

01
T(125)
c.3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ESTUDIO CLIMATOLOGICO DE LA REGION V
DE LA REGIONALIZACION DEL PLAN NACIONAL
DE DESARROLLO AGRICOLA 1975-78

TESIS

Presentada a la Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Agronomía
de la
Universidad de San Carlos de Guatemala

P O R

EDGAR ROLANDO LEMUS MOLINA

En el acto de su investidura como

INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, abril de 1976.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
BIBLIOTECA

P. de Q. Guate., 14.7.76

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Roberto Valdeavellano

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano:	Ing. Agr. Carlos F. Estrada Castillo
Vocal 1o.:	Ing. Agr. Salvador Castillo Orellana
Vocal 2o.:	Ing. Agr. Mario Molina Llardén
Vocal 3o.:	Ing. Agr. Carlos Guillermo Aldana
Vocal 4o.:	Br. Julio Romeo Alvarez
Vocal 5o.:	P. A. Víctor Manuel de León
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres Grajeda

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Agr. Edgar Ibarra
Examinador:	Ing. Agr. Aníbal Palencia
Examinador:	Ing. Agr. Jorge del Valle
Examinador:	Lic. Romeo Martínez
Secretario:	Ing. Agr. Oswaldo Porres

Guatemala,
31 de marzo de 1,976.


Señor Decano de la
Facultad de Agronomía
Ing. Agr. Carlos F. Estrada Castillo
Ciudad Universitaria, Zona 12
G U A T E M A L A .

Señor Decano:

Me es grato dirigirme a usted para manifestarle, que por designación recaída en mi persona, asesoré al estudiante EDGAR ROLANDO LEMUS MOLINA, en su trabajo Tesis Titulado "ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE LA REGION V DE LA REGIONALIZACION DEL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO AGRICOLA 1,975 - 1,976".

Concluido el trabajo, procedí a su revisión final y - encontrándolo satisfactorio, doy mi visto bueno para su impresión.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,


Ing. Agr. Gustavo A. Bucaro
Colegiado No. 150

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES

**Alfredo Lemus A.
Olga Molina Ramis**

A LA MEMORIA DE MI ABUELITA

María Antonieta Ramis

A LA MEMORIA DE MI TIO

Ricardo Molina Ramis

A MI HERMANA

Gladys Muñoz

A MIS FAMILIARES

A TODOS MIS AMIGOS

TESIS QUE DEDICO

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

A MIS EXCATEDRATICOS

A MIS COMPAÑEROS DE PROMOCION

A LOS AGRICULTORES GUATEMALTECOS,
EN ESPECIAL A LOS DE LA
ALDEA "EL CERRITO"

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi compañero de estudios y amigo Ing. Agr. Gustavo A. Búcaro por la asesoría que me brindó para la realización del presente trabajo.

Además agradezco de una manera especial al Observatorio Meteorológico Nacional por toda la información administrada, por brindarme la oportunidad de realizar este estudio y al Ing. Agr. Jorge Mario del Valle por su oportuna colaboración.

**HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO CLIMATOLOGICO DE LA REGION V
DE LA REGIONALIZACION DEL PLAN NACIONAL
DE DESARROLLO AGRICOLA 1975-78**

Llenando con el presente estudio el último requisito para optar el título de INGENIERO AGRONOMO en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, me suscribo deferentemente de ustedes.

Edgar Rolando Lemus Molina

CONTENIDO

	Página
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. Revisión de Literatura	5
III.1. Radiación solar	
III.2. Temperatura	6
III.3. Precipitación	12
III.3.a. Precipitaciones de origen convectivo	14
III.3.b. Precipitaciones frontales	16
III.3.c. Precipitaciones orográficas	18
III.4. Humedad relativa	22
III.5. Evapotranspiración potencial	23
III.6. Viento	27
III.7. Nubosidad	34
III.8. Instrumentos meteorológicos	40
III.8.a. Pluviómetro	41
III.8.b. Pluviógrafo	
III.8.c. Termómetro	42
III.8.d. Termógrafo	
III.8.e. Aspirosicrómetro	43
III.8.f. Higrómetro	44
III.8.g. Higrógrafo	45
III.8.h. Termohigrógrafo	
III.8.i. Tanque de evaporación	
III.9. Los climas según Thornthwaite	46
III.10. Zonificación ecológica de Holdrige	53
III.10.a. Zona tropical muy seca	54
III.10.b. Zona tropical seca	55
III.10.c. Zona tropical húmeda	
III.10.d. Zona subtropical seca	56
III.10.e. Zona subtropical húmeda	
III.10.f. Zona montano bajo seca	57
III.10.g. Zona montano bajo húmeda	58
III.10.h. Zona montano bajo muy húmeda	

	Página
III.10.i. Zona montano húmeda	59
III.10.j. Zona montano muy húmeda	
IV. Materiales y Métodos	61
IV.1. Fase inventario	62
IV.2. Fase diagnóstico	
IV.3. Fase implementación Plan de Desarrollo 1975-78	
IV.4. Fase Formulación de las bases para el Plan de Desarrollo Rural 1980-1984	
IV.5. Cálculo de los valores de Evapotranspiración Potencial	70
V. Discusión de Resultados	73
V.1. Isoyestas anuales	
V.2. Isoyestas de la época lluviosa	74
V.3. Epoca seca	
V.4. Días de lluvia	75
V.5. Isohigras anuales	76
V.6. Evapotranspiración potencial	77
V.7. Isotermas medias anuales	80
V.8. Clima de la región según la temperatura media estacional	81
V.9. Mapa de mínimas medias absolutas	82
VI. Aspectos Generales	84
VII. Conclusiones	87
VIII. Recomendaciones	89
IX. Bibliografía	91
X. Apéndice	93

INTRODUCCION

Los grandes problemas que debe afrontar el desarrollo de la agricultura y ganadería de nuestro país tienen, en buena parte, una base climática. El aumento de la producción del suelo en las áreas agrícolas que se explotan en la actualidad y la habilitación de nuevas tierras exige previo a la aplicación de todo plan racional de explotación que se considere la acción del clima.

Por lo tanto, reconociendo la gran influencia que tiene el tiempo atmosférico en la producción agrícola conviene pensar en aplicar métodos técnicos para estudiar la situación actual de los cultivos en relación al clima, estimar la producción posible, tomando en cuenta las variables atmosféricas en tiempo real, zonificaciones ecológicas, incidencia de plagas y enfermedades, etc., siendo necesario para estos fines poseer información básica de tipo climatológico. Por otro lado, con el objeto de hacer un aprovechamiento racional de nuestros recursos se aplicó en los años 1970 a 1974 la primera fase del Plan Nacional de Desarrollo Agrícola y en la actualidad se trabaja en el Plan Nacional de Desarrollo 1975-1978. Para este fin y teniendo como antecedentes las experiencias obtenidas en la primera fase, se ha modificado la regionalización de la República de Guatemala que se había tomado como base de dicha fase. Con la consecuencia de que se han reducido de 10 a 7 regiones, sobre las que se trabajará en el nuevo plan.

Tomando en cuenta lo expresado en un principio referente a la importancia del clima en la producción agrícola y la necesidad de tomar en cuenta todas las variables posibles en la aplicación del referido plan, nace la inquietud de contribuir con la realización del presente trabajo para su fortalecimiento en cuanto a disponibilidad de información básica climatológica.

II.OBJETIVOS

1. Aprovechar los registros estadísticos meteorológicos para su aplicación a proyectos de desarrollo agrícola y otros.
2. Contribuir con el inventario que se requiere para fines de planificación agrícola regional.
3. Aportar información que se considera útil para evaluar el recurso hidrológico de la región.
4. Delimitar la caracterización climatológica de la zona con el objeto de contribuir con elementos de juicio a los trabajos que desarrolla el Observatorio Nacional, tendientes a establecer correlaciones entre aspectos biológicos y climáticos, rama que actualmente se está impulsando y que recibe el nombre de Agrometeorología.

III. REVISION DE LITERATURA

III.1. RADIACION SOLAR

El sol es un colosal planeta de energía termonuclear que por fusión quema hidrógeno convirtiéndolo en helio. La energía que irradia es una cantidad constante de 84,000 caballos de vapor por metro cuadrado. De la cantidad total de energía radiada, la tierra solo intercepta una pequeña cantidad equivalente a 23 billones de caballos de vapor, más energía por minuto que el total utilizado por la humanidad en todas las formas durante un año. El sol dirige esa energía hacia la Tierra a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas de tres clases. La primera clase, los rayos ultravioleta que miden de una millonésima hasta 40 millonésimas de centímetro. La segunda, los rayos ultrarrojos que miden de 76 millonésimas a un centímetro, y las ondas de luz visibles entre 40 millonésimas a las 76 millonésimas de centímetro. Ni los rayos ultravioletas ni los infrarrojos pueden ser vistos por el ojo humano.

Un porcentaje de la energía radiante es absorbida por el suelo que al reflejar las ondas electromagnéticas las modifica en el siguiente sentido: las ondas de la radiación que salen son más largas que las de insolación que entran. En una forma directa o indirecta la radiación es la fuente de todos los fenómenos meteorológicos y de las formas de energía que hacen posible la vida sobre el planeta Tierra.

La energía radiante se convierte en energía molecular cuando la radiación solar choca con las casas, la gente, la tierra y los océanos. Al ser absorbida la energía solar por la superficie de los vegetales y en presencia de carbono y CO_2 proporciona la energía necesaria para que se realice el "milagro" de la fotosíntesis transformándose así en energía radiante a energía química.

Este proceso es de una importancia vital, ya que permite la formación de una serie de compuestos orgánicos en los tejidos vegetales, tales como lípidos, carbohidratos, proteínas, etc.

La materia verde así formada será la base de las cadenas alimenticias que se establecen en el reino animal.

La duración del período luminoso (**fotoperíodo**) tiene mucha influencia sobre el crecimiento y la manifestación de algunas fases en el ciclo de vida de las plantas, conociéndose como **fotoperiodismo** la reacción que estas tengan al período luminoso, así existen plantas cuya fisiología se adapta a días largos y otras a días cortos.

III.2 TEMPERATURA

Este parámetro es de singular importancia como elemento constitutivo del clima, tomándolo desde el punto de vista meteorológico, la temperatura determina en una forma bien definida las distintas condiciones climáticas de la tierra y sus efectos se extienden a otros parámetros meteorológicos, tales como evaporación, humedad relativa, vientos, etc., siendo por lo tanto un elemento generador o coadyuvante de todos los fenómenos atmosféricos.

En el aspecto biológico, la temperatura tiene una marcada influencia en los vegetales y animales ya que según sea su magnitud determinará la adaptabilidad de todas las especies. Específicamente en los vegetales su influencia es aún mayor, ya que es un elemento que influye desde la germinación. Así mismo, la energía que proporciona la temperatura es determinante para la manifestación de las distintas fases del ciclo de vida de las plantas.

Se debe considerar también el efecto de las temperaturas

extremas que pueden provocar la muerte o fuertes daños en los tejidos de las plantas. Cada especie posee límites a este respecto y también existe una mayor o menor susceptibilidad si se considera la edad de la planta.

La fuente principal de energía, y por ende, la de temperatura es la radiación solar interceptada por la Tierra.

A la energía solar que incide sobre una superficie plana perpendicular en el límite superior de la atmósfera se le da el nombre constante solar; por término medio 30 o/o de esta energía es devuelta al espacio por reflexión de las nubes y partículas suspendidas en la atmósfera, tales como polvo, cristales de hielo, etc., la energía restante es aprovechada por la generación de calor que es una forma de energía que depende de la vibración rápida de las moléculas de los cuerpos, ya sean éstos sólidos, líquidos o gaseosos.

La mayor o menor rapidez de estas vibraciones es lo que atribuye a los cuerpos las sensaciones de calor o frío, por lo tanto el calor no es más que la energía que posee un cuerpo debido a la continua vibración de sus moléculas.

Cuando un cuerpo se calienta por cualquier proceso sus moléculas vibran más rápidamente y se dice que su temperatura se eleva; por el contrario cuando se enfría su vibración es menor y su temperatura desciende, por lo tanto, la temperatura indica lo más o menos caliente que está un cuerpo, podemos inferir, por lo tanto que la temperatura no es la medida de calor que un cuerpo posee, sino la velocidad con que vibran sus moléculas y la cantidad de calor es la energía total de las moléculas que forman el cuerpo.

La noción de la temperatura es intuitiva, es decir, que se deriva de la sensación que nos da el tocar o aproximarnos a un objeto frío o caliente, sensación que percibimos por me-

dio de nuestros sentidos.

La manifestación de diversos valores de la temperatura está en función principalmente de la posición del punto considerado sobre el globo terráqueo, esto es debido al efecto que tienen la inclinación con que inciden los rayos solares, así en los trópicos, la incidencia de rayos es casi perpendicular, existiendo para esa situación un mayor aprovechamiento de la radiación solar para generar calor, respectivamente a un mayor desplazamiento hacia los polos el ángulo de incidencia tiende a ser cada vez más oblicuo, teniendo como consecuencia una menor producción de calor, Esta situación permite diferenciar claramente zonas que difieren en cuanto a su temperatura, en términos generales éstas son zonas polares, templada y tropicales.

Hay que considerar también a este respecto el efecto que tiene el movimiento de traslación de la Tierra alrededor del sol, respecto a su eje, que hace posible la manifestación de las llamadas estaciones del año que están caracterizadas por manifestar distintos rangos de temperatura media, siendo este efecto debido a las diferencias de la inclinación con que inciden los rayos solares en cada una.

Otro factor de considerable importancia que incide en la variabilidad de la temperatura es la altura en relación al nivel del mar, este efecto se deja sentir marcadamente en las regiones montañosas, manifestándose una reducción en la expresión de los valores de la temperatura conforme se aumenta la altitud, definiéndose por lo tanto un gradiente de tendencia lineal. Estudios en nuestro medio, efectuados por R. Obiols aplicando criterios de Thornwaitte, permitieron derivar un gradiente que es .68 por cada 100 metros de altitud.

Otro factor que deberá considerarse es la insolación o sea la cantidad de horas diarias que los rayos solares inciden directamente sobre un determinado lugar, aspecto que está regido,

por un lado por la duración teórica del día que varía según las estaciones astronómicas, así como también por la mayor o menor nubosidad que se presenta durante el día, siendo obvio que a mayor insolación existirá una tendencia de presentarse temperaturas más elevadas.

La ocurrencia y distribución de la precipitación pluvial es otro factor que tiende a modificar la cantidad de calor aunque su magnitud no es del todo considerable.

