na promedio del período de culti vo ( °C)	Longitud del perío do de cul tivo (días)	Índice de producción potencial (Tn/ha)
T <sub>6</sub>	Acajutla	15	26,8	28,8	146	12,6
H <sub>14</sub>	La Hachadura	30	27,2	30,8	148	13,7
G <sub>3</sub>	Nueva Concepción	320	25,7	28,8	150	13,2
T <sub>3</sub>	Izalco	390	24,3	28,1	162	12,9
L <sub>4</sub>	San Andrés	460	26,2	27,8	148	13,5
A <sub>15</sub>	Guija	485	29,8	28,1	126	11,6
H <sub>20</sub>	Atiquizaya, CEL	630	23,6	27,1	153	12,7
A <sub>27</sub>	Candelaria de La Fron tera	700	23,8	27,5	151	13,05
A <sub>12</sub>	Santa Ana, El Palmar	725	23,1	26,4	154	14,4
L <sub>8</sub>	Santa Tecla	965	21,2	24,8	152	14,7
G <sub>4</sub>	La Palma	1 000	20,9	23,9	147	13,9
H <sub>13</sub>	Apaneca, Santa Leti- cia	1 300	19,5	22,3	158	14,4
T <sub>24</sub>	Los Naranjos	1 450	17,9	21,2	157	15,4
A <sub>18</sub>	Los Andes	1 770	16,9	18,9	158	16,3
A <sub>31</sub>	Planes de Montecris to.	1 851	16,6	18,7	155	15,7
G <sub>13</sub>	La Pilas	1 960	15,9	18,6	155	16,03
A <sub>35</sub>	Cerro Verde	2 030	15	16,9	158	16,5
P <sub>2</sub>	Hacienda Montecristo	2 230	13,5	15,9	156	16,1

4.5. Meses con deficiencias hídricas

En la región I, se tienen 7 meses con deficiencia hídrica; mientras que para la Región II, se obtienen de 6 a 5 meses en la parte más bajas y más altas respectivamente; con respecto a la Región III, se observa que el número de meses con deficiencia hídrica es de 7 a 6, obteniéndose nuevamente para la Región IV de 6-5 meses (Figura 16).

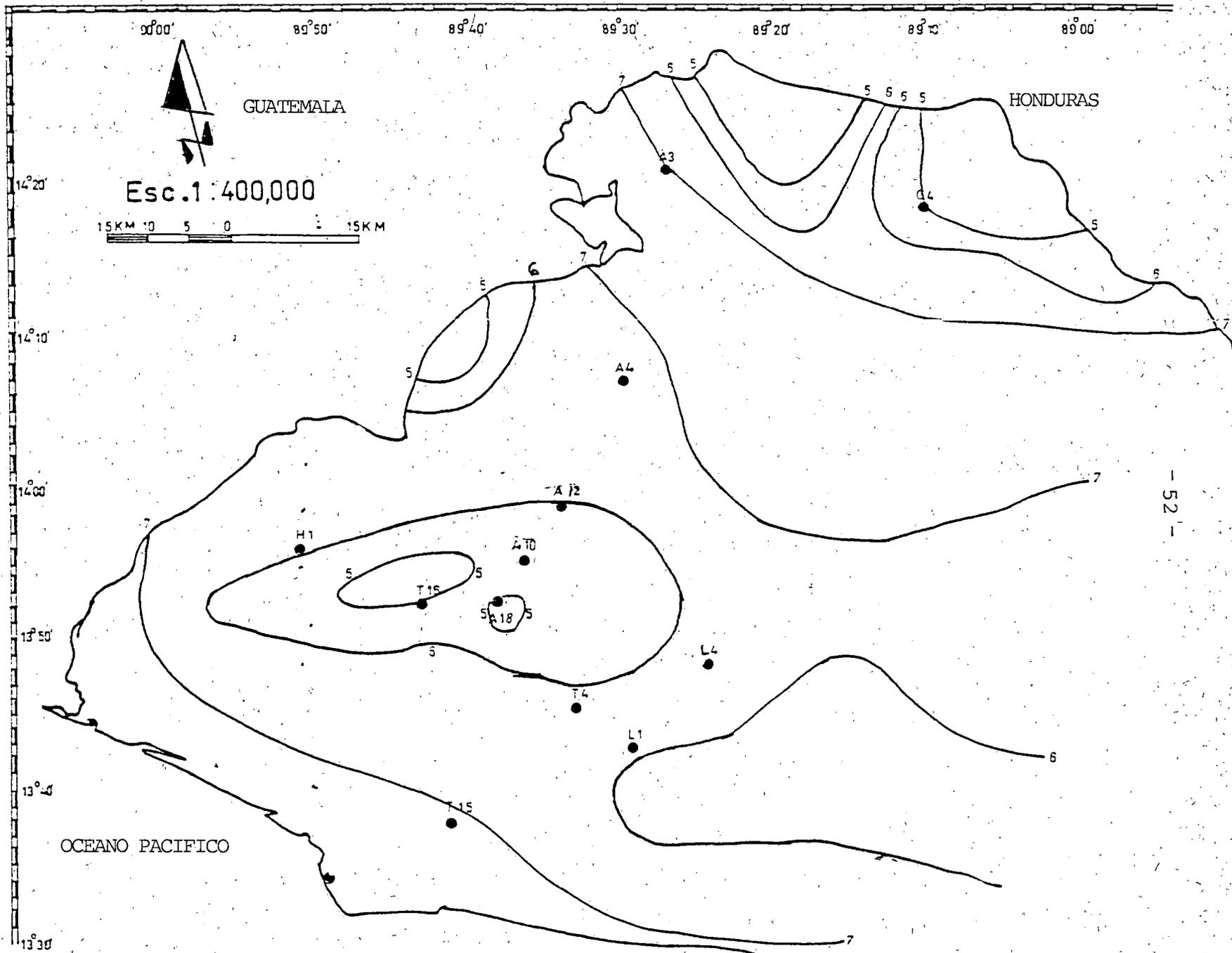


Fig. 16. Número de meses con deficiencias hídricas, para la zona occidental de El Salvador.

Cuadro 5. Probabilidades de ocurrencia de lluvias decádicas,  $\geq 5$  mm por cada región.

M E S E S		ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
Altura msnm	Estaciones/década	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
<u>REGION I</u>													
15	Acajutla, Pto. Nuevo	5	5	5	0	5	5	0	20	10	35	55	60
140	Santa María Coquiama	5	5	5	0	5	10	5	20	20	35	45	45
230	Sonsonate, Fenadesal	5	5	15	0	0	5	15	30	15	40	55	50
390	Izalco	5	10	15	0	0	10	35	25	30	45	60	60
<u>REGION II</u>													
540	Los Lagartos	0	0	15	0	0	15	20	25	15	30	35	45
610	El Sunza	10	0	15	0	0	10	15	20	15	25	55	55
620	Finca El Triunfo	5	10	10	0	5	5	10	10	15	50	35	55
725	Santa Ana, El Palmar	5	10	10	0	0	10	25	15	30	45	40	70
750	Ahuachapán, Fenadesal	0	5	10	5	0	5	10	10	20	30	30	45
960	Tepecoyo	5	10	15	0	10	5	15	10	20	40	45	60
1 020	Finca Novi	10	5	10	0	0	10	25	15	30	45	60	60
1 170	La Majada	0	5	5	0	0	5	40	40	20	60	45	65
1 300	Apaneca, Santa Leticia	0	15	10	5	0	5	20	15	30	40	60	65
1 770	Finca Los Andes	10	15	15	0	0	5	20	25	30	35	55	50
<u>REGION III</u>													
320	Nueva Concepción	0	5	10	0	10	5	25	5	35	60	60	65
400	Taxis Junction	0	10	5	0	5	5	15	10	15	60	50	65
480	Metapán	0	5	5	0	5	5	20	20	30	55	65	55
485	Güija	5	5	5	0	10	0	10	5	25	65	65	65
490	San Jerónimo	0	5	10	0	5	0	10	0	15	50	65	45
<u>REGION IV</u>													
1 000	La Palma	0	10	25	5	5	15	25	30	35	60	70	75

## 5. DISCUSION

### 5.1. Longitud del período de cultivo

Los resultados del análisis frecuencial indican que el comportamiento dentro de cada una de las regiones no presenta grandes diferencias en cuanto a su duración, no así, pueden observarse variaciones entre cada una de las regiones. Otro aspecto que llama la atención y que ocurre en la mayoría de lugares de la Región I a nivel de las décadas 20 a 22, es el fenómeno denominado canícula.

En la Región II, se puede observar que en las curvas de análisis frecuencial (Figuras 10 y 11), la probabilidad de ocurrencia de lluvias mantiene valores altos a lo largo del período de cultivo, debido a una mejor uniformidad de la lluvia.

En la Región III, se observa una marcada disminución en la incidencia de lluvias en las décadas 20 a 22 (Figura 12 y 13); es decir, a finales del mes de julio y principios de agosto, acentuando un período seco dentro de la época lluviosa, fenómeno climático denominado canícula, del cual se hizo referencia anteriormente.

La Región IV posee una distribución de lluvias bastante uniformes, al igual que la Región II (Figura 14). De lo anterior se deduce que las regiones II y IV, presentan los períodos de cultivo más largos y mayor uniformidad en el comportamiento de la probabilidad de ocurrencia de las lluvias. Ade-

más, es importante mencionar la uniformidad en cuanto a iniciación y fin de los períodos de cultivo, ya que comienzan generalmente entre las décadas de la 14 a 16 y finalizan entre las décadas 28 y 29; es decir, en los meses de mayo-junio y octubre respectivamente.

Pineda (1985), determinó períodos de cultivo para diferentes lugares de El Salvador, obteniendo períodos más largos que los obtenidos en este trabajo; estas diferencias pueden ser debidas a la utilización de diferentes métodos, ya que éste utilizó meses en lugar de décadas, además, utilizó cantidades de lluvia en vez de probabilidades de ocurrencia de las mismas.

#### 5.2. Meses con déficit hídrico

El comportamiento del número de meses con deficit hídrico, se muestra en la Figura 16, en la cual se observa una disminución en el número de meses con deficiencia hídrica con la altura; esto se debe a que en las partes altas la época lluviosa posee una mayor duración con respecto a las partes bajas.

Este análisis se efectuó en base a los deficit que se registran en los balances hídricos según Thornthwaite, elaborados para ese propósito y para algunas estaciones de la zona.

Pineda (1985), determinó hasta dos meses de deficiencia para la zona montañosa de la zona nor-occidental de El Salvador (zona norte de la Región IV de este estudio). En este -

trabajo no fue posible llegar al nivel anteriormente mencionado, debido a la falta de estaciones pluviométricas con la serie de registros de lluvia requerido para este estudio (20 años).

### 5.3. Probabilidades de ocurrencia de lluvia mayores o iguales a 5 mm por décadas.

En el Cuadro 5, se presentan las probabilidades de ocurrencia de lluvias mayores o iguales a 5 mm; considerando esta cantidad como el límite inferior necesario para inducir la floración del cafeto.

Se observa que la probabilidad de ocurrencia es baja en las primeras décadas, existiendo de un 90% a un 95% de probabilidad de que las plantas no florezcan; sin embargo, a medida que se acerca a las décadas de abril, la probabilidad de ocurrencia de lluvias mayores o iguales a 5 mm es superior en la tercera década del mes de abril, teniéndose para la mayoría de Estaciones, un 60% de probabilidad de que la lluvia pueda estimular la floración del café.

### 5.4. Índice de producción potencial

El índice de producción potencial (Cuadro 6), es un valor relativo que permite definir y comparar zonas desde el punto de vista de las potencialidades climáticas, razón por

la cual se toma éste como base para efectuar la discusión de la zonificación agroclimática, analizando además, los requerimientos del cultivo (clima y suelo), y las limitaciones que las regiones puedan presentar.

- Región I. En esta región (Figura 15), el índice de producción potencial varía de 12-13 Tn/ha, por lo que se clasifica en la categoría sub-óptima, sin embargo, como la temperatura máxima promedio sobrepasa los 30 °C, esta región pasa a la categoría marginal, debido a que, arriba de este margen la fotosíntesis neta disminuye grandemente hasta alcanzar valores insignificantes.