Analizando la influencia del mar sobre la temperatura se podría afirmar que en verano la Tierra se encuentra más caliente que el mar y en cambio el invierno el continente está más frío que el mar, Para nuestro medio la aplicación de este principio, por no presentarse definitivamente estaciones, sería que durante el día la parte continental se encuentra más caliente que el mar y por la noche el continente es más frío que el mar, Esto es debido a que la cantidad de calor necesaria para elevar un grado de temperatura en el agua es mayor que para la Tierra. También hay que considerar que el agua está siempre en continuo movimiento produciéndose así una mezcla que reduce la oscilación de la temperatura; además la experiencia indica que los rayos solares penetran en la superficie de la evaporación que produce enfriamiento y que las corrientes oceánicas mediante procesos convectivos transportan calor y energía de unas regiones del mar hacia otras.

Desde los primeros tiempos se tuvo la idea de medir en alguna forma la temperatura y de hecho se llegó a ello pero no por medio de un proceso absoluto sino más bien por comparaciones que solo indicaban cuándo un cuerpo era más frío o más caliente que otro; así se llegó a la invención del termómetro que se funda en los efectos que el calor produce sobre los cuerpos, especialmente en el aumento o disminución de un volumen según sea la magnitud del calor. El principio para medir la temperatura es el mismo que todos los casos variando en la clase de elemento sensible que se utilice para

registrar la temperatura y la escala termométrica, de las que existen varias, siendo la más común la escala Farenheit que se usa extensivamente en los países de habla inglesa, fue creada por el físico alemán Gabriel Farenheit.

La escala centígrado, que es debida al astrónomo Anders Celcius y ha sido usada de preferencia en todos los aspectos y medidas científicas.

La escala Absoluta, está basada en los principios de la Escala centígrada, es llamada también Escala Kelvin, en honor al científico inglés Lord Kelvin. Existen algunas otras escalas tales como la de Reaumur, Rankine pero su uso no se ha generalizado.

A la escala centígrado se puede llamar la escala técnica y fue concebida estableciendo el punto de fusión del hielo a los 0° y a los 100° el punto de ebullición del agua, ambos valores, obtenidos a presión atmosférica de 760 mm. de mercurio.

La escala Farenheit tiene los puntos de origen correspondiente a la Escala Centígrado en la forma siguiente: el 0 cero de esta escala corresponde al valor de -32°C en tanto que para los 100° la escala Farenheit marca los 212° . En otras palabras para los 100°C corresponden 180°F . Esta escala como la anterior se extiende tanto arriba como abajo del cero respectivo.

En la escala absoluta se ha supuesto que los grados sobre el cero se pueden extender prácticamente en forma indefinida, es decir, que las temperaturas sobre cero pueden alcanzar miles de grados; por el contrario en las temperaturas bajo cero no se puede verificar lo mismo ya que tienen un límite inferior del cual es imposible pasar y se llama cero absoluto, el cual es de -273°C .

La investigación del cero absoluto fue hecha sobre la base de la teoría moderna respecto al origen del calor que como ya se dijo se basa en la continua vibración de las moléculas de un cuerpo, tal característica aumenta en actividad o disminuye según que el cuerpo se caliente o enfríe, en otras palabras estas vibraciones pueden aumentar su rapidez en forma indefinida, pero si se trata de disminuir la rapidez de las vibraciones llegará un momento en que las partículas se queden absolutamente quietas, es decir, que en este caso no habrá movimiento y puesto que esto es prácticamente significado del calor tampoco habrá calor, llamándose cero absoluto o sea, carencia absoluta de temperatura, y las temperaturas que se cuentan desde este punto serán las temperaturas absolutas, lógico es suponer que en esta escala no existan valores bajo cero.

La temperatura ambiente manifiesta variaciones a lo largo de todo el año, así como también durante el día. La oscilación estacional es debida principalmente al ángulo de incidencia de los rayos del sol. Este efecto, que también se marca durante la marcha de la temperatura en el día, teniendo como consecuencia que a mayor perpendicularidad más elevada es la temperatura durante el día.

La temperatura media es la que nos refleja la magnitud de la temperatura para un determinado lugar; su cálculo se puede efectuar empleando varios criterios como por ejemplo, el promedio de la temperatura máxima y mínima, también el promedio de tres lecturas diarias, el promedio de 12 ó 24 valores, éstos últimos se pueden emplear cuando se dispone de aparatos registradores automáticos llamados termógrafos.

La consideración de los valores mínimos de las temperaturas es de importancia especialmente para la agricultura de aquellas regiones que tienen climas relativamente fríos en los que es frecuente la ocurrencia de heladas.

Desde el punto de vista climático, los valores de la temperatura en nuestro medio presentan características por demás variadas e interesantes.

Así, la temperatura media al nivel del mar sobre el Océano Pacífico es de 27°C , en tanto que el Golfo de Amatique, en el Atlántico, llega a los 28.2°C . Debido a la situación geográfica antes mencionada, en la época en que el sol marca su acción cenital (abril y agosto), estos valores medios de temperatura pueden alcanzar los 30° y los 31.5°C respectivamente.

La situación térmica en el interior es totalmente diferente, debido primordialmente a los grandes contrastes producidos por las cadenas montañosas que atraviesan el país, con alturas que varían desde los 1,500 hasta los 3,800 metros sobre el nivel del mar.

Basados en la clasificación de clima del Dr. Thornthwaite, se ha definido lo que podría llamarse "Gradiente Térmico" medio para el territorio nacional, cuyo valor es de 176 metros por 1.0° lo cual significa que para cada 176 metros de altura que sean alcanzados, la temperatura descenderá 1°C .

Con este criterio se establece la siguiente clasificación:

Cálido	23.9°C	o más	de	0 metros a 650 m.
Semi-cálido	18.7°C	a 23.9°C	de	650 metros a 1400 m.
Templado	14.9°C	a 18.7°C	de	1400 metros a 1900 m.
Semi-frío	11.8°C	a 14.9°C	de	1900 metros a 2300 m.
Frío	6°C	a 11.8°C	de	2300 metros a 2700 m.
De taiga	2.9°C	a 6°C	de	2700 metros a 3000 m.
De tundra	2°C	a 2.9°C	de	3000 metros a más

III.3 PRECIPITACION

Se le llama precipitación al agua ya sea en forma sólida

o líquida que llega a la tierra procedente de las nubes, suspendidas en la atmósfera. Por lo tanto los mismos son agua en transición y constituyen una etapa crucial en el ciclo hidrológico que mueve anualmente $400,000 \text{ Km}^3$ de agua, de ese total unos $335,000 \text{ Km}^3$ se evaporan de los océanos de la Tierra, lagos, ríos y vegetación. La atmósfera transforma esa humedad y finalmente la devuelve a la Tierra en una diversidad de formas de precipitación que comprende la lluvia, nieve, granizo, escarcha y rocío.

El mecanismo que hace posible que la precipitación se manifieste es la condensación y la misma se debe al enfriamiento del vapor de agua. En condiciones atmosféricas normales existe una sencilla relación entre la temperatura y la capacidad del agua de permanecer en estado de vapor de elevada energía.

Cuando más elevada sea la temperatura del vapor, con más velocidad se mueven sus moléculas. Cuando las moléculas se mueven con rapidez suficiente pueden acumularse muchas de ellas en un espacio dado sin adherirse a objetos sólidos próximos, así el aire caliente puede contener muchísimas moléculas de vapor. Pero si el aire se enfría las moléculas se retardan y al golpear superficies como motas de polvo u otras moléculas, tienden a juntarse. El vapor comienza a condensarse.

La cantidad de vapor presente determina la temperatura a que ocurre la condensación. Si se encuentran presentes relativamente pocas moléculas de vapor, tienden a chocar entre sí, incluso a bajas temperaturas. Si el aire está lleno de moléculas de vapor se condensarán más elevadas. La temperatura a la cual una cierta cantidad de vapor en una masa de aire se condensa, se llama punto de rocío.

Además de la temperatura y la cantidad de agua hay otro

factor que influye sobre la condensación atmosférica y es la presencia de una superficie sobre la cual pueda condensarse el agua.

La atmósfera está llena de pequeñas partículas de materias extrañas, estos núcleos de condensación se encuentran presentes en todas partes en cantidades diversas desde 6 por centímetro cúbico, muy por encima de los océanos a 5 millas en el contaminado aire de las ciudades (17).

La eficacia de esas partículas como núcleos de condensación dependen de su tamaño y de la capacidad de las moléculas de agua para adherirse a ellas.

La distribución de las precipitaciones se realiza en forma irregular, pero se ha comprobado que por lo general su volumen es mayor en el Ecuador y va disminuyendo hacia latitudes mayores, dependiendo además del tipo de fuente que le dio origen, la humedad del ambiente, la orografía del lugar y las masas de aire.

Las precipitaciones pueden clasificarse según su fuente de origen en:

1. Precipitaciones de origen convectivo.
2. Precipitaciones frontales.
3. Precipitaciones orográficas.

III.3.a PRECIPITACIONES DE ORIGEN CONVECTIVO

Hablando en términos meteorológicos, convección significa el transporte de una masa de aire por el movimiento del mismo en sentido vertical. Estos movimientos están relacionados íntimamente con la estabilidad o inestabilidad que se establece entre un determinado volumen de aire con el aire circunvecino.

Si es el caso de que un volumen de aire es inestable debido a la menor densidad que a su vez es provocada por una mayor temperatura relativa, este aire continuará moviéndose verticalmente hacia arriba hasta que su inestabilidad cese, pero a medida de que esta inestabilidad disminuye el aire será cada vez más frío, pudiendo lograr su punto de saturación luego del cual es susceptible de sufrir el proceso de condensación y por consiguiente llegar a obtener su temperatura del punto de rocío.

El calentamiento que se da por efecto de la radiación solar tiene como consecuencia la elevación de la temperatura sobre las superficies en que incide, si se trata de superficies húmedas o bien masas de agua provocan un aceleramiento de las moléculas, lo cual hace que éstas se desprendan y al ocupar un mayor volumen, disminuye su densidad lo cual provoca la ascensión de las partículas, dándose por lo tanto una inestabilidad. Si la superficie contiene suficiente humedad se inicia la formación de una nube hasta llegar a su nivel de condensación y cuando existen condiciones favorables precipitará.

Otro aspecto que influye en este proceso es la presencia de aire frío en niveles altos de la atmósfera, así al existir masas de aire frío que tienen una mayor densidad, tienden a moverse hacia abajo y debido a su inestabilidad se crea de arriba hacia abajo una corriente que puede llegar a la superficie terrestre enfriando las masas de aire que encuentran en su movimiento descendente.

En caso de que la humedad existente sea tal que pueda formar una nube, ésta se desarrolla aumentando su humedad hasta que al cabo del tiempo se produce la precipitación.

Otro caso de convección puede darse al desplazarse una

masa de aire frío de latitudes altas hacia latitudes inferiores como es sabido a medida que se disminuye en latitud existe una mayor temperatura, lo cual provoca que la masa de aire frío absorba calor, en esta acción se inicia una inestabilidad que provoca la formación de corrientes ascendentes así como también la formación de nubes.

En nuestro medio existe un tipo particular de precipitaciones causadas por convección y se manifiesta en aquellas zonas que poseen una vegetación exuberante, típica de los climas tropicales húmedos que son originados por una elevada evaporación proveniente de las plantas y del suelo. Al iniciarse la acción directa de los rayos solares que originan a su vez un calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera se forman búrbufas de aire húmedo que suben por convección hasta el punto de formar nubes inestables que generalmente producen chubascos.

III.3.b PRECIPITACIONES FRONTALES

A este tipo de precipitación se le conoce también como precipitación por advención y es aplicable cuando ocurre el encuentro de dos masas de aire que poseen diferentes características que cuando llegan a ponerse en contacto se establece una zona que los separa en la que ocurre un cambio muy brusco de las propiedades que definen a cada masa.

Esta zona de transición, cuyo espesor puede variar desde varios cientos hasta algunos millares de metros, se le conoce como una zona frontal o frente. Más explícitamente advención es el transporte de cualquier propiedad por el movimiento horizontal del aire. De este tipo de precipitaciones se conocen varias formas, pudiéndose mencionar las siguientes:

Precipitación de Frente Frío: Se conoce como frente frío

a una masa de aire frío que desplaza a otra de aire caliente debido a la menor densidad de la misma.

El aire caliente se resiste a ser desplazado produciéndose una turbulencia e inestabilidad que favorece la formación de nubes cargadas de humedad, generalmente éstas son del tipo cúmulonimbus. Las precipitaciones que se desarrollan posteriormente suelen ser acompañadas de tronadas.

Una vez pasado el frente, el cielo queda despejado, produciéndose un descenso de temperatura que es característico en este tipo de fenómeno.

Los frentes fríos que suelen invadir nuestro territorio provienen de las zonas polares de la América del Norte y es precisamente en la región centroamericana y del Caribe donde por lo general se disipan.

Precipitación de Frente Cálido: Los frentes cálidos se manifiestan cuando en un área se encuentra asentada una masa de aire frío sobre la cual se desplazan otras pero de aire caliente. Como esta masa es de menor densidad en su movimiento horizontal asciende hasta llegar a su nivel de condensación.

Se establecen en estas condiciones una franja de conflicto donde una masa cabalga sobre la otra produciendo una secuencia de tiempo que termina en lluvia. Primero se forma cirro y cirro-estratus helados, finalmente nimbo-estratus junto al suelo, con lo cual llega la tempestad de lluvias del frente caliente. Detrás siguen estratos de baja altura capaces de producir solamente lloviznas.

Frente Ocluido: Según las estadísticas al respecto, se comprueba que el desplazamiento del frente frío es mayor que el desplazamiento del frente cálido; por consiguiente, se tendrá

un determinado instante en que la masa de aire frío alcanza a la masa de aire cálido. En este tipo de oclusión se distinguen dos modalidades:

Precipitación de Oclusión Fría: Esta ocurre cuando la masa de aire que se encuentra atrás del frente es más baja; como es más fría y por consiguiente más densa, ésta desciende más, quedando la masa de aire cálido y la nubosidad que lo acompaña atrapadas entre las dos masas frías.

La inestabilidad que se produce en ese sistema da origen a precipitaciones que se caracterizan por ser constantes y uniformes.

Precipitación de Oclusión Cálida: Se forma cuando una masa de aire cálido alcanza a otra de aire frío, estacionaria, así mismo la masa cálida viene seguida de otra fría, esta situación produce que la masa cálida quede atrapada entre dos frías, lo cual produce inestabilidad y nubosidad que provoca precipitaciones de tipo uniforme y constante que en su mayoría suelen ser de mayor magnitud que los que se presentan en oclusión fría.

III.3.c PRECIPITACIONES OROGRAFICAS

Este tipo de precipitaciones suelen presentarse sobre las faldas de las cadenas montañosas y de allí que se les conoce como efecto de montaña. El mecanismo impulsor que origina el sistema son los llamados vientos térmicos de ladera. Consiste en aire que sopla hacia arriba (del suelo del valle hacia la cresta de la montaña) durante las horas cálidas del día, y hacia abajo (de las crestas hacia el suelo del valle) durante las frescas horas de la noche. Durante el día las laderas de las montañas se calientan rápidamente y originan corrientes ascendentes de aire, que es bastante más caliente que el aire a la misma altura por encima del valle. El aire más fresco y más

pesado que está sobre el valle empuja hacia abajo y comprime al aire haciéndolo subir por las laderas donde se calienta y se une al sistema circulatorio, formándose nubes, si el aire contiene suficiente humedad estas masas fácilmente alcanzan el punto de saturación y al mismo tiempo, su nivel de condensación.