- Región II. Aquí se observan los máximos valores para el índice de producción potencial (Cuadro 4); específicamente en la Estación Cerro Verde, debido a que se presentan los períodos de cultivo más largos, como consecuencia de una época lluviosa más alargada y uniforme; además, posee las temperaturas más adecuadas para el cultivo; por lo que se clasifica esta región como óptima; sin embargo a medida que las elevaciones sobrepasan los 1 800 msnm, la temperatura mínima disminuye hasta convertirse en una limitante para el desarrollo del cultivo, ya que provoca el cese del crecimiento; entre los 1 800 a los 2 000 msnm, ocasionando finalmente una categoría marginal arriba de los 2 000 msnm.

- Región III. Considerando la clasificación de los índices de producción (Cuadro 6) y en base a los resultados presentados para las estaciones de esta región, se clasifica el área

en la categoría sub-óptima; sin embargo, como las temperaturas máximas sobrepasan los 30 °C, ésta pasa a la categoría marginal, por la misma razón expuesta en la Región I, excluyendo la zona alta de Candelaria de La Frontera, donde se alcanzan valores del índice de producción potencial arriba de las 13 Tn/ha y las temperaturas se ven disminuidas por el aumento de la altura. En esta región se tienen los valores mínimos de toda la zona de estudio del índice de producción potencial, específicamente en la zona de Guija (Cuadro 4), probablemente debido a la poca duración del período de cultivo.

- Región IV. Al igual que la Región II, presenta valores de producción potencial de los 14-16.1 Tn/ha, clasificándola en base al potencial climático como óptima, pero presentando una severa limitación en cuanto a condiciones edáficas, ya que este tipo de suelo no corresponde a los grupos de suelos aptos para el cultivo del café; además, presentan poca profundidad y grandes cantidades de rocas; de tal manera que su uso queda ubicada dentro de la categoría marginal en cuanto a la producción cafetalera.

Como un epílogo de esta discusión, se obtuvo el mapa de zonificación, en donde se dividen las áreas en óptima, subóptima y marginal (Figura 17).

Cuadro 6. Categorías y clasificaciones de los índices de potencialidad de producción para Coffea arabica L.

CATEGORIA	Indice de producción potencial en Tn/ha de materia seca
Optima	14 - 20
Subóptima	12 - 14
Marginal	< 12 ó > 20

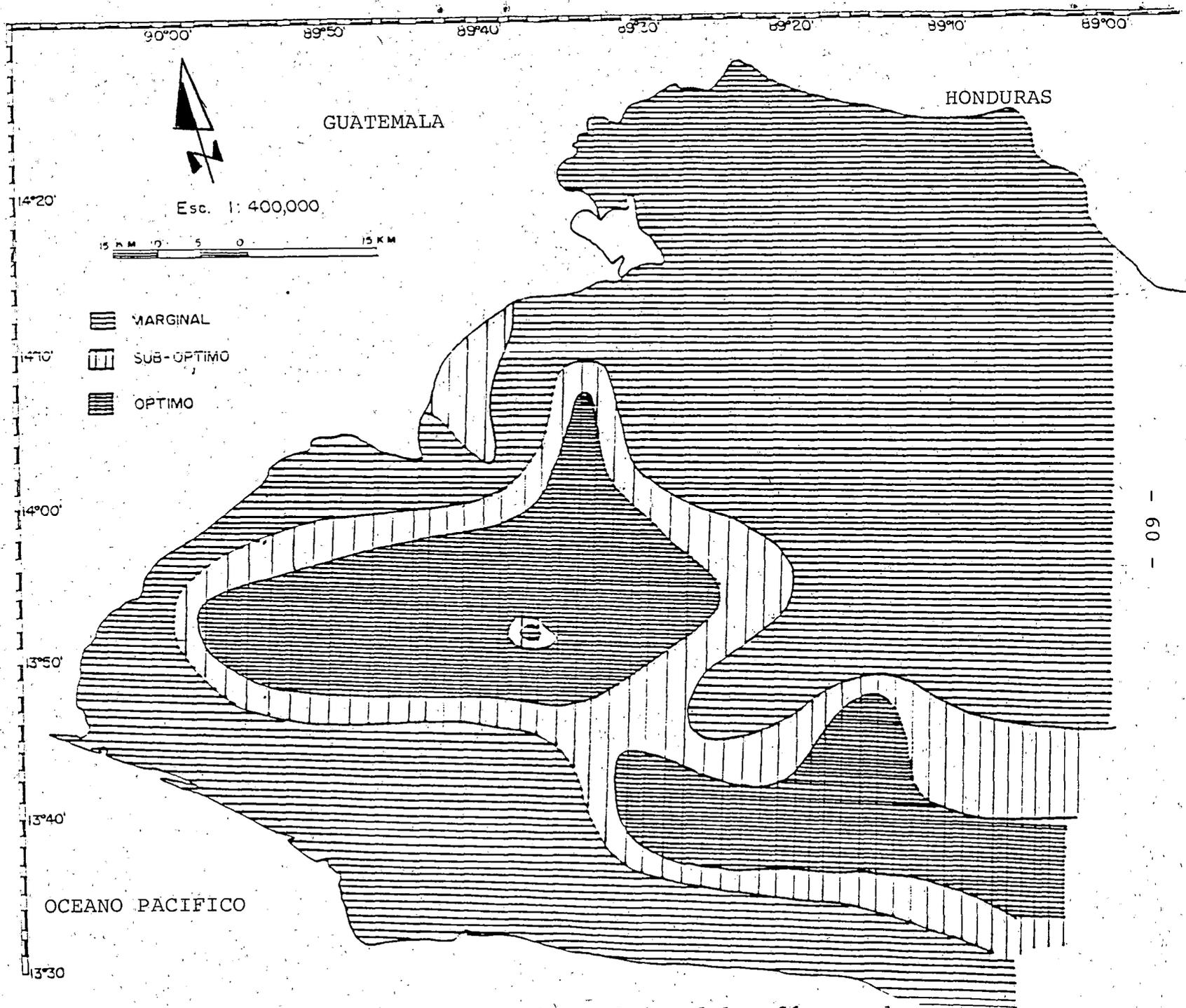


Fig. 17. Zonificación agroclimática del cultivo del café para la zona occidental de El Salvador.