Generalmente en ese recorrido la masa es alimentada por grandes cantidades de vapor de agua dando como resultado que el contenido de vapor excede la capacidad máxima del aire para contenerlo a determinadas temperaturas produciéndose la condensación.

En la corriente son transportadas diminutas gotas sobre las cuales se condensa más vapor de agua, aumentando así de tamaño. Cuando éstas alcanzan una magnitud tal que la corriente ascendente no puede mantenerlas en suspensión precipitan en forma de lluvia y muchas veces en forma de pedrizcos.

En nuestro medio este tipo de precipitación es bastante común, ya que debido a la proximidad de los océanos Atlántico y Pacífico las masas de aire que se desplazan sobre el océano se cargan de una considerable cantidad de humedad y al penetrar en la parte continental se entran con las cadenas montañosas que están localizadas a lo largo del país produciéndose entonces el efecto orográfico ya mencionado.

Se ha descrito en términos generales los aspectos de carácter físico que rigen la mecánica de las precipitaciones, no obstante éstas tienden a ser inducidas por la acción de fenómenos meteorológicos que en determinadas épocas del año afectan nuestro territorio; dentro de éstos podemos mencionar el desplazamiento de frentes tanto fríos como cálidos que ya han sido descritos así como también por los llamados ondas del Este, éstos se originan en las zonas del Mar Caribe Orien-

tal, Central y Occidental, y manifiestan un desplazamiento de Este a Oeste cubriendo distancias que alcanzan hasta 1,500 a 2,000 Km. Este tipo de fenómeno puede inducir mal tiempo a distancia de 100 Km. delante de ella y 150 Km. por detrás de las mismas. Se desplazan con gran facilidad por la superficie de los mares generando precipitaciones y tormentas eléctricas que en su mayoría afectan la parte oriental de Centro América.

Un efecto de considerable importancia que se origina de este fenómeno es el hecho de que cuando éstas aceleran su recorrido favorecen la formación de huracanes. Generalmente los huracanes inician su formación por el desprendimiento de sistemas de baja presión en la parte cercana al Ecuador, iniciándose en la mayoría de los casos con una depresión tropical que en el transcurso del tiempo y su desarrollo se transforma en tormenta tropical y si sus sistemas se intensifican formarán un huracán.

Está determinada una época definida en la que existen condiciones favorables para que se produzcan este tipo de fenómenos y este período está comprendido entre los meses de Julio a Octubre, según G. A. Búcaro (3) debido a localizaciones geográficas de Guatemala y al rumbo que suelen tomaren su trayectoria los huracanes, éstos no inciden directamente sobre las costas de nuestro país. Sin embargo, los efectos secundarios caracterizados por la formación de centros de baja presión que producen períodos de lluvia continua durante varios días causan serios daños, especialmente por inundaciones, desbordamientos de ríos, etc.

Por último hay que considerar los efectos de la llamada zona de convergencia intertropical. Teóricamente este fenómeno debe presentarse únicamente a lo largo de latitudes cero en el Ecuador por efectos de los vientos Alisios que se desarrollan entre los 30° latitud sur.

Sin embargo, la realidad es otra, ya que se ha comprobado por información de satélites meteorológicos, pilotos de aviones y cartas sinópticas que esta zona abarca un cinturón de 800 millas que en algunos casos sigue la configuración del istmo centroamericano. Los efectos de la zona de convergencia intertropical se dejan sentir entre los meses de Abril y Septiembre, produciendo condiciones de inestabilidad que provocan precipitaciones. En algunos casos esta convergencia se mantiene en forma estacional durante un largo período de tiempo induciendo chaparrones y tormentas eléctricas.

El régimen de lluvias en Guatemala es por demás variado, presenta por ejemplo, zonas relativamente secas como la Fragua (Zacapa) cuyo promedio anual escasamente alcanza de 100 a 600 mm. y zonas sumamente húmedas como la comprendida entre entre los 2,000 metros de altitud, con una precipitación media anual de 4,000 a 4,500 mm.; existen también zonas extremas cuyas medias anuales sobrepasan los 6,000 mm.

La distribución de lluvias presenta también diversas modalidades pues en tanto que en las zonas del Progreso, Zacapa y parte de Chiquimula se presentan apenas de 45 a 60 días de lluvia en el año, en la región de los Departamentos de Alta y Baja Verapaz se registran un promedio de 200 a 210 días de lluvia, no siendo precisamente éstos lugares los que registran mayores cantidades de lluvia. En la región de Ixcán así como las zonas del altiplano occidental, únicamente se registran 120 días de lluvia anual.

Normalmente en la extensa región central del territorio la época lluviosa se inicia a fines de abril o principios de mayo (teóricamente el 15 de mayo) y termina a mediados o a finales de octubre. Las amplias y selváticas zonas de El Petén y Belice tienen un promedio normal de 120 días de lluvia distribuidos en 9 ó 10 meses del año, la cantidad total registrada en estos lugares alcanza los 2,000 mm.

III.4 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa es otro parámetro de gran importancia que es consecuencia de la acción de fenómenos meteorológicos como la temperatura, la lluvia, la evaporación, etc.

Se ha discutido anteriormente la acción de los diversos estados que adquiere el agua en su ciclo hidrológico siendo uno de ellos el estado gaseoso que se obtiene cuando se induce la evaporación que es la fuente de alimentación de la humedad presente en la atmósfera, por lo tanto, la humedad relativa no es más que la cantidad de vapor de agua que se encuentra suspendida en la atmósfera.

Entre los parámetros meteorológicos más importantes que gobiernan la ocurrencia y fluctuación de la humedad relativa podemos mencionar los siguientes: humedad presente en el terreno, esta característica está normada por las condiciones de precipitación pluvial que proporciona el agua que se almacena en los suelos así como la de las superficies de agua tales como ríos, lagos, etc. Dicha agua podemos considerar es la materia prima a partir de la cual y por la acción de otros parámetros alimentará a la humedad. La temperatura cuando es mayor favorecerá a la tasa de evaporación, en igual forma el viento tiene una relación similar; o sea a mayor velocidad del viento se dispondrá una mayor cantidad de energía cinética para inducir el proceso de evaporación.

Algunos hechos experimentales demuestran algunas relaciones que influyen en el porcentaje de humedad, por ejemplo: la evaporación aumenta si se aumenta la superficie libre, la evaporación aumenta al disminuir la presión atmosférica, la evaporación aumenta cuando disminuye el contenido de humedad del aire; la evaporación disminuye si se tiene incorporadas sales disueltas (López Galo).

Una superficie de agua en contacto con aire saturado no puede evaporarse por las fuerzas propias de la saturación, es por lo general el aire atmosférico que no está saturado, es decir, no contiene la cantidad máxima de vapor sino una fracción de ella.

Esta fracción expresada en porcentaje se llama humedad relativa del aire.

Otra forma de medir la humedad del aire es el punto de rocío que no es más que la temperatura a la cual el contenido de humedad de aire considerado corresponderá al punto de saturación. Así un aire cuya humedad relativa sea un 100o/o, la temperatura que tiene es el punto de rocío.

III.5 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

El término de evapotranspiración potencial se define como la cantidad de agua que se evapora de las superficies de agua y del suelo húmedo más la transpiración que ocurre en las plantas.

Para que se manifieste la evapotranspiración, se necesita de disponibilidad de agua en el suelo, de energía para cambiar el estado físico del agua de líquido a vapor y un mecanismo de transporte desde el suelo a la atmósfera. La radiación solar provee la fuente de energía, la precipitación o el riego artificial, la periódica reposición del agua en diferentes partes del sistema suelo-planta y el mecanismo de transmisión es posible a través del suelo por el movimiento de la circulación del agua hacia la superficie evaporante.

En el caso de una vegetación de escasa altura en activo crecimiento que cubra íntegramente el terreno y sin restricción de humedad edáfica, la evapotranspiración potencial de-

pende fundamentalmente de las condiciones climáticas existentes de la atmósfera vecina al suelo. No todos los parámetros actúan con similar magnitud, más bien, cada uno influye en forma característica para que se observe el fenómeno.

Así la temperatura es uno de los parámetros que más influye para que se manifieste la evapotranspiración siendo una buena medida la radiación solar.

El efecto de la humedad en la evapotranspiración potencial se manifiesta en períodos de humedad alta en la variación de las tensiones siendo su acción en el siguiente sentido: cuando el aire está saturado de humedad su tensión es mayor, la misma impide que se verifique en toda su magnitud el proceso evapotranspirativo, por el contrario si la humedad es baja es menor la tensión que se opone a la evapotranspiración.

El viento actúa proporcionando energía cinética que acelera el movimiento de las moléculas del agua, a mayor sea su velocidad las moléculas tendrán mayor energía y por consiguiente se desprenden fácilmente en forma de vapor. Por lo tanto, la evapotranspiración es favorecida cuando es mayor la velocidad del viento.

La radiación solar es otro parámetro que influye considerablemente en la evapotranspiración, Penman estima que a medida que los rayos solares tienden a la perpendicularidad la evapotranspiración es mayor, así la oscilación del ángulo de incidencia de los rayos solares durante el año produce mayor o menor valor de evapotranspiración potencial. Este autor, que va desarrollando una fórmula para estimar dicho parámetro, toma muy en cuenta el aspecto de radiación.

Además de estos aspectos que son puramente de carácter físico existen otros biológicos que contribuyen en la manifes-

tación de la evapotranspiración, siendo los más importantes el área foliar de la planta, el área del sistema radicular y la clase de tejidos predominantes en la especie vegetal considerada.

Para fines de irrigación se emplea un concepto de mucha utilidad, para el cual los datos de evapotranspiración son indispensables. El uso consuntivo que no es más que la cantidad de agua que los vegetales extraen del suelo para sus necesidades de crecimiento y supervivencia para obtener este valor, se determina el coeficiente K que multiplicado por la evapotranspiración potencial da el uso consuntivo:

$$U. C. = K \times E.P.T.$$

Donde U. C. = uso consuntivo

K = coeficiente según cultivo

E.P.T. = evapotranspiración potencial

Ya se ha mencionado que la evapotranspiración potencial depende de los efectos físicos de otros parámetros meteorológicos, por esta razón varios investigadores han encontrado fórmulas que permitan su estimación en base a datos climáticos. Algunas de las fórmulas más conocidas con la de Jensen y Haise, Penman, Grasse y Christiansen, Bouchet, Turc, Thornthwaite, la de Blanney y Cridle.

Además del uso de estas formas existen métodos directos para estimar la evapotranspiración entre ellos se puede mencionar el método lisimétrico, el método de integración, el método gravimétrico en parcelas experimentales, método de entrada y consumo de agua y otros.

Búcaro (4) evaluó para Guatemala los métodos de Thornthwaite, Turc y Blanney y Cridle, comparándolos con la

evapotranspiración a la intemperie y encontró para climas húmedos y semisecos que el método de Thornthwaite es más confiable y para climas secos con características de semi-desérticas la fórmula de Blanney y Cridle la más apropiada.

Thornthwaite obtuvo empíricamente su fórmula, basándose en investigaciones sobre crecimiento de vegetales, tomando en cuenta datos obtenidos en cajas lisimétricas y relacionándolas con datos climatológicos de temperatura y duración del día. Obtuvo la siguiente expresión matemática:

$$F: \text{E.P.T.} = 16 \frac{(10 t)^a}{I}$$

Donde:

E.P.T. = evapotranspiración potencial en mm/mes

t = temperatura media del período en C°

I = i o sea la suma de los doce valores correspondientes a los meses del año. Siendo i el índice de calor mensual.

$$I = \text{índice de calor anual } i = \frac{(t)^{1.514}}{5}$$

$$a = \frac{675 \times I^3}{10^9} - \frac{771 \times I^2}{10^7} - \frac{1792}{10^5} + \frac{49230}{10^5}$$

El método de Blanney y Cridle fue desarrollado para las condiciones del oeste de los Estados Unidos, relacionando valores reales de uso consuntivo con la temperatura media anual, y el porcentaje mensual de las horas de brillo solar. Esta fórmula es muy sencilla y por lo tanto fácil de utilizar.

$$F = (0.457 t - 8.13) P$$

Donde:

F = evapotranspiración potencial

t = temperatura media mensual

P = porcentaje de brillo solar mensual

III.6 VIENTO

La tierra está acompañada de una gran masa que la rodea y que con su actividad ha sido forjadora, en muchos aspectos, del destino del hombre, así como puede ser un demonio sin control, portador de muerte y destrucción, suele ser bendecido por los múltiples beneficios que proporciona a la humanidad.

Desde época remota los vientos fueron factor determinante en la movilización del hombre. Pequeños países como Holanda dependen en gran parte de la energía eólica que mueve molinos para aserrar madera, moler granos y extraer agua. Extensas regiones del Asia esperan con ansiedad la llegada de los monzones portadores del líquido vital que les permiten iniciar sus siembras y salir de la desesperante época seca; en los grandes desiertos se forman vientos poderosos que arrastran consigo cantidades fabulosas de arena capaces de sepultar ciudades enteras.

Los nortes que se forman en las regiones polares de la América del Norte dejan sentir su efecto hasta regiones tan distantes como Centro América y por los rigores con que a veces se presentan han causado la pérdida de siembras por valor de muchos millones de dólares.

Su actividad permite el transporte de calor y humedad de una región de la tierra a otra, acondiciona el aire y ventila las ciudades que se encuentran junto a grandes masas de agua,

difunde semilla y esporas, así como también es un agente natural para la polinización.

Muchos ejemplos más se podrían dar sobre los efectos beneficiosos y dañinos del viento. ¿Qué es lo que hace que sople el viento? y ¿por qué sopla primero en una dirección y luego en otra? La respuesta está en las diferencias de presión y temperatura que se establecen entre dos masas de aire.

Partiendo de este principio, los regímenes del viento tienen su origen en dos grandes fuerzas impulsoras, una el constante intercambio de aire en las cálidas regiones tropicales y los hielos polares; la otra el movimiento de rotación de la tierra que alcanza en el Ecuador una velocidad de 1,600 K/hora y arrastra consigo por fricción grandes masas de aire.

El movimiento global de los vientos puede ser imaginado en forma simplificada como una serie de células giratorias o cinturones impulsados por sus diferencias de temperatura.

A ambos lados del Ecuador, el aire caliente tropical se eleva y luego se enfría descendiendo hacia la tierra en las cercanías del paralelo de latitud 30° . De un modo semejante, en los polos el aire frío desciende, recoge calor, se eleva nuevamente repitiendo el ciclo. Entre cada conjunto de estas células se encuentra una célula de latitud media.