## 6. CONCLUSIONES

- La metodología utilizada en el presente trabajo se adapta muy bien a las condiciones de El Salvador.
- La Región I no posee los requisitos climáticos exigidos por el cultivo del café para su buen desarrollo.
- La Región II posee los requisitos climáticos necesarios para el buen desarrollo del cultivo del café, encontrándose aquí, la máxima producción potencial (16,5 Tn/ha en Los Naranjos), existiendo limitantes mínimas únicamente en el área comprendida entre los 500 y 800 msnm, la cual fue identificada como subóptima, siendo óptima el resto de la misma; con excepción del área comprendida entre los 1 800 a 1 900 msnm, la cual se clasificó como subóptima, siendo marginal de los 1 900 msnm a más, que por motivos de escala no se muestran en el mapa de zonificación.
- La Región III fue clasificada como marginal para el cultivo del café, siendo su limitante principal la temperatura a excepción de la zona alta de Candelaria de La Frontera, que fue identificada como subóptima.
- La Región IV posee una oferta climática adecuada para el buen desarrollo del cultivo del café, registrándose producciones potenciales que la ubican como subóptima de los 500 a los 800 msnm y óptima de los 800 hasta su máxima altura; sin embargo, las condiciones edáficas la pasan a la categoría marginal.

La longitud de período de cultivo ejerce una gran influencia sobre el índice de producción potencial, ya que al aumentar el primero, también aumenta el segundo.

- Se necesita mayor información para realizar un estudio más exacto, por lo que el presente trabajo sólo es una aproximación de la zonificación agroclimática a gran escala por lo que no es posible identificar pequeñas áreas.
- Con la información climatológica que se ha obtenido en esta investigación, puede ser utilizada para la zonificación de otros cultivos.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la metodología empleada en el presente trabajo, para efectuar la zonificación agroclimática de otros cultivos y zonas de El Salvador.
- Efectuar zonificación agroclimática para pequeñas áreas de la zona occidental de El Salvador con el fin de poder detallar más sobre el presente tema.
- Comparar los resultados obtenidos en el mapa de zonificación de este estudio; con el mapa de distribución del café del Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café (ISIC).
- Consultar la próxima publicación del banco de datos climatológicos generados en este estudio, para posteriores estudios agrometeorológicos.

8. BIBLIOGRAFIA

1. CALDERON, R. 1978. Manual de caficultura. San Salvador. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronomicas. 180 p.
2. CAÑAS, R.F. 1988. Monografía del café. 3 ed. El Salvador. Instituto Nacional del Café. 44 p.
3. FAO. 1980. Agroecological zones project. Vol. 1 Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report. Rome.
4. FLORES BERRIOS, M. 1987. Generalidades sobre botánica sistemática y mejoramiento genético en la especie C. arabica. Boletín. Santa Tecla, El Salvador.
5. FLORES PINEDA, R.D. 1985. Disponibilidad de humedad del suelo en El Salvador por el método del balance hídrico. San Salvador, El Salvador, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 85 p. (Publicación No. 30).
6. OLDEMAN, L. and FRERE, M. 1982. A study of the agroclimatology of the Humid Tropics of South-East Asia N.T. 179. FAO/UNESCO/WMO GENEVA-SWITZER.
7. ROJAS MORA, O.E. 1982. Una contribución a la metodología de la zonificación ecológica de cultivos: Estudio agroclimático de la caña de azúcar en Costa Rica. Tesis Ing. Agr. San José, C.R. Universidad de Costa Rica. 128 p.

8. \_\_\_\_\_. 1986. Estudios agroclimáticos y zonificación agroecológica de cultivos, metodología y resultados de cultivos, metodología y resultados. San José, Costa Rica: IICA, 90 p. (Serie publicación miscelánea IICA; No. A,/Ce 86-006).
9. \_\_\_\_\_. 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo de café (*Coffea arabica*). San José, Costa Rica: IICA. 83 p. (Publicación miscelánea/IICA: No. Al/OCE-87-007).
10. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. 1973. Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Suelos. Mapa Pedológico de El Salvador, E.S. Esc. 1:300,000 Color.
11. \_\_\_\_\_. 1987. Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería Agrícola. Manual de Agrometeorología. San Salvador, El Salvador, s.p.

ANEXO A

INDICE DE PRODUCCION POTENCIAL (IPP)

- Introduccion :

Por biomasa neta y rendimiento se entiende aquí, respectivamente, la materia seca total y la materia seca económicamente aprovechable que pueden producir plantas sanas adecuadamente provistas de agua y nutrientes. El período de tiempo durante el cual el clima permitirá el cultivo en régimen de secano se denomina período de crecimiento (3).

En el presente estudio, para calcular la producción de biomasa neta y el rendimiento de los cultivos se utilizan datos sobre los factores climáticos de radiación y temperatura durante el período de crecimiento y se tiene en cuenta al mismo tiempo la capacidad efectiva de fotosíntesis de los cultivos y la fracción de la biomasa neta que las plantas pueden convertir en materia económicamente aprovechable.

Cuando se respetan las exigencias climáticas dictadas por la fenología, los valores calculados de producción de biomasa neta y rendimiento indican lo que puede conseguirse cuando los cultivos rinden al máximo de sus posibilidades, con un mínimo de impedimentos agronómicos.

Que reduzcan el crecimiento y el rendimiento, incluidos impedimentos climáticos (por ejemplo, carencia de agua, tempera-

tura), edáficas (por ejemplo, baja fertilidad del suelo, salinidad) y bióticos (por ejemplo, plagas, enfermedades, malas hierbas).

En la medida en que es posible calcular el límite agronómico máximo de rendimiento de un cultivo en una zona dada, -- los valores estimados reflejan también el potencial agronómico actual de los recursos climáticos, en ausencia de impedimentos, en esa zona y para los recursos genéticos vegetales considerados. Por otro lado, la respuesta de los procesos fisiológicos de una planta (por ejemplo, fotosíntesis, respiración) a los factores climáticos depende de su constitución genética o de la adaptabilidad que los genes imparten al genotipo. Aunque, el límite máximo de rendimiento de un cultivo viene determinado por las características climáticas de radiación y temperatura, la medida en que es posible alcanzar ese punto máximo depende de la calidad de los recursos genéticos del cultivo en cuestión (3).

## - Producción de biomasa

### 1.1. Producción de biomasa bruta y neta

Para calcular la producción de biomasa neta ( $B_n$ ), de un cultivo es necesario estimar la producción de biomasa bruta ( $B_g$ ) y las pérdidas por respiración ( $R$ ) (Ecuación 1).

$$B_n = B_g - R$$

La ecuación que pone en relación la velocidad de producción de biomasa neta ( $b_n$ ) con la velocidad de producción de biomasa bruta ( $b_g$ ) y la velocidad de respiración ( $r$ ) es la siguiente:

$$b_n = b_g - r \quad (2)$$

La velocidad máxima de producción de biomasa neta ( $b_{nm}$ ) se da cuando el cultivo cubre completamente la superficie del terreno. La curva de crecimiento acumulativo tiene forma sigmoide y ella  $b_{nm}$  representa el punto de inflexión de la curva de crecimiento (Fig.-1) y es igual a la Primera derivada, del crecimiento neto que se produce durante el período de máximo crecimiento si se presenta gráficamente la primera derivada del crecimiento (es decir, el crecimiento por unidad de tiempo) en función del tiempo, la curva resultante tiene forma de una curva normal (Fig. A-2). El modelo aquí utilizado presupone que la velocidad estacional medio de producción de biomasa neta ( $b_n$ ), es la mitad de la velocidad máxima del crecimiento del cultivo, o sea  $0.5 b_{nm}$ . La producción de biomasa neta de un cultivo de  $N$  días ( $B_n$ ) será entonces :

$$B_n = 0.5 b_{nm} \times N \quad (3)$$

Así es posible calcular  $b_{nm}$ , se podrá calcular también  $b_n$  con la ecuación (3), utilizando el valor apropiado de  $n$ . Para calcular  $b_n$ , necesitamos conocer la velocidad máxima de producción de biomasa bruta ( $B_{gm}$ ) y la velocidad de respiración de -

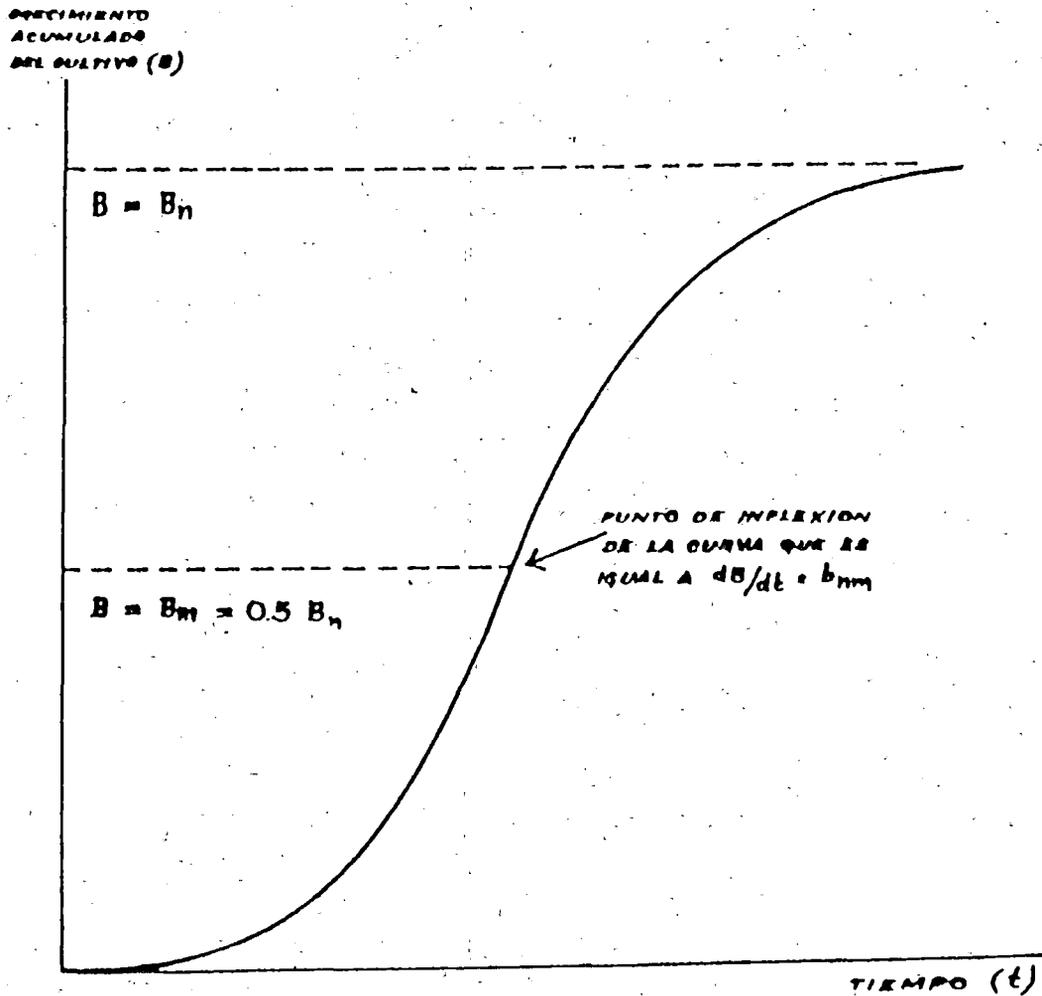


Fig. A-1. Curva típica del crecimiento acumulativo del cultivo, mostrando el punto de inflexión durante el período de máximo crecimiento cuando la pendiente  $dB/dt$  es equivalente a la tasa máxima de producción neta de biomasa.