La circulación del viento de esta célula está sujeta a la influencia del impulso ascendente de la célula polar por una parte, y del impulso descendente del aire tropical por la otra, funciona a la inversa, como si fuese parte de un sistema de engranajes. Al revés del movimiento térmico normal, su aire caliente desciende y su aire frío se eleva. En conjunto el efecto de este sistema es hacer pasar el calor de los Trópicos a los polos.

Así, una parte del calor de cada célula tropical pasa a la

célula de latitud media; cuando estos vientos recalentados alcanzan una latitud de 16° se unen a las corrientes ascendentes de las células polares, a las cuales comunican su calor, por supuesto este sistema no es rígido ya que otras influencias actúan para que los vientos manifiesten características y regímenes que varían de acuerdo a la porción de la Tierra considerada.

Uno de estos factores es lo que se conoce con el nombre de efecto de curvatura.

Coriolis, matemático francés (LIFE), observó que un objeto que se mueve a través de una superficie giratoria se desvía hacia la derecha o hacia la izquierda, según el sentido de la rotación. Como la Tierra gira hacia el este, todos los objetos que están en movimiento en el Hemisferio Norte tienden a desviarse hacia la derecha y en el Hemisferio Sur hacia la izquierda, los vientos por lo tanto están sujetos a esta acción y está perfectamente manifestado en los vientos Alisios que soplan de oeste a este que son los vientos más constantes y persistentes de la Tierra. El territorio guatemalteco hablando en términos de circulación general participa de este sistema.

Los vientos son impulsados no solamente por las diferencias de temperatura entre las regiones calientes tropicales y las frías polares sino también por contrastes entre el aire de tierra y el del mar. Las masas de tierra pueden perder o ganar calor con rapidez; las del agua más lentamente, estas diferencias pueden percibirse cualquier día caluroso en una región costera. La tierra se calienta rápidamente, dilatando el aire y creando una región de bajas presiones que se llena con aire más frío que sopla desde el mar.

Cuando el Sol se pone, la Tierra se enfría y entonces el viento pierde su dirección. Este ciclo suele presentarse en las regiones costeras de Guatemala, especialmente en la costa sur.

Otro tipo de vientos muy común es el que se produce en las montañas que son vientos formados por convección. Los Meteorólogos los llaman vientos térmicos de ladera; consiste en aire que sopla hacia arriba (del suelo del valle hacia la cresta de la montaña) durante las horas cálidas del día, y hacia abajo, de las crestas hacia el suelo del valle, durante las horas frescas de la noche.

Durante el día las laderas rocosas de las montañas se calientan rápidamente y originan corrientes ascendentes de aire que es bastante más caliente que el aire a la misma altura por encima del valle.

El aire más fresco y pesado que está sobre el valle empuja hacia abajo y comprime el aire haciéndolo subir por las laderas donde se calienta y se une al sistema circulatorio. Poco después de la puesta del Sol la ladera de la montaña se enfría rápidamente, con mucha más rapidez que el valle, entonces el aire caliente se eleva verticalmente sobre el valle, mientras que un aire más frío y más pesado desciende por la ladera, por lo tanto, el sistema circulatorio se invierte.

Este sistema de circulación suele marcarse con bastante constancia en sitios en donde la condición orográfica permite su ocurrencia, un caso típico para nuestro medio son los vientos que se observan en el cañón de Palín. En este ejemplo, existe una situación especial que se conoce como efecto de VENTURI, el cual se produce cuando se encuentran dos zonas montañosas próximas en la que el viento es obligado a penetrar por el estrechamiento producido entre las dos montañas aumentando a medida que éste se hace más estrecho.

El viento en su movimiento queda definido por su dirección y velocidad.

La dirección se puede expresar en grados sexagesimales

(círculo de 360°) o bien por rumbos, mientras que la velocidad puede hacerse en millas por hora, nudos por hora, kilómetros por hora o bien metros por segundo.

El viento ejerce una presión sobre los cuerpos que encuentra su recorrido que es directamente proporcional a la forma de los mismos así como su velocidad.

Para medir los componentes del viento se utilizan distintos tipos de aparatos tales como el anemómetro que registra el recorrido dado en un lapso de tiempo de donde se puede deducir la velocidad media; la veleta que registra la dirección del viento; el anemocinemógrafo que registra gráficamente todas las componentes del viento.

A falta de estos aparatos el capitán de navío Francisco Beaufort dió una escala que lleva su nombre, la cual derivó de sus observaciones de los efectos del viento sobre el mar.

Esta escala la componen 12 grados de intensidad creciente designando cada grado por un número o un nombre casi siempre de origen náutico. Su uso es de carácter internacional.

ESCALA BEAUFORT

GRADO	NUDOS	MT/SEG	KM/H	TIERRA	MAR
0	1	0- .2	-1	El humo sube verticalmente	Como espejo
1	1-3	.3- 1.5	1-5	El humo se inclina	Rizos sin espuma
2	4-6	1.6- 3.3	6-11	Mueve hojas árboles	Olitas
3	7-10	3.4- 5.4	12-19	Agita hojas árboles	Crestas compuestas
4	11-16	5.5- 7.9	20-28	Mueve ramitas	Olitas crecientes
5	17-21	8.0-10.7	29-38	Mueve arbolitos	Olas medianas
6	22-27	10.8-13.8	39-49	Mueve ramas grandes	Olas grandes
7	28-33	13.9-17.8	50-61	Mueve árboles	Viento arranca espuma
8	34-40	17.2-20.7	62-74	Desgasta ramas	Olas alargadas
9	41-47	20.8-24.4	75-88	Destroza chimineas	Crestas rompen en rollos
10	48-55	24.5-28.4	89-102	Arranca árboles	Olas muy grandes
11	56-73	28.5-32.6	103-117	Grandes destrozos	Olas altísimas
12	-64	-32.7	—	Huracán	Aire lleno de espuma

El viento que sopla en superficie es muy distinto al aire que sopla a más altura. Se conoce como capa de rozamiento aquella comprendida entre la superficie del suelo y los primeros 1,000 metros sobre dicha superficie. En este intervalo las masas de aire en su desplazamiento son afectadas por los obstáculos que encuentran en la superficie terrestre que los desvía o frena debido al rozamiento o fricción entre ellos. Es notorio a medida que asciende en la atmósfera el efecto de rozamiento o fricción es cada vez menor. Alturas superiores a 1,000 metros este efecto es inapreciable, por lo tanto, se dice que la atmósfera se encuentra libre.

También es notorio que en el viento existe una variación diurna local debida a los movimientos convectivos del aire, así como a la diferente intensidad de los rayos solares de hora. Este aspecto favorece la formación de pequeños remolinos en la capa próxima al suelo. Este efecto no ocurre durante la noche debido a que el calentamiento que se produce es inapreciable.

Al igual que todo el territorio centroamericano, Guatemala está afectada por la acción de los vientos Alisios del nordeste de los cuales por especiales condiciones de insolación sufren algunas modificaciones, sobre todo en los días finales de febrero, marzo y octubre en que con frecuencia mantiene el rumbo SEW.

En las regiones de la costa del Pacífico se presentan variaciones normadas por características diurnas y nocturnas dando lugar a los que se llaman "Brisas del Mar" y "Brisas de Tierra"

Las intensidades máximas del viento, normalmente en cualquier parte del territorio, no llegan a sobrepasar los 75 a 80 kilómetros por hora, habiendo regiones como la llamada "llanos de la Fragua" en que los períodos de "calma" son sensiblemente marcados, unidos a su vez con índices de humedad

relativa que raras veces llega a 50 o/o. Por otro lado, en las zonas medias del Departamento de Chimaltenango, en los planes de la población de Zaragoza, prevalece durante todo el año regímenes de viento que mantienen velocidades medias entre 40 y 50 kilómetros por hora.

Las variadas condiciones topográficas formadas por montañas, valles, laderas más o menos pronunciadas, cañadas profundas y cuencas estrechas y extensas en el territorio de Guatemala, presentan en determinadas zonas sistemas locales de circulación de los vientos, muchas veces opuestas o contradictorias de los regímenes normales; tal sucede principalmente en la región que desde la bahía de Amatique siguiendo la cuenca del Motagua hacia los departamentos de Zacapa y el Progreso, en donde los vientos soplan sensiblemente paralelos al trayecto del río; algo parecido sucede en el valle del río Polochic hacia la enorme cañada que forman las montañas de las Minas y las de Chamá.

III.7 NUBOSIDAD

Las nubes constituyen un tipo de formación de gran importancia ya que contribuyen a la caracterización del clima de una determinada localidad.

Es bien sabida su acción en el proceso de la precipitación, además constituye una forma que impide la incidencia directa de los rayos solares cuando nubes de suficiente espesor y tamaño se interponen a la acción del sol.

En el siglo XIX el Meteorólogo James P. Espy fue uno de los pioneros en el conocimiento científico de las nubes, declaró en 1830 que había una relación entre la convección y la condensación de calor atmosférico. Posteriormente los Meteorólogos comenzaron a explorar los procesos físicos que in-

tervienen en la condensación.

Actualmente los científicos del campo de la Meteorología trabajan con gran interés en los problemas planteados por las nubes, ya que en el estudio de éstas se derivan aspectos de gran importancia tales como predicciones más exactas, verificación del tiempo, etc.

Actualmente el conocimiento que se obtiene de ellas se hace por medio de aviones, globos, satélites, etc.

Las nubes son un conjunto de gotitas de agua o cristales de hielo o bien ambos que se encuentran en suspensión en la atmósfera, teniendo diversas características en cuanto a su forma, tamaño, espesor, color y altura a la que se encuentran suspendidas que han permitido diferenciarlas y clasificarlas convenientemente.

La identificación de los distintos tipos de nubes que existen es de gran importancia, especialmente para fines aeronáuticos y de predicción.

La clasificación internacional de las nubes toma en cuenta los aspectos antes mencionados para establecer cuatro formas fundamentales:

- | | | |
|------------|----|-------------------------|
| 1. Cirrus | -- | Rizos filamentosos |
| 2. Cúmulos | -- | Pelotas de algodón |
| 3. Stratus | -- | Estratos mantos o capas |
| 4. Nimbus | -- | Nubes de lluvia |

La combinación de estos cuatro tipos permite obtener un total de 10 géneros que se establecieron en el año de 1891.

Para la observación correcta de una nube es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. Identificación al género que pertenece
2. Estimación de la altura de su base tomando como referencia el punto de observación.
3. Estimación de la cantidad de nubes que cubren el cielo. Esta se expresa en octavos de cielo cubierto.

Para los fines de identificación de cada género de nubes puede tomarse en cuenta las siguientes características:

Cirrus, Ci.

Nubes en forma de filamentos o bandas de color blanco, angostas y con un aspecto fibroso un brillo sedoso que suelen presentarse juntos, están constituidos por pequeños cristales de hielo y se observan en cielos despejados.

Cirrostratus, Cs.

Velo nuboso, transparente y blanco, con aspecto fibroso o liso, cubriendo total o parcialmente el cielo, originando el fenómeno luminoso óptico "halo" por incidencia de los rayos solares en él, Formado por cristalitas de hielo, su espesor es tal que la luz del Sol pasa a través de ellos.

Cirrocúmulos, Cc.

Banco, manto o capa delgada de nubes blancas, sin sombras propias, compuesta por elementos de forma granular, pasa a través de ellas el contorno del Sol o de la Luna.

Altostratus, As.

Manto o capa nuboso, gris o blanca, con aspecto fibroso o uniforme, cubriendo total o parcialmente el cielo, pasa la luz a través de ellos. Están formados por gotitas y cristalitas de hie-

CLASIFICACION INTERNACIONAL DE LAS NUBES

FAMILIA	GENERO	SIMBOLO	BASE MEDIA MTS.	TOPE MEDIO MTS.
A Nubes altas	Cirrus	Ci	600	12000
	Cirrustratus	Cs		
	Cirrucúmulo	Cc		
B Nubes medias	Altostratus	As	2500	6000
	Altocúmulus	Ac		
C Nubes bajas	Stratus	St	150 a 600	750
	Stratocúmulus	Sc	600 a 1500	2400
	Nimbustratus	Ns	100 a 600	6000
D Nubes de desarrollo vertical	Cúmulus	Cu	300 a 2400	6000
	Cumulunimbus	Cb	600 a 2400	12000

lo y a veces por copos de nieve. Su manto es de gran extensión horizontal con espesor de cientos de metros. Da origen a precipitaciones continuas no fuertes.

Alto cúmulos, Ac.

Banco, manto o capa de nubes blancas, grises o ambos a la vez, con partes sombreadas y partes en forma de losas o rodillos con aspecto fibroso y difuso. Compuestos casi en su totalidad por gotas de agua y a veces por cristales de hielo.

Estratus, St.

Capa nubosa de color gris, uniforme, que puede llegar a originar niebla y agujas de hielo. Formada por gotitas de agua y a veces por cristalitos de hielo. Cuando esta nube llega a la superficie del suelo lo hace en forma de niebla.

Nimbostratus, Ns.

Capa nubosa, gris, su aspecto es enturbiado por la caída continua de lluvia que llega al suelo. Su espesor es tal que oculta totalmente el Sol. Está formada por gotitas de agua, a veces por cristalitos de hielo. Es nube característica de mal tiempo.

Cúmulos, Cu.

Es una nube generalmente densa, de estructura como de coliflor y con base casi horizontal, es del género de nube de desarrollo vertical. En la parte iluminada por el Sol presenta el color blanco deslumbrador, formado por gotitas de agua formándose cristalitos de hielo cuando la temperatura es inferior a 0 grados centígrados. En el trópico es causante de fuertes lluvias en forma de chubascos.

Cúmulonimbus, Cb.

Son masas potentes de nubes de gran desarrollo vertical, elevándose como torres o montañas. Su parte superior es a veces lisa, fibrosa o estriada, extendiéndose en forma de yunque o de penacho.

Nubosidad

Este término se utiliza para expresar las condiciones pre-valetientes en cuanto a la cantidad de cielo cubierto de nubes para el efecto se utiliza una escala dividida en fracciones siendo los extremos de la misma los siguientes: $\frac{8}{8}$ es cuando el cielo está cubierto de nubes y 0 cuando el cielo está limpio. Para el efecto se considera que la bóveda celeste está dividida en ocho partes si se une toda la nubosidad presente y se estima que ésta cubre dos de las octavas partes. La nubosidad será $\frac{2}{8}$ y así para los otros casos. Como se comprenderá, el nivel de precisión de este sistema depende de la experiencia del observador.

Este tipo de observaciones se pueden hacer sin ayuda de ningún instrumento, o bien con la ayuda de un nefoscopio que no es más que un espejo cóncavo que refleja el cielo; el mismo está dividido en 8 partes.

Además de la clasificación que ya ha dado, las nubes dependiendo de los procesos que intervienen en su formación pueden ser de distinto tipo, siendo estas nubes advectivas, convectivas y orográficas.