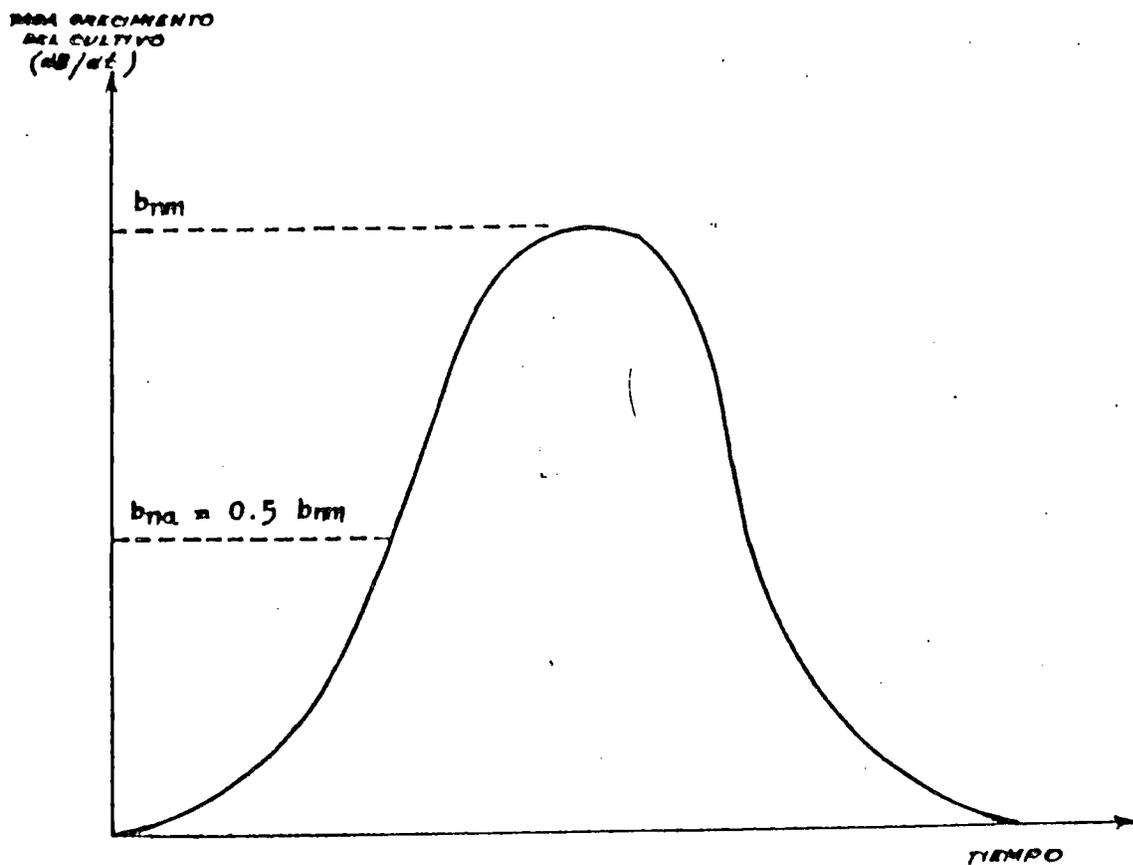


Fig. A-2. La forma normal de la curva de la tasa de crecimiento de un cultivo siendo la variable independiente el tiempo mostrando la tasa de crecimiento promedio del cultivo ( $bna = 0.5 bmm$ )

ese tiempo. (rm) (Ecuación 2).

Así tenemos :

$$b_{nm} = \frac{0.72 \times b_{gm}}{(1+0.25 \times c_{tx} N)} \quad (4)$$

### 1.2. Velocidad máxima de producción de biomasa bruta b<sub>gm</sub>

El valor de b<sub>gm</sub> depende de la tasa máxima (p<sub>m</sub>) de fotosíntesis de las hojas del cultivo en condiciones de saturación por la luz.

La Fig. A-3, presenta las variaciones de P<sub>m</sub> en relación con la temperatura promedio diurna para los diferentes grupos de cultivos: C<sub>3</sub>, C<sub>3</sub> especial, C<sub>4</sub> y C<sub>4</sub> especial.

En el caso de café, éste pertenece a un metabolismo C<sub>3</sub>.

- si P<sub>m</sub> 7,20 kg CH<sub>2</sub>O, Ha<sup>-1</sup>

Se considera :

$$b_{gm} = F \times b_o \times (0.8 + 0.010 P_m) + (1-F) \times b_c \times (0.8 + 0.025 P_m)$$

- Si P<sub>m</sub> 20 vg cthO Ha<sup>-1</sup> H<sup>-1</sup>

Se considera :

$$b_{gm} = F \times b_o \times (0.5 + 0.025 P_m) + (1-F) \times b_c \times (0.05 P_m).$$

Cuando f es la fracción del día entre el amanecer y el anochecer, durante el cual el cielo está cubierto por nubes.

$$F = (a_c - 0.5 R_g) / (0.8 A_c).$$

- R<sub>g</sub> es la radiación global total de onda corta.

- A<sub>c</sub> es el promedio durante el período considerado de la radiación activa para la fotosíntesis (cal.cm<sup>2</sup>, día<sup>-1</sup>). --

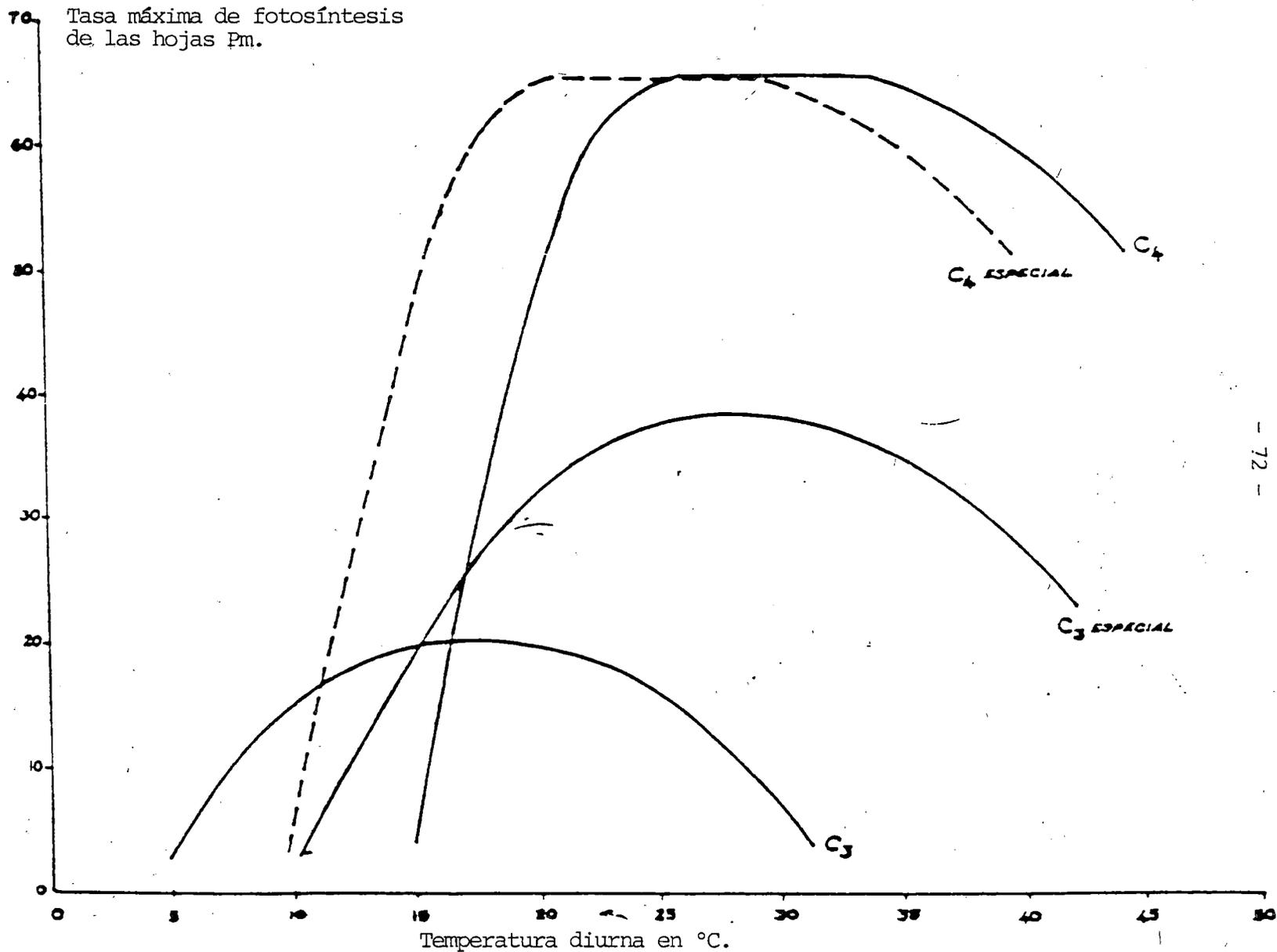


Fig. A-3. Variaciones promedio con la temperatura diurna promedio de las tasas máximas de fotosíntesis de las hojas de plantas que pertenecen a grupos con metabolismo de tipo C<sub>3</sub>, C<sub>3</sub> especial, C<sub>4</sub> y C<sub>4</sub> especial (en condición de saturación por la luz).

calcula a partir de la fecha del día y de la latitud del lugar considerado.

-  $b_o$  y  $b_c$  son las tasas diarias máximas de fotosíntesis bruta de un cultivo durante un día perfectamente claro y durante un día nublado, respectivamente,  $b_o$  y  $b_c$  se calculan a partir de la fecha del día y de la latitud del lugar en estudio.

De Wit da los valores de  $b_c$  y  $b_o$  en diferentes latitudes con  $P = 20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  y los valores en el Ecuador y a  $10^\circ\text{N}$ ,  $20^\circ\text{N}$ ,  $30^\circ\text{N}$  y  $40^\circ\text{N}$ .

### 1.3. Coefficiente de Respiración del Cultivo ( $ct$ )

Este coeficiente se expresa a partir de la temperatura promedio  $t$ , por :

$$ct = C_{30} (0.044 + 0.0019 t + 0.001 t^2).$$

donde  $C$  es el coeficiente de respiración del cultivo para  $t = 30^\circ\text{C}$ .

Se ha determinado que la constante del mantenimiento de la respiración " $C$ " ha sido dependiente tanto de la especie del cultivo como de la temperatura media, A  $30^\circ\text{C}$ ,  $C_{30}$  para las lechugas es equivalente a 0.0283 y  $C_{30}$  para otros cultivos es de 0.0108.

Considerando la ecuación (3) y (4), se puede escribir :

$$B_n = \frac{0.36 \times b_{gm}}{1/N + 0.25 \times ct}$$

Donde  $B_n$ , para nosotros es el índice potencial de producción, cuando el índice de área foliar en el momento de máxima velocidad de producción de biomasa bruta es 5.

Cuando en el momento de velocidad máxima de producción de biomasa bruta el índice foliar es menor de 5,  $bgm$  será menor y podrá calcularse multiplicando el  $bgm$  con índice foliar 5 - por el factor apropiado obtenido en la Fig. A-4.

CALCULO DE PRODUCCION DE BIOMASA NETA  
(FAO. PROYECTO DE ZONAS AGROECOLOGICAS, 1978).

Loc.: LOS ANDES  
Lat.: 13° 52' 5" N  
Long.: 89° 38.7' O  
Alt.: 1770 m.s.n.m.

Duración del ciclo de  
Cult.: cafe Crecim.: 158 días.  
G.Adap.: C3 6 meses  
C<sub>30</sub>: 0.0108 IAF Máx.: 5  
Ind. de cosecha(HJ)

	R <sub>g</sub>	A <sub>c</sub>	b <sub>0</sub>	T <sub>mean</sub> °C	T <sub>max</sub> °C	T <sub>min</sub> °C	T <sub>day</sub> °C
mayo	446.43	286	450	17.9	22.5	14.4	19.8
junio	420.82	387	454	17.2	21.3	14.2	18.9
julio	446.20	387	453	17.1	21.5	13.9	19.0
agosto	432.34	382	445	17.1	21.4	13.9	18.9
septiembre	386.41	263	428	16.1	20.7	14.2	18.6
octubre	363.23	329	399	16.2	19.9	13.6	17.8
Media del P. de Crec.	415.8	372.3	438.16	16.9	21.2	14.03	18.9