Las nubes convectivas se forman cuando masas de aire transportan vapor de agua en sentido vertical formado por convección. Estas al llegar a su nivel de condensación así como a la temperatura del punto de rocío se condensan iniciándose su

formación y su posterior desarrollo. Las nubes así formadas se dice que son de desarrollo vertical; dependiendo de la intensidad con que se verifica el proceso, éstas pueden ser del género cúmulus; si la inestabilidad va en aumento llega a la etapa de congestus (potente) y si continúa su desarrollo alcanza su máxima expresión en los cúmulus nimbus.

Las nubes advectivas se forman en la generalidad de los casos cuando se encuentran dos masas de aire, una fría y otra templada. El aire cálido asciende sobre el frío y la temperatura de éste disminuye hasta que llega a tener la temperatura del punto de rocío, a partir del cual se inicia la formación de nubes de este tipo.

III.8 INSTRUMENTOS METEOROLOGICOS

Para poder evaluar la magnitud y ocurrencia de todos los parámetros meteorológicos se cuenta con una serie de instrumentos que, en términos generales, pueden ser de dos tipos: los que registran gráficamente el fenómeno y los de lectura directa. Según los fines requeridos cada uno presenta sus ventajas, sin embargo, los de registro gráfico son más recomendables, ya que en sus gráficos se pueden analizar las características del parámetro en cualquier momento.

Para cada tipo de instrumento existe diversidad de modelos y estilos, sin embargo, los principios en los que se basa su medida son los mismos, por lo tanto, en este capítulo se hará una breve descripción de aquellos que son utilizados por el Observatorio Nacional.

III.8.a PLUVIOMETRO

Este instrumento se utiliza para medir la precipitación

pluvial, consta de una cubeta de cono truncado que está montada sobre otro recipiente donde se almacena el agua y como elemento auxiliar una probeta graduada en milímetros o en pulgadas que se utiliza para medir la cantidad de precipitación. Para establecer las dimensiones de dicha probeta es básico considerar el diámetro del área receptora.

Respecto al área receptora en Guatemala se tiene distintos tamaños, sin embargo, la que se encuentra estandarizada por el Observatorio Nacional es la de 200 cm^2 , así mismo, la altura sobre el suelo para su instalación es de 1.5 m^2 .

III.8.b PLUVIOGRAFO

Los pluviógrafos son básicamente pluviómetros que registran la altura de lluvia a medida que transcurre el tiempo. Constan de un área receptora que está comunicada a un depósito que posee una capacidad de agua que equivale a 10 ml. en la misma se encuentra un flotador conectado a una varilla que a su vez es el soporte de la plumilla indicadora. También se encuentra conectado al mismo un sifón que al llenarse, desaloja el agua acumulada.

La plumilla registradora se posa sobre un diagrama que a su vez está colocado sobre un tambor giratorio que es accionado por un mecanismo de relojería, con tal disposición es posible obtener una gráfica que indica todas las características de la precipitación que se mide, es decir, su cantidad, intensidad, duración, hora de inicio y finalización.

El mecanismo de vaciado por medio del sifón permite a los pluviógrafos tener una capacidad ilimitada de registro. Uno de los aspectos más provechosos que se derivan del uso de este instrumento es la obtención de las intensidades de lluvia para distintos periodos de tiempo.

III.8.c TERMOMETRO

Es un aparato muy simple cuyo fundamento físico es la propiedad que poseen los cuerpos de expandirse o contraerse según sean los valores de temperatura. Consiste en un tubo de vidrio de pequeño diámetro en cuyo interior se aloja una columna de mercurio o de alcohol que se encuentra en contacto con un extremo metálico llamado bulbo.

Los termómetros de alcohol se utilizan en aquellos sitios en los que el mercurio a los 39°C bajo cero se congela, para determinar la temperatura se toma en cuenta los cambios de longitud de la columna sobre una escala graduada en el vidrio, dicha escala puede ser en grados Fahrenheit, Celcius y Centígrados, Reamur, etc.

También existe un tipo especial de termómetros para medir las temperaturas máximas y mínimas, los que generalmente se encuentran instalados en los psicrómetros. Otra modalidad para el mismo fin es el de los termómetros Six de uso frecuente en nuestro medio. También para fines de medir la temperatura del subsuelo se utilizan los geotermómetros que no son más que termómetros montados en tubos que se entierran en perforaciones a distintas profundidades tales como 5, 10, 20, 30, y 100 cm.

III.8.d TERMOGRAFO

Los termógrafos tienen la misma función de los termómetros con la diferencia de que el elemento sensible que se utiliza para determinar los cambios de temperatura es diferente y además deja una gráfica del comportamiento de temperatura durante el día. Aunque existen diversas formas de elementos sensibles como las resistencias eléctricas, el tubo Bourdon, el generalizado en los termógrafos que se poseen en la

red de estaciones de nuestro país es el de lámina bimetálica. Esta consta de dos placas curvas de diferente material. Cada uno con diferente coeficiente de expansibilidad, situación que permite lograr pequeños movimientos que están en función de los cambios de temperatura. Estos se amplifican mediante un sistema de palancas, el cual finaliza en un soporte que lleva adherida una plumilla, la que a su vez se posa sobre el diagrama que va montado sobre un tambor que se mueve accionado por un aparato de relojería.

El tipo más común es el semanal que permite obtener en una zona gráfica lo sucedido durante una semana. Este tipo de instrumento posee un tornillo de graduación que permite calibrarlo. Es necesario para este fin auxiliarse de un termómetro y chequear constantemente si coinciden los dos valores. Por la inercia y el peso de la plumilla internacionalesmente ha convenido aceptar un error máximo de un grado centígrado.

III.8.e ASPIROSICROMETRO

El aspirosicrómetro es un instrumento muy versátil que permite calcular la humedad relativa, tensión de vapor, punto de rocío, etc. Siendo todos estos valores necesarios estimarlos ya sea por medio del uso de fórmulas o bien por medio de tablas. Por lo tanto, no son de lectura directa sino indirecta.

Están constituidos por una base en forma de trípode que forma un solo cuerpo con una varilla sobre la cual van soportes para los termómetros, éstos en total son cuatro, uno de máxima, uno de mínima, uno de bulbo húmedo y otro de bulbo seco. La diferencia de temperatura de estos dos últimos es el dato que se utiliza para estimar las variables ya mencionadas. También consta de un ventilador accionado por cuerda que insufla aire sobre el termómetro de bulbo seco y el del

bulbo húmedo. La diferencia entre estos dos es que uno de ellos lleva adherido al bulbo que sirve de depósito del mercurio una muselina, la cual se humedece.

El procedimiento a seguirse para la obtención de las respectivas lecturas consiste en mojar la muselina del termómetro húmedo y poner a funcionar el ventilador. Sobre el depósito del termómetro húmedo se produce una evaporación que origina un descenso de temperatura el cual es posible por el calor que proporciona la superficie del bulbo, éste permite un descenso de temperatura que depende de la temperatura del aire y de su humedad relativa.

El termómetro seco no sufre este descenso, por lo tanto, si la humedad relativa es alta, las diferencias entre las dos lecturas son pequeñas y a medida que la humedad relativa es menor, las diferencias aumentan; como ya se dijo anteriormente estos datos básicos para calcular la humedad relativa, el punto de rocío, la tensión de vapor.

Para calcular la humedad relativa media es necesario tomar tres lecturas que respectivamente son a las 07:00, 13:00 y 19:00 horas, así mismo, se puede obtener el promedio de la temperatura ambiente el promedio de estas tres lecturas tomando los datos del termómetro seco, también los datos de la temperatura máxima y mínima de los termómetros respectivos.

III.8.f HIGROMETROS

Los higrómetros son instrumentos que proporcionan los valores de la humedad relativa, su elemento sensible lo constituye un haz de cabellos formado por dos extremos de metal que sostienen grupos de cabello desgrasado, éstos son higroscópicos o sea que tienen la propiedad de absorber la humedad del medio ambiente, estirándose cuando ésta es alta y

contrayéndose cuando es baja. Dicho elemento está conectado a un sencillo sistema de palancas que convenientemente calibrado indica sobre un cuadrante que está dividido de 0 a 100 unidades de porcentaje, la humedad del momento.

III.8.g HIGROGRAFOS

Estos aparatos tienen la misma función que los higrómetros con la ventaja de dejar indicado en un diagrama los diferentes valores de humedad relativa de un día. Su elemento sensible también lo constituye un haz de cabellos. Las variaciones que se dan en este haz de cabellos son amplificadas por un sistema de palancas. Para obtener las gráficas tal como todos los aparatos gráficos es necesario un tambor que gira accionado por un sistema de relojería.

Cuando el haz de cabellos se impregna de polvo se pueden ocasionar errores hasta un 15 o/o por lo que es conveniente mantenerlos limpios utilizando un pincel y agua destilada. Al igual que los termógrafos, los higrógrafos tienen un tornillo de calibración, para su ajuste es necesario tomar como base los datos que proporciona el psicrómetro.

III.8.h TERMOHIGROGRAFOS

Este instrumento está compuesto de un termógrafo y un higrógrafo independiente, superpuestos, encerrados en un solo estuche y con un sistema único de relojería que mueve un amplio tambor al que se adapta una banda de registro con las dos escalas.

III.8.i TANQUE DE EVAPORACION

Su función es medir la evaporación, está constituido por

un cilindro de 0.254 m de profundidad y 1.219 de diámetro interior. Se le conoce también con el nombre de evaporímetro o tanque tipo A. Está montado sobre el suelo sobre una tarima de madera. En su interior lleva un cilindro de reposo en el cual se hacen las lecturas de diferencias de nivel sobre la superficie del agua. Las mismas están en función de la evaporación, el instrumento que mide estos cambios es un medidor micrométrico de gancho.

Como elementos auxiliares se instala un anemómetro cuyas casoletas están a un metro sobre el nivel del suelo y un pluviómetro a ras del mismo.

El tanque suele llenarse de agua cada cierto tiempo hasta una altura de 5 cm. abajo del borde. La función del pluviómetro es conocer la cantidad de precipitación pluvial, dato que se utiliza para calcular la evaporación cuando el agua de lluvia compensa parcialmente o sobrepasa el agua evaporada. El anemómetro se utiliza para conocer la velocidad del viento, como ya se ha dicho anteriormente, es un factor que contribuye a que se verifique el fenómeno de evaporación.

El tanque se limpia cuando es necesario, evitando la formación de sedimentos o partículas aceitosas que reducen la evaporación.

III.9 LOS CLIMAS SEGUN THORNTHWAITE

Inspirado en los criterios seguidos por Köppen en su segunda clasificación climática el doctor W. Thornthwaite propuso en 1931 su sistema de clasificación que ha sido ampliamente utilizado y aplicado en diversos países y el mismo fue desarrollado para las condiciones de países de clima templado en los que se marcan en una forma bien definida las estaciones astronómicas del año. Es conveniente aclarar que éstas se mar-

can para el Hemisferio Sur y para el Hemisferio Norte en los siguientes períodos de tiempo: del 23 de Septiembre al 21 de Diciembre en el Hemisferio Norte se marca el otoño y en el Hemisferio Sur la primavera; del 21 de Diciembre al 21 de Marzo corresponde para el Hemisferio Norte el invierno y para el Sur el verano; del 21 de Marzo al 21 de Junio en el Hemisferio Norte se establece la primavera y para el sur el otoño; del 21 de Junio al 23 de Septiembre para el Hemisferio Norte el verano y para el Sur el invierno.

Como es sabido en nuestro medio dichas estaciones no se marcan como tales, más bien están definidos dos períodos que conocen como época lluviosa y otro como época seca.

Tomando en cuenta que hay cierto reflejo de las condiciones estacionales de latitudes templadas en nuestras características climáticas a largo del año, el sistema de Thornthwaite define a una situación climática en mejor forma que cualquier otro sistema.

Las investigaciones del Dr. Thornthwaite fueron orientadas a encontrar una expresión matemática que cuantificara la ventaja de fijar relaciones que indican la posibilidad de vida de los vegetales y no únicamente referirse a las escalas pluviométricas o térmicas que son arbitrarias.

La expresión que encontró Thornthwaite relaciona los datos de precipitación total mensual así como la temperatura media mensual utilizando la siguiente fórmula:

i = Índice anual de la efectividad de la precipitación

$$i = 1.64 \left(\frac{P}{T + 12.2} \right)^{10/9}$$

en la cual P = precipitación pluvial mensual en mm. mientras

T = temperatura media mensual en °C

E = evaporación en mm.

Aplicando esta fórmula para cada mes del año y sumando dichos valores se obtiene el índice anual de la efectividad de la precipitación.

Comparando los resultados obtenidos con el carácter de la vegetación natural se establecieron las siguientes jerarquías de humedad:

JERARQUIAS DE HUMEDAD

SIMBOLO	VALORES DEL INDICE	CARACTER DEL CLIMA	VEGETACION NATURAL CARACTERISTICA
A	128 o mayor	muy húmedo	selva
B	64 a 127	húmedo	bosque
C	32 a 63	semi-seco	pastizal
D	16 a 31	seco	estepa
E	menor de 16	muy seco	desierto

Con respecto a la temperatura, Thornthwaite clasificó la favorabilidad de los climas para la vida vegetal basado en dos extremos de la escala.

El trópico que con una humedad adecuada da lugar la variada vegetación y las regiones polares carentes de vegetación. Para expresar estas relaciones, Thornthwaite utiliza el índice anual de eficiencia de temperatura i' que expresado ma-

temáticamente es $i' = 9/20 T$

en la cual $T =$ temperatura mensual en $^{\circ}\text{C}$

$i' =$ índice de temperatura

Esta fórmula aplicada a la temperatura mensual permite obtener los índices para cada mes, por lo tanto, el índice anual es la suma de los 12 valores.

CUADRO No. 2

JERARQUIAS DE TEMPERATURA

SIMBOLO	VALORES DEL INDICE I	CARACTER DEL CLIMA
A'	128 o mayor	cálido
B'	101 a 127	semi-cálido
B' ₂	80 a 100	templado
B' ₃	64 a 79	semi-frío
C'	32 a 63	frío
D'	16 a 31	de taiga
E'	1 a 15	de tundra
F'	0	polar

Thornthwaite incluye otra más que establece la distribución de la humedad y la variación de la temperatura a través del

año.

Para la primera característica se utiliza el siguiente cuadro de tipos de distribución de la lluvia durante el año.

CUADRO No. 3

TIPOS DE DISTRIBUCION DE LA LLUVIA DURANTE EL AÑO

I ESTACIONAL		SIMBOLO	CARACTER DEL CLIMA
Todos	4	r	sin estación seca bien definida
p	4	p	con primavera seca
v	4	v	con verano seco
o	4	o	con otoño seco
i	4	i	con invierno seco
Todos	4	d	con deficiencias de lluvia en todas las estaciones

Para estimar los índices indicados se suman los índices i correspondientes a los meses de cada estación astronómica del año, si dicha suma es mayor que 4 nos indicará que no existe estación seca para cada período considerado, en el caso contrario si existirá estación seca.

Con relación a variación de temperatura durante el año Thornthwaite establece cinco tipos en base a la relación expresada por los porcentajes de variación existente entre la suma de los índices j de los cuatro meses más calurosos del año, con el valor de i . El siguiente cuadro indica

los rasgos establecidos.

CUADRO No. 4

TIPOS DE VARIACION DE LA TEMPERATURA DURANTE EL AÑO

SIMBOLO	CARACTER DEL CLIMA	o/o DE CONCENTRACION
a'	sin estación fría bien definida	25 a 34
b'	con invierno benigno	35 a 49
c'	extremoso	50 a 69
d'	muy extremoso	70 a 99
e'	extremosísimo	100

Los cuatro tipos de índices que se han mencionado constituyen la base para estimar un clima por el sistema de Thornthwaite y, por lo tanto, cada clima estará identificado por un grupo de cuatro letras que en su orden representan cada una el índice de efectividad de precipitación i , índice de eficiencia de temperatura i' , el tipo de distribución de la lluvia a través del año y el tipo de variación de temperatura durante el mismo.

A continuación un cuadro que resume estos parámetros:

CUADRO No. 5

JERARQUIAS		TIPOS O REGIMENES	
de humedad	distribución de lluvias	de temperatura	variación de temperatura
A	t	A'	a'
B	p	B'	—
B	v	B'	b'
C	i	B' ₂	c'
D	i	B' ₃	—
D	o	B' ₃	d'
E	d	C'	e'
	d	D'	
		E'	

De acuerdo a la cantidad de combinaciones que se pueden dar entre los distintos valores existentes para cada índice, la cantidad de tipos posibles es elevado y consecuentemente esta flexibilidad permite definir en una forma mucho más precisa a cualquier clima. Según Obiols (14) quien aplicó este sistema para Guatemala encontró 33 climas distintos distribuidos según los distintos niveles altitudinales, así cálido 17 tipos diferentes, semi-cálido 10, templado 4, semi-frío 2. Indudablemente para nuestras condiciones la terminología y la definición climática del sistema de Thornthwaite aparenta

ser difícil y en algunos casos contradictoria.

Si no se toma en cuenta que la definición climática que se establece se aplica a las estaciones astronómicas del año, términos que para nosotros son confusos como el siguiente, que define el sistema de Thornthwaite para indicar el tipo de distribución de la lluvia, "invierno seco" no se debe interpretar de que se refiere a lo que es para nosotros la época lluviosa sino para el invierno astronómico que se marca del 21 de diciembre al 21 de marzo.

Tomando en cuenta este aspecto se puede observar que el sistema de Thornthwaite describe un clima con más amplitud que otros sistemas, ya que además de definir el carácter de la humedad y temperatura, se describe el tipo de la distribución de la lluvia y el de la variación de la temperatura.

Esta situación permite poder diferenciar en mayor grado las zonas climáticas.

Si comparamos los dos sistemas que se han utilizado en Guatemala el de zonificación ecológica de Holdrige con el de Thornthwaite se observa que la faja tropical seca y húmeda que se derivaron al aplicar la zonificación de Holdrige corresponden a nueve tipos distintos de clima cálido en el sistema de Thornthwaite.

III.10 ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA DE HOLDRIGE

El área nacional de Guatemala comprende representaciones de cuatro pisos o fajas termométrico-altitudinales siendo las siguientes: a) tropical; b) subtropical; c) montano bajo; y d) montano.

Las áreas representativas de cada piso o faja compren-

den varias zonas de vida, diferenciadas por límites de lluvia y evapotranspiración. Estos límites y los de temperatura y altitud de las correspondientes fajas, correlacionadas con fisonomías de vegetación natural, originan aptitudes de cada zona respecto a su aprovechamiento en determinados renglones de producción agrícola, lo que resulta de gran importancia como base para el estudio de las potencialidades económicas del país.

A continuación se describen resumidamente las zonas, respecto a sus delimitaciones termométricas, altitudinales y pluviométricas; su uso agrícola apropiado, y algunos ejemplos de renglones específicos de producción en las mismas.

III.10.a ZONA TROPICAL MUY SECA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: promedio anual de temperatura mayor de 24 grados centígrados.

Altitud desde 0 hasta aproximadamente 700 m (2296 pies) en la vertiente del Pacífico, y de 0 hasta alrededor de 500 m (1640 pies) en la vertiente del Atlántico. Lluvias desde un poco menos de 500 hasta 1,000 mm. por año.

- b) Uso apropiado;

Cultivos intensivos, con irrigación, sobre suelos aluviales.

Cultivos sin riego, de cosechas anuales de temporada corta, durante las lluvias. Ganado sobre tierras de pendiente moderada. Bosque sobre laderas de pendiente pronunciada.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Caña de azúcar, algodón, mijo, maicillo, ágaves, melón, frutas tropicales. Vacunos de doble fin. Especies forestales nativas.

III.10.b ZONA TROPICAL SECA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. LLuvias entre 1000 y 2000 mm. por año.
- b) Uso apropiado:

Cultivos con riego suplementario sobre terrenos aluviales. Ganadería intensiva. Cultivo de cosechas anuales de temporada corta, sin irrigación, durante las lluvias, sobre terrenos no aluviales de pendiente poca y moderada. Producción forestal permanente sobre laderas de pendiente pronunciada.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Algodón, caña de azúcar, tabaco, arroz de riego eventual; ajonjolí, maíz, yuca, frijoles, sorgos, frutas tropicales (mango, papaya, zapote, cítricos, etc.). Vacunos de carne y cerdos. Especies forestales nativas.

III.10.c ZONA TROPICAL HUMEDA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. LLuvias entre 2000 y 4000 mm. por año.
- b) Uso apropiado:

Cultivos intensivos sobre buenos suelos aluviales. Ga-

nadería sobre tierras planas y pendientes moderadas. Producción forestal sobre laderas de fuerte pendiente.

c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Banano, cacao, arroz, hule, yuca, frutas tropicales, pejívalle, cafeto de la especie *canephora* (robusta). Vacunos para carne. Especies forestales nativas.

III.10.d ZONA SUBTROPICAL SECA

a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Promedio anual de temperatura entre 18 y 24 grados centígrados.

Altitud entre 700 m (2296 pies) y 1500 m (5000 pies) en la vertiente del Pacífico, y entre 500 m (1640 pies) y 1350 m (4430 pies) en la vertiente del Atlántico. Lluvias entre 500 y 1000 mm. por año.

b) Uso apropiado:

Cultivos con riego suplementario, sobre suelos aluviales. Ganadería extensiva sobre suelos no aluviales de pendiente moderada. Producción forestal sobre laderas de fuerte pendiente.

c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Tabaco, maíz, frijoles, maicillo, algodón, algunas frutas tropicales (mango, papaya, zapote, guanaba, cítricos), vacunos para doble fin. Pinos para madera y resina.

III.10.e ZONA SUBTROPICAL HUMEDA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. Lluvias entre 1000 y 2000 mm por año.

- b) Uso apropiado:

Cultivos y ganadería intensivos sobre terrenos de suave a moderada pendiente. Producción forestal sobre terrenos de fuerte pendiente.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Obtención, por entresaque, de madera de yoconite (Talauma mexicana).

III.10.f ZONA MONTAÑO BAJO SECA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Promedio anual de temperatura entre 12 y 18 grados centígrados. Altitud entre 1500 m (5000 pies) y 2500 m (8200 pies) en la vertiente del Pacífico, y entre 1350 m (4430 pies) y 2300 m (7544 pies) en la vertiente del Atlántico. Lluvias entre 500 y 1000 mm. por año.

- b) Uso apropiado:

Cultivos con riego suplementario, sobre suelos planos y suavemente inclinados. Ganadería intensiva sobre suelos semejantes. Producción forestal sobre laderas de fuerte pendiente.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Hortalizas, cafeto productor de bebida de fantasía,

frutales de clima fresco, cereales de grano menudo, frijoles, maíz, patata, etc.

III.10.g ZONA MONTANO BAJO HUMEDA

- a) Límites termométricas, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. Lluvias entre 1000 y 2000 mm por año.
- b) Uso apropiado:

Cultivos y ganadería intensivos sobre terrenos de suave a moderada pendiente. Producción forestal sobre terrenos de pendiente pronunciada.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Tubérculos, cereales de grano menudo, maíz, alfalfa, hortalizas, flores, frutas de clima templado, cafeto productor de bebida de fantasía en áreas no azotadas por heladas; vacunos de leche, cerdos, pinos.

III.10.h ZONA MONTANO BAJO MUY HUMEDA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. Lluvias entre 2000 y 4000 mm por año.
- b) Uso apropiado:

Producción forestal sobre terrenos de moderado declive, y bosques naturales de protección de las cuencas hidrográficas sobre laderas de fuerte pendiente.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Especies forestales nativas, particularmente pinos y cipreses.

III.10.i ZONA MONTANO HUMEDA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Promedio anual de temperatura entre 6 y 12 grados centígrados. Altitud mayor que 2500 m (8200 pies) en la vertiente del Pacífico, y que 2300 m (7544 pies) en la vertiente del Atlántico. Lluvias entre 500 y 1000 mm. por año.

- b) Uso apropiado:

Agricultura muy limitada sobre terrenos de suave declive. Producción forestal sobre terrenos de moderado declive y bosques naturales de protección de cuencas hidrográficas sobre laderas fuertemente inclinadas.

- c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Patatas, pinos para mueblería y tanino.

III.10.j ZONA MONTANO MUY HUMEDA

- a) Límites termométricos, altitudinales y pluviométricos: Iguales que los de la anterior en temperatura y altitud. Lluvias entre 1000 y 2000 mm. por año.

- b) Uso apropiado:

Producción forestal sobre terrenos de moderado declive, y bosques naturales de protección de las cuencas hidrográficas, sobre laderas de fuerte pendiente.

c) Ejemplos de renglones específicos de producción:

Producción de pinabetes para Navidad, pinos para mueblería.

EXTENSION OCUPADA POR CADA UNA DE LAS ZONAS		
Zona	Km	Porcentaje
1 Zona tropical muy seca	1600	1.47
2 Zona tropical seca	21200	19.43
3 Zona tropical húmeda	39200	35.96
4 Zona subtropical seca	12700	11.65
5 Zona subtropical húmeda	4900	4.50
6 Zona subtropical muy húmeda	7900	7.27
7 Zona subtropical pluvial	500	0.45
8 Zona montano bajo seca	300	0.27
9 Zona montano bajo húmeda	16750	15.37
10 Zona montano bajo muy húmeda	3150	2.89
11 Zona montano húmeda	750	0.69
12 Zona montano muy húmeda	50	0.05
	109000	100.00

IV. MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se aplicó a la región V de la regionalización del Plan Nacional de Desarrollo 75-78 que está localizada entre los 14° 14' a los 15° 17' latitud norte y 90° 8' a 91° 9' longitud oeste.

El área regional está subdividida en cuatro subregiones: la subregión V-1 del Departamento de Baja Verapaz y dos municipios de El Quiché, subregión V-2 el Departamento de El Progreso, subregión V-3 el Departamento de Guatemala y la subregión V-4 el Departamento de Sacatepéquez. En total cubre una superficie de 10,347 Km² que comprende los Departamentos de Guatemala, Baja Verapaz, El Progreso, Sacatepéquez, Chimaltenango y dos municipios de El Quiché. Su población es de 1,627.124 habitantes.

Presenta una heterogeneidad en cuanto al clima, determinada por las variaciones topográficas, comprendiendo altura desde los 200 mts. s.n.m. hasta 3,000; la actividad agrícola que es la mayor fuente de ingresos se caracteriza por cultivos anuales y en menor escala pastos, frutales y cultivos permanentes.

A finales del año 1974 la Unidad Sectorial de Planificación Agrícola planteó la necesidad de efectuar un estudio integral de las regiones conceptualizadas en el Plan Nacional de Desarrollo 1975-1978 en el cual estaba involucrado el aspecto climático, razón por la cual USPA solicitó la colaboración del Observatorio Nacional.

Coincidentemente, en el Observatorio se tenía el proyecto de realizar el estudio climatológico de las regiones del referido plan y para trabajar sobre la región piloto se tenía prevista la participación de la Facultad de Agronomía por medio de uno de sus estudiantes próximos a graduarse.

La conjugación de estos factores y el llevar a la práctica lo planificado dio la oportunidad de efectuar el presente trabajo, siendo la participación del Observatorio Nacional y la Unidad Sectorial de Planificación del Ministerio de Agricultura decisiva para su realización.

El trabajo propuesto por la Unidad Sectorial de Planificación comprende las siguientes fases:

IV.1 FASE INVENTARIO

Aspecto Biofísico de la Región
 Aspecto Socioeconómico de la Región
 Programas y Proyectos en Ejecución
 Organizaciones Económicas y Sociales
 Organización Político-Administrativa

IV.2 FASE DE DIAGNOSTICO

Identificación de áreas homogéneas potenciales
 Síntesis cartográfica biofísica
 Interacción de variables económicas sociales con variables biofísicas

IV.3 FASE IMPLEMENTACION, PLAN DE DESARROLLO 1975-1980

Identificación de programas y proyectos para cada una de las áreas homogéneas potenciales
 Listado de programas y proyectos.

IV.4 FASE FORMULACION DE LAS BASES PARA EL PLAN DE DESARROLLO RURAL 1980-1984

Estudios de factibilidad de programas y proyectos
 Formulación de coeficientes técnicos de planificación regional

Dentro de las variables a evaluar se contemplan las siguientes:

BIOFISICOS

Mapa base
Topografía
Fisiografía
Geología
Climatología
Equivalentes Meteorología de los Cultivos
Suelos
Hidrología
Utilización del agua
Cobertura natural
Uso actual de la tierra
Infraestructura

SOCIOECONOMICOS

Población
Corrientes migratorias
Ocupación
Vivienda
Producto bruto
Estructura agraria
Estructura de producción agrícola
Estructura del consumo aparente
Ingresos y gastos
Crédito
Comercialización
Insumos

En el aspecto climático se tenían contemplados los siguientes:

Temperatura
 Precipitación
 Iniciación período lluvioso
 Duración período lluvioso
 Evaporación
 Evapotranspiración
 Vientos
 Fenómenos adversos a la producción agrícola

Información Climatológica

Para los fines del estudio se seleccionaron las estaciones meteorológicas de la Red Nacional que estaban dentro de la Región, así como las de áreas adyacentes para servir como puntos de apoyo, siendo los criterios para su selección el área de influencia que cubren y los años de funcionamiento de la estación. A este respecto se tomaron aquellas que tuvieran más de cinco años de registro.