P	ACCION	CALCULO	RESULTADO
1	Calcula F	$\frac{(372.3 - 0.5 \times 415.8) / 10.8 \times 372.3}{A_c \times R_g \times A_c}$	0.55198
2	PM	for T <sub>day</sub> = 18.9 °C and crop group	21
3	F x BO	0.55198 x 234.16	129.256
4	(1-F) x bc	(1-0519) x 438.16	196.17
5 <sup>a</sup>	b <sub>gm</sub> (P <sub>m</sub> > 20)	$\frac{129.256}{F \times b_0} \left( 1 - 0.025 \times \left( \frac{21}{P_m} - 20 \right) \right) + \frac{196.17}{(1-F) \times b_c} \left( 1 + 0.01 \times \left( \frac{21}{P_m} - 20 \right) \right)$	330.7565
5 <sup>b</sup>	b <sub>gm</sub> (P <sub>m</sub> < 20)	$\frac{129.256}{F \times b_0} \left( 1 - 0.025 \times \left( 20 - \frac{21}{P_m} \right) \right) + \frac{196.17}{(1-F) \times b_c} \left( 1 - 0.005 \times \left( 20 - \frac{21}{P_m} \right) \right)$	
6	Ct	$C_{30} \times (0.044 + 0.0019 \times T_{mean} + 0.001 \times T_{mean}^2)$	0.0039
7	Bn Si IAF = 5	$0.38 \times \frac{330.7565}{b_{gm}} / \left( \frac{158}{H} + 0.25 \times \frac{0.00359}{C_1} \right)$	16298.12 kg/Ha.
8	Encontrar RIAF =	LAI <sub>max</sub> = → R <sub>LAI</sub> =	1
9	Bn	$\frac{1}{R_{LAI}} \times \frac{16298.12}{B_{LAI5}}$	16.31H/Ha. kg/ha
10	By	$H \times \frac{B_n}{LAI_{max}}$	kg/ha

ANEXO 3

FORMULAS UTILIZADAS

Debido a la falta del instrumental necesario para poder registrar el comportamiento de todos los elementos meteorológicos en las diferentes estaciones, tomadas en cuenta; se hizo necesario obtener la información faltante a través de la información disponible, utilizando la fórmula adecuada para cada caso. A continuación se detallan las distintas fórmulas utilizadas en cada caso.

1. Temperatura diurna y temperatura nocturna :

Se considera que la curva de la temperatura debe ser simulada por 2 curvas coseno con períodos diferentes. Un período se aplica desde  $T_0$  hasta  $T_{13}$  y el otro período desde  $T_{13}$  hasta  $T_0$  ( $T_0 = 12 - a 5N$ , en el cual  $N$  es la duración del día en horas).

Por ejemplo: Si  $N=10$  horas, entonces  $T_0 = 7$ . El primer período dura desde 07.00 horas hasta las 13:00 horas; el segundo período, desde las 13:00 horas hasta las 07:00 horas.

En consecuencia, se utilizaron las siguientes ecuaciones para calcular la temperatura diaria y la temperatura nocturna.

$$T_{\text{día}} = T_{\text{me}} + ((T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) \times (11 + T_0) / 4 \times 3.14 (12 - T_0))$$

$$\text{Sen}(3.14 (11 - T_0) / (11 + T_0)) .$$

$$T_{\text{noct}} = t_{\text{med}} - \left( \frac{(T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) \times (11 - T_0) / 4 \times 3.14 \times T_0}{3.14 (11 - T_0) / (11 + T_0)} \right) \text{ Sen}$$

- En donde :
- T día = Temperatura diurna
  - T noc = Temperatura nocturna
  - T med = Temperatura media
  - T máx = Temperatura máxima
  - T mín = Temperatura mínima
  - T<sub>0</sub> = Hora de inicio del primer período.  
= 12-0.5N.
  - Sen = Seno en radianes.
  - N = Duración teórica del día en horas.

La duración teórica del día para El Salvador, 14° L.N. en horas y décimos de horas; para cada mes es respectivamente :

E = 11.4	A = 12.5	J = 12.8	O = 11.8
F = 11.3	M = 12.8	A = 12.6	N = 11.4
M = 12.0	J = 13.0	S = 12.1	D = 11.3

## 2. Radiación solar :

Para el cálculo de la radiación se utilizó la fórmula de Angstron :

$$R_s = \left( A + b \frac{n}{N} \right) R_a$$

en donde :

R<sub>s</sub> = Radiación solar, expresada en calxcm<sup>-2</sup> x día<sup>-1</sup> ó en mm

de agua evaporable. (mm H<sub>2</sub>O evaporada/día x 58.6).

N = Duración teórica del día en horas.

Ra = Radiación solar teórica

ayb= Coeficientes de regresión.

J. Jusem, encontró para El Salvador a = 0.3, b=0.4

Radiación global sobre una superficie horizontal en mm de agua evaporada (Ra) para los meses del año.

E = 12.41	A = 15.65	J = 15.72	O = 14.12
F = 13.62	M = 15.83	A = 15.65	N = 12.84
M = 14.89	J = 15.70	S = 15.14	D = 12.02

Para pasar a calx cm<sup>-1</sup> x día<sup>-1</sup>, multiplicar por 58.6.

### 3. Evapotranspiración potencial (ETP).

Para el cálculo de la ETP, se utilizó el método de HARGREAVES.

La ecuación de este autor se basa en los datos de radiación solar y temperatura media mensual.

$$ETP = 0.0075 \text{ RSM} \times \text{TF} \quad (\text{mm/día}).$$

En donde :

RSM = Radiación solar mensual en mm/día

TF = Temperatura media mensual en grados Fahrenheit.

Con datos de temperatura en grados centígrados la fórmula se convierte en :

$$ETP = \text{RSM} ( 0.0135 \text{ T} + 0.24 ) \quad (\text{mm/día}).$$

En donde :

RSM = Radiación solar mensual en mm/día

T = Temperatura en grados Celsius

Si no se cuenta con datos de radiación, ésta puede ser obtenida por datos de luz solar, derivándose así :

$$RSM = 0.075 \times RMM \times \sqrt{S}$$

$$S = \frac{SA}{ST} 100$$

Donde :

RSM = Radiación solar mensual en mm/día

SA = Brillo solar actual (valor registrado)

ST = Brillo solar teórico (valor "N", utilizado para el cálculo de temperaturas diurnas y temperaturas nocturnas).

El término "S" también puede derivarse utilizando correlaciones con la humedad relativa así :

$$S = 12.5 \sqrt{(100 - HR)}$$

HR = Humedad relativa.