Resumen por Departamento de las Estaciones Meteorológicas que tomaron en cuenta para el Estudio

Alta Verapaz

3 estaciones tipo "C"
 1 estación tipo "D"

Baja Verapaz

1 Estación tipo "B"
 7 estaciones tipo "C"

Chimaltenango

11 estaciones tipo "C"
 4 estaciones tipo "D"

Escuintla

3 estaciones tipo "C"
 1 estación tipo "D"

Guatemala

1 estación tipo "A"
 3 estaciones tipo "B"
 8 estaciones tipo "C"
 5 estaciones tipo "D"

Jalapa

1 estación tipo "A"
 1 estación tipo "B"
 1 estación tipo "C"
 1 estación tipo "D"

El Progreso

4 estaciones tipo "C"

2 estaciones tipo "D"

El Quiché

2 estaciones tipo "B"

2 estaciones tipo "C"

4 estaciones tipo "D"

Sacatepéquez

1 estación tipo "B"

1 estación tipo "C"

3 estaciones tipo "D"

Santa Rosa

1 estación tipo "B"

4 estaciones tipo "C"

Sololá

2 estaciones tipo "B"

2 estaciones tipo "C"

Zacapa

1 estación tipo "A"

3 estaciones tipo "D"

ESTACIONES TIPO "A": se llevan registros de los siguientes parámetros: temperatura, precipitación, humedad, presión atmosférica, insolación, evaporación, radiación, nebulosidad, viento, temperatura del subsuelo, visibilidad, hidrometeoros, litometeoros, fotometeoros.

ESTACIONES TIPO "B": temperatura, precipitación, humedad.

ESTACIONES TIPO "C": temperatura y precipitación.

ESTACIONES TIPO "D": temperatura o precipitación.

Datos de las Estaciones

Los registros de las estaciones se procesaron calculando los valores medios.

En el resumen que se presenta en el apéndice de cada estación existen valores mensuales y anuales y en la mayoría de los casos la media anual que se consigna no coincide con la que se calcula, promediando las medias de los 12

meses del año. Esto se debe a que para calcular los valores anuales únicamente se tomaron en cuenta aquellos años que tuvieron registro durante los 12 meses, y para el cálculo de los medios mensuales se tomaron los años de registro que existían para el mes considerado.

Por una u otra circunstancia en el record de registro de un buen número de estaciones existen períodos en los que se interrumpió el envío de datos. Esto dio como consecuencia que los valores mensuales se hayan calculado sobre cierto número de años y los anuales sobre otro diferente. Para mejor comprensión de este aspecto, considérese el siguiente ejemplo: una estación posee un record de registro de 20 años, sin embargo, durante cuatro años no se recibieron reportes en el período de noviembre a febrero. Atendiendo a lo antes expresado los meses de marzo a octubre tienen calculados sus medios en base a 20 años de información y de noviembre a febrero únicamente los 16 años disponibles. Como para calcular los medios anuales se necesita de años con registro completo, en el ejemplo se han calculado los 16 años que representan la información completa.

Mapa Base

Fue elaborado tomando como base el mapa topográfico escala 1:250,000 publicado por el Instituto Geográfico Nacional.

Mapa Hipsométrico

Sobre el mapa base se elaboró el mapa hipsométrico tomando éstos a cada 100 metros de altura a fin de tener un panorama general de la geomorfología de la región tales como volcanes, cordilleras, valles, este mapa fue de bastante utilidad para el trazo de isoyetas ya que se tomaron en cuenta las influencias geográficas también para el trazo de isoter-

mas en las que se tomó en cuenta un gradiente de variación en función de altura.

Mapa de Localización de Estaciones

Se localizaron geográficamente en el mapa base los cuatro tipos de estaciones meteorológicas de la región así como las circunvecinas a la misma.

Para su representación se utilizó la siguiente representación:

Estación tipo "A"

Estación tipo "B"

Estación tipo "C"

Estación tipo "D"

Trazo de Isoyetas

Se conoce con el nombre de isoyeta a una línea que une puntos de igual precipitación, para su trazo se utilizó el mapa de localización de estaciones sobre el cual se plotearon los valores correspondientes a cada estación. Luego se interpolaron radialmente las estaciones y el trazo final se hizo tomando en cuenta dicha interpolación y la influencia orográfica con este criterio se trazaron los siguiente mapas:

Isoyetas Anuales: comprende los valores acumulados de los 12 meses del año con un gradiente de : 100 mm.

Isoyetas de Epoca Lluviosa: comprende los valores acumulados de los meses Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre con un gradiente de: 100 mm.

Isoyetas de Epoca Seca: comprende los valores acumulados de los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo,

abril, con un gradiente de: 100 mm.

Trazo de Isothermas Medias Anuales: se conoce con el nombre de isoterma a la línea que une puntos de igual temperatura. Para el trazo se plotearon los valores de cada estación en el mapa base y como la temperatura varía en función de la altura se tomó en cuenta la ecuación de correlación que estimó el Ing. Agr. Leonidas Morán Burgos. Las respectivas isolíneas se trazaron tomando en cuenta el gradiente de variación por altura y los valores ploteados en el mapa base.

Morán Burgos calculó la ecuación de correlación en la siguiente forma:

Procedimiento:

N ^o	Y _i	X _i	Y _i X _i	X _i ²
1	27.6	2	55.2	4
2	27.9	40	1116.0	1.600
3	26.2	90	2358.0	8.100
4	28.6	270	7722.0	72.900
5	26.2	280	7336.0	78.400
6	26.3	320	8416.0	102.400
7	25.5	346	8823.0	119.716
8	24.1	517	12459.7	267.289
9	24.8	520	12896.0	270.400
10	23.9	620	14818.0	384.400
11	24.7	710	17537.0	504.100
12	24.5	760	18620.0	577.600
13	22.8	860	19608.0	739.600
14	23.6	900	21240.0	810.000
15	24.0	960	23040.0	921.600
16	22.4	977	21884.8	954.529

sigue

Viene

Nº	Yi	Xi	Yi Xi	Xi ²
17	21.1	979	20656.9	958.441
18	23.3	1000	23700.0	1000.000
19	22.3	1100	24530.0	1210.000
20	21.1	1120	23632.0	1254.400
21	20.4	1189	24255.6	1413.721
22	21.4	1210	25894.0	1464.100
23	20.8	1300	27040.0	1690.000
24	22.6	1344	30374.4	1806.336
25	21.4	1450	31030.0	2102.500
26	20.0	1470	29400.0	2160.900
27	18.2	1500	27300.0	2250.000
28	19.3	1510	29143.0	2280.100
29	18.4	1530	28152.0	2340.500
30	16.2	1650	26730.0	2722.500
31	16.5	1700	28050.0	2890.000
32	18.4	1705	31372.0	2907.025
33	17.8	1763	33381.4	3108.169
34	18.7	1776	33211.2	2154.176
35	19.0	1845	35055.0	3404.025
36	15.4	1860	28644.0	3459.600
37	17.9	1973	35316.7	3892.729

Función lineal y c = A X i + b

Ecuación de predicción - y c = 0.00443X + 24.92

Mapas de Temperaturas Míjimas Extremas

La elaboración de estos mapas se hizo con el objeto de delimitar aquellas áreas donde el ciclo vegetativo de los cultivos es afectado por temperaturas menores a las del ámbito mínimo afectivo.

La época en que se presentan las temperaturas más bajas del año es la que comprende los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero. Por tal razón se trazan mapas de isotermas para cada uno de estos meses. El método empleado para el trazo de isolíneas fue el empleado en el mapa de isotermas medias anuales. Obteniéndose para cada mes su respectiva ecuación de predicción.

$$y_c = -0.008 h + 17.88 \text{ (noviembre)}$$

$$y_c = -0.010 h + 21.22 \text{ (diciembre)}$$

$$y_c = -0.0098 h + 20.99 \text{ (enero)}$$

$$y_c = -0.0083 h + 18.66 \text{ (febrero)}$$

IV.5 CALCULO DE LOS VALORES DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

(Método C. W. Thornthwaite)

Para determinar la evapotranspiración potencial por este método debe contarse con valores de temperatura media mensual y conocer la latitud de la estación.

El procedimiento de los datos se efectuó con el auxilio de una computadora Hewlett Packard, Modelo 9830 A de 8 bits. Para elaborar el programa en lenguaje Basic se tomó como base el siguiente procedimiento:

1. Se estima el índice mensual de calor i

$$i = (t/5)^{1.514}$$

t = Temperatura media mensual

2. Se calcula el índice de calor anual I

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

3. Calcular para cada mes los valores de E p t desajustada.

$$E p t = \frac{16 (10 t)^a}{I}$$

t = temperatura media anual

$$I = \sum_1^{12} i$$

$$a = \frac{675X I^3}{10^9} - \frac{771 X I^2}{10^7} + \frac{1792 X I}{10^5} + \frac{49230}{10^5}$$

4. Ajustar los valores de evapotranspiración potencial mensual utilizando los coeficientes:

Enero =	0.97	Julio =	1.03
Febrero =	0.91	Agosto =	1.04
Marzo =	1.11	Sept. =	1.02
Abril =	1.08	Oct. =	1.01
Mayo =	1.12	Nov. =	0.95
Junio =	1.08	Dic. =	0.97

5. Evapotranspiración Potencial anual:

$$Ept \text{ anual} = \sum_1^{12} Ept \text{ mensual ajustada}$$

Para los fines del estudio se trazaron tres mapas de evapotranspiración potencial.

1. Mapa E p t anual: comprende los valores acumulados de los doce meses del año.

2. Mapa E p t de la época lluviosa: comprende los valores acumulados de los meses Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre.
3. Mapa E p t de la época seca: comprende los valores acumulados de los meses Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo, Abril.

Trazo de Isohigras medias anuales

Se plotearon los valores de humedad relativa media anual en el mapa base y luego se procedió a trazar las respectivas Isolíneas utilizando exclusivamente el método de interpolación.

V. DISCUSION DE RESULTADOS

V.1 ISOYETAS ANUALES

Los valores de precipitación que se registran en la Región V son muy variables, fluctuando desde 500 a 3,000 mm. anuales comprendiendo, por lo tanto, áreas con condiciones desde secas hasta húmedas.

En el respectivo mapa de isoyetas se pueden diferenciar claramente dichas áreas, así las zonas lluviosas se localizan en el extremo sur-occidental y sur-oriental así como en el extremo nor-oriental, quedando un área intermedia de condiciones secas que ocupa el mayor porcentaje de la Región. Más específicamente, las áreas lluviosas se localizan en las laderas de montaña de los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez. Luego una cuña seca que corresponde a los valles de Guatemala y Amatitlán o inmediatamente después un núcleo lluvioso sobre las laderas de montaña de San José Pinula y Sta. Elena Barillas, En el norte, el área lluviosa es más extensa, cubriendo las tierras bajas y las montañas de Baja Verapaz.

Por la localización de los núcleos de altas precipitaciones se infiere que la orografía tiene una marcada influencia para su ocurrencia, así como que existen dos fuentes para la alimentación de la humedad que requieren estos dos sistemas, siendo los mismos el Océano Pacífico y el Atlántico. Por lo tanto, se considera que los vientos cargados de humedad provenientes de los océanos descargan un buen porcentaje de la humedad que transportan al chocar con las laderas de montaña.

La distribución de las precipitaciones en estas áreas manifiesta el llamado "efecto Fohen", caracterizado por la ocurrencia de mayores cantidades de precipitación sobre las faldas de las montañas y un decrecimiento conforme se

umenta en altura; al sobrepasar la cresta de montaña los valores decrecen ostensiblemente. Por lo tanto, este mecanismo explica en parte la característica que se da en la zona intermedia entre las dos lluviosas.

Esta zona, como ya se dijo, tiende a ser seca y manifiesta variación en cuanto a sus valores de precipitación. Así el área más seca está en el departamento de El Progreso, luego le siguen ciertas áreas de Baja Verapaz, El Quiché y Guatemala. La zona que comprende el altiplano no se puede considerar seca, ya que aunque la precipitación es relativamente baja para algunas zonas, hay que tomar en cuenta que la tasa de evapotranspiración es baja, así al interrelacionarse todos estos factores, cantidades de lluvia que para tierras bajas darían una característica de climas secos, para el altiplano corresponden a un clima húmedo.

V.2 ISOYETAS DE LA EPOCA LLUVIOSA

La distribución de la precipitación para la época lluviosa tiene la misma tendencia que se observa en el mapa de isoyetas anuales, o sea que en las áreas húmedas es donde se registran las mayores precipitaciones y las regiones secas siguen siendo secas.

Por otro lado, se observa que en los lugares con precipitaciones mayores de 1,000 mm. existe una distribución de las lluvias que se concentra en la época lluviosa pero también cierto porcentaje en la época seca, ahora bien en las zonas de menor precipitación las lluvias se concentran casi exclusivamente en la época lluviosa.

V.3 EPOCA SECA

Las cantidades de precipitación que se registran en la Región V para la época seca varían de 25 a 500 mm. y

las diferencias que se observan están en función de los distintos climas de la región, así para climas secos la precipitación oscila entre los 25 y 100 mm., siendo las áreas que se encuentran localizadas en El Progreso las que reciben las cantidades menores de lluvia.

Para los climas lluviosos existen diferencias de acuerdo a la vertiente de su localización. Para la vertiente del Pacífico las cantidades de lluvia oscilan entre los 200 a los 300 mm. y para la vertiente del Atlántico de 200 a 500 mm. La ocurrencia de mayores cantidades para el Atlántico se debe a que para esta vertiente la transición entre la época lluviosa y la seca no está bien definida, observándose que para los meses de Noviembre, Diciembre y Enero se registran lluvias del tipo característico de la época lluviosa.

Por lo tanto, se da el caso que en sitios localizados en la vertiente del Atlántico y del Pacífico tengan similares cantidades de precipitación, pero difieren en cuanto a la distribución de sus lluvias.

Las cantidades tan pequeñas de precipitación que se registran en las áreas que se han definido como secas, reducen ostensiblemente su potencial agrícola siendo necesaria la implementación de sistemas de riego para su utilización.

V.4 DIAS DE LLUVIA

La cantidad de días de lluvia proporciona criterios para inferir la distribución de las mismas y la condición climática de un determinado lugar. Por lo tanto, de acuerdo a la diversidad de climas de la Región V, la cantidad de días de lluvia oscila desde 40 hasta 200 días.

Para los climas secos, la cantidad de días de lluvia

oscila entre 40 y 90 días. Para la zona lluviosa de la vertiente del Pacífico ese parámetro varía entre los 100 y 120 días, las zonas correspondientes a la vertiente del Atlántico oscilan entre los 100 y los 200 días.

Comparando los totales de precipitación y el total de días de lluvia para estas dos vertientes y dado que no hay mayor variación en cuanto a cantidades y que la diferencia en días de lluvia es grande se infiere que en la vertiente del Pacífico son más frecuentes las lluvias de tipo chubasco y para la vertiente del Atlántico las lluvias tienden a ser más prolongadas y de menor intensidad.

V.5 ISOHIGRAS ANUALES

Las isolíneas que representan cantidades de igual porcentaje de humedad relativa tienen una variación que va del 60 o/o al 85 o/o notándose una correlación estrecha entre las cantidades de lluvia y este porcentaje. Así, para las zonas de escasas precipitaciones la humedad relativa oscila entre 60 o/o y 70 o/o y para las zonas lluviosas de 70 o/o a 85 o/o.

La región del altiplano acusa un promedio de humedad relativa mayor del 75 o/o que se debe a la condensación del vapor de agua por las temperaturas frías que se registran, situación que también contribuye a que el techo de las nubes baje a ras de tierra, dando como resultado condiciones de alta humedad, especialmente durante las mañanas y las tardes.

Para los climas cálidos y lluviosos las humedades altas que se observan se deben especialmente a las grandes cantidades de evaporación que aporta el suelo y los depósitos de agua, así como la transpiración de la masa vegetal cuyas características son exuberantes.

A continuación se dan los criterios establecidos por Thornthwaite respecto al porcentaje de humedad relativa.

TERMINO	o/o HUMEDAD
Muy húmedo	70 a 90
Húmedo	65 a 90
Semi - seco	40 a 65
Seco	25 a 40
Muy seco	25

Según esta clasificación, la Región V cuenta con climas húmedos y semisecos.

V.6 EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Existe un gran número de métodos para determinar los valores de evapotranspiración potencial, requiriéndose en algunos casos instrumentos con los que no se cuenta en nuestro medio y para otros una gran cantidad de datos meteorológicos que pocas estaciones pueden proporcionar.

Por estas circunstancias, los métodos que se pueden aplicar para poder utilizar los datos meteorológicos disponibles se reducen a dos: el de Thornthwaite y el de Blaney y Cridle; el primero utiliza datos de temperatura media mensual y el o/o de insolación. De acuerdo a Gustavo A. Búcaro (4), el método de Thornthwaite es aplicable a la mayor diversidad de climas, en cambio el método de Blaney y Cridle es más adecuado para climas cálidos muy secos (El Progreso). Por esta razón, para calcular los valores de evapotranspiración de la Región V se escogió el método de Thornthwaite.

Ya se expuso que el método escogido utiliza como dato de entrada los valores de la temperatura media mensual, por lo tanto, se establece una correlación grande entre la temperatura media y la evapotranspiración así como también con la altitud.

El mapa de isolíneas de evapotranspiración potencial anual muestra una distribución de las mismas que oscila entre 700 y 1,200 mm., siendo mayor la E.P.T. en los sitios que tienen mayor temperatura; los valores más altos de E.P.T. se registran en el Depto. de El Progreso y los menores a la zona que comprende las partes de mayor altitud del altiplano.

Si se consideran las isoyetas anuales y las isolíneas de E.P.T. anuales, se pueden dar ciertos criterios en cuanto a las áreas, déficits y excesos. Por supuesto, para dar criterios exactos sobre esta situación es necesario aplicar métodos de cálculo de balance hídrico, datos que no fueron computados para el presente estudio. Por lo tanto, las apreciaciones que se darán sobre este particular son muy generales y toman en cuenta únicamente las isoyetas e isolíneas de evapotranspiración potencial no considerando parámetros que influyen en este aspecto como lo son el tipo de cultivo y el tipo de suelo.

En términos generales se pueden separar dos áreas con distintas condiciones, una que acusa déficit y otra de excesos.

Las áreas que acusan déficit son las que se localizan en el departamento de El Progreso, parte de Baja Verapaz, los municipios de Joyabaj y Zacualpa del Depto. de El Quiché, altiplano de Chimaltenango, los valles de Guatemala, Morán, Villa Nueva y Amatitlán, difiriendo cada sitio en cuanto a su magnitud; la zona de mayor déficit se localiza en el Depto. de El Progreso. Por otro lado, las áreas que acusan exceso de humedad son las tierras bajas

de Baja Verapaz y las montañas de ese mismo departamento de Chimaltenango y la parte montañosa que está al este del valle de Guatemala que incluye Sta. Cruz Barrillas y San José Pinula. Si se compara el área que se considera déficit y la de exceso, se observa que el área que comprende la primera cubre más del 65 o/o del total de la Región V.

El criterio de déficit y excesos es más valedero si el mismo se evalúa para la época seca que es cuando, dada la poca cantidad que es aportado por la lluvia se hace necesaria para una explotación racional, la implantación de sistemas de riego. Así al observar las respectivas isolíneas de precipitación y E.P.T. se observa que hay un déficit generalizado para toda la región, sin embargo, la magnitud de este déficit es de diversa índole.

El área nor-oriental es la que registra el déficit más grande, siendo el mismo del orden de los 500 mm., las zonas que le siguen son las tierras que comprende San Jerónimo, Salamá y los municipios de El Quiché que están incluidos en la Región V.

Para los valles de Guatemala y alrededores el déficit es menor, entre 100 y 150 mm., las áreas que registran menor déficit son las que se han descrito como lluviosas, por ejemplo boca costa de Chimaltenango, tierras bajas de Baja Verapaz y montaña del este del valle de Guatemala.

Para la época lluviosa la relación que se establece entre la precipitación y la evapotranspiración potencial es de excesos generalizados, así para las áreas lluviosas del norte las diferencias son del orden de 1,400 a 500, para las del sur 1,800- 700 mm., para San José Pinula 800 - 1,300, para el valle de Guatemala, Villa Nueva, Amatitlán, el exceso es del orden de los 500 mm., los excesos para las zonas secas van desde los 300 mm. hasta casi equilibrarse para las zonas más secas de El Progreso. Por otro lado,

resulta interesante comparar las isolíneas de E.P.T. para la época seca y la lluviosa, ya que se observa que los valores de E.P.T. son mayores para la época lluviosa que para la seca, aspecto que tiende a creerse debería ser a la inversa.

La explicación de esta situación puede darse tomando en cuenta que si bien es cierto en la época seca se dan los meses más calurosos este período también comprende los meses fríos de Noviembre, Diciembre y Enero. Por lo tanto, como la E.P.T. está calculada en función de la temperatura se infiere que en total se recibe más energía calórica en la época lluviosa que en la seca.

V.7 ISOTERMAS MEDIAS ANUALES

Para el trazo de las isotermas anuales se usó una metodología un tanto diferente que la utilizada para los otros mapas, ya que se combinaron los datos de temperatura media y el gradiente térmico vertical. Para esto se hizo necesario calcular la ecuación para determinar dicho gradiente y hacer las correspondientes relaciones altitudinales. Por lo tanto, el trazo se hizo en porcentaje muy alto sobre las líneas hipsométricas correspondientes a cada piso altitudinal.

Al respecto del gradiente térmico, se observó que existe diferencia si el mismo se estima para la vertiente del Atlántico o la del Pacífico, encontrándose que para similares altitudes la temperatura es más fresca en la vertiente del Atlántico que la del Pacífico. La posible explicación a esta situación se puede dar en base a la consideración de la influencia de los vientos Alisios que soplan directamente sobre dicha vertiente, dado que la topografía que se tiene en la Región V es muy variable. También la temperatura lo es, observándose valores que van desde los 12

hasta los 24 grados centígrados.

V.8 CLIMA DE LA REGION SEGUN LA TEMPERATURA MEDIA ESTACIONAL

Términos de la clasificación de Thornthwaite:

TERMINO	°C
Cálido	23.9
Semi-cálido	18.7 a 23.9
Templado	14.9 a 18.7
Semi-frío	11.8 a 14.9
Frío	6.0 a 11.8
Taiga	0.2 a 6.0
Tundra	0.2 a 2.9

De acuerdo a la clasificación del Dr. Thornthwaite, la Región V cuenta con los siguientes climas: cálido, que constituye el área más pequeña y se encuentra localizada en el Depto. de El Progreso; semi-cálido, es el área más extensa y cubre parte de los Deptos. de El Progreso, Baja Verapaz, Guatemala; templado, que está distribuido en varias porciones localizadas en la zona montañosa y el altiplano occidental, la misma cubre parte de los Deptos. de Guatemala y Sacatepéquez, y en la zona norte de las montañas de Baja Verapaz; semi-frío, que ocupa áreas reducidas localizadas en los volcanes del Depto. Sacatepéquez y montañas altas de Chimaltenango.

Respecto a las diferencias a lo largo del año de la temperatura media se tiene una situación generalizada para toda la región así los valores máximos se observan en los meses de Marzo, Abril y Mayo y los mínimos en Noviem-

bre, Diciembre, Enero y Febrero.

V.9 MAPA DE MINIMAS MEDIAS ABSOLUTAS

Es un hecho que las temperaturas mínimas absolutas causan pérdidas a la agricultura, afectando a las especies adaptadas, a climas como los templados y semi-fríos, donde ocurre este fenómeno con más drasticidad, por lo que se hace necesario delimitar la zona donde dichas temperaturas tienden a observar valores críticos.

Las especies que por la constitución de sus tejidos son más susceptibles a sufrir daños por efecto de las heladas son la papa, maíz, frijol, hortaliza, trigo, flores y fresa. También ciertas áreas de Sacatepéquez y Chimaltenango se han reportado daños en el café a pesar de ser una especie perenne es susceptible a temperaturas bajas, los frutales, especialmente manzana, durazno, pera y guinda se encuentran cultivados en zonas donde ocurre el fenómeno pero éstas tienden a manifestar una mayor tolerancia, sin embargo, cuando las temperaturas mínimas alcanzan valores muy bajos pueden sufrir daños.

El período de mayor frecuencia en la ocurrencia de heladas comprende los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, razón por la cual se trazaron las isotermas de dichos meses, seleccionándose para su trazo un gradiente de 1°C .

Del análisis de los cuatro meses considerados se pueden inferir los siguientes aspectos:

El rango de variación oscila entre los 9 y 1°C localizándose núcleos bien definido en los que se dan los valores más bajos. Su ubicación es en las tierras de Chimaltenango y Sacatepéquez así como las montañas situadas al nor-este de Salamá.

Según los valores que alcanzan estos núcleos, los de la vertiente del Atlántico manifiestan temperaturas absolutas más bajas, observándose para los cuatro meses núcleos de 1°C, en la vertiente del Pacífico los valores de mínimas absolutas son más altos pero hay que tomar en cuenta que esta comparación se efectúa para sitios con similar altitud.

Por carencia de registros no se pudo determinar las temperaturas mínimas de altitudes mayores de 2,360, siendo lógico que para mayores altitudes las temperaturas mínimas tienen que ser menores y hay que notar que las montañas de la vertiente del Pacífico son de mayor altitud que las del Atlántico.

Por lo anteriormente expuesto se puede inferir que para sitios de similar altitud las temperaturas mínimas absolutas son menores en la vertiente del Atlántico que en las del Pacífico. Pero en la vertiente del Pacífico se observan temperaturas absolutas más bajas por tener sitios con mayor altitud.

El área sujeta a este tipo de fenómeno es mayor en la vertiente del Pacífico que la del Atlántico. Tomando en cuenta las diferencias de altitud en la vertiente del Pacífico se pueden dar temperaturas mínimas bajo cero, especialmente en los conos volcánicos.

Analizando lo referente a la secuencia de ocurrencia de heladas se puede observar que los meses más fríos son los de Diciembre y Enero., pudiendo ocurrir los valores mínimos a lo largo de todo el mes. En el mes de Noviembre se empiezan a sentir los efectos de los frentes fríos que se trasladan de norte a sur y hacen descender la temperatura. Para el mes de Febrero se deberá considerar que los primeros 15 días son los más propensos a que se observen mínimas absolutas bajas.

Se considera que las bajas temperaturas que se observan en los meses considerados se deben principalmente a las masas de los frentes fríos, a la menor cantidad de energía solar que se recibe debido al ángulo de incidencia de los rayos del sol y la ocurrencia de lluvias acompañadas de granizo; éste fenómeno no es frecuente para el período Noviembre-Febrero, manifestándose preferentemente en la época lluviosa, los daños que suele causar las granizadas se deben al descenso de la temperatura y al deterioro del follaje por el impacto de los pedriscos.

La hora de ocurrencia de las temperaturas mínimas es entre las 4 y las 7 de la mañana, ocasionalmente pueden ocurrir estas temperaturas en las primeras horas de la noche pero estadísticamente la frecuencia es mayor durante las primeras horas de la mañana.

VI. ASPECTOS GENERALES

Conviene discutir ciertos aspectos relativos a la información climatológica que se utilizó para este estudio así como la finalidad que se persigue del resultado del mismo.

Respecto al primer aspecto, la Organización Meteorológica Mundial ha establecido 30 años como período óptimo para considerar valores normales los registros de una estación meteorológica. De las estaciones seleccionadas muy pocas llenaban este requisito así que para adecuarse la información disponible se tomó como base un período de 10 años pero aún así para ciertas áreas que cuentan con datos meteorológicos insuficientes se tomaron estaciones con menos de 10 años.

Se tiene establecido que mientras menos años de registro tenga una estación mayor será la desviación de los valores normales, por lo tanto, al seleccionar estaciones que

contaban con pocos años de registro se chequearon las desviaciones aplicando un factor de corrección que toma como base el método de mínimos cuadrados. Esto con el objeto de estandarizar el período de registro y aumentar la confiabilidad de los datos.

Se mencionó en el Capítulo II que el objetivo de este estudio es aportar información climatológica para fines de planificación del Plan Nacional de Desarrollo Agrícola 1975-78. Sin embargo, dado el tipo de datos que se presentan, éstos pueden ser de múltiples usos, así pueden servir de base para estudios hidrológicos, para planificación de obras de infraestructura, salubridad, etc., etc.

Por otro lado, se mencionó que el presente trabajo se realizó dentro del marco de un estudio integral a nivel regional que tomó como área piloto la Región V para posteriormente aplicar similar metodología a las otras regiones contempladas en la regionalización agrícola de DIGESA. Dicho estudio persigue levantar un inventario de toda la información disponible sobre los recursos agrícolas con el fin de determinar su potencial y encauzarlo hacia la producción integral nacional en armonía con el plan de desarrollo agrícola 1975-78.

Los datos a recolectar comprenden aspectos biofísicos, socio-económicos, programas y proyectos en ejecución, organizaciones económicas y sociales e infraestructura.

Dentro de los aspectos biofísicos están contemplados los climatológicos con el objeto de analizarlos y aplicarlos en relación con los cultivos, en otras palabras, se persigue llegar a una clasificación de tipo agroclimático. Por lo tanto, el presente trabajo cubre una base para llegar a tal fin.

Por disposiciones de autoridades del Ministerio de Agricultura la coordinación para la realización del mencionado

estudio integral, que estaba a cargo de la Unidad Sectorial de Planificación Agrícola dejó de serlo, y por lo tanto el trabajo no fue concluido.

Esta disposición es criticable por cuanto los alcances y utilidad de un estudio de esta naturaleza son de gran valía para trabajar sobre una base sólida que permita aplicar criterios técnicos bien fundamentados, evitando así el empirismo o improvisación tan común en nuestro medio y que trae como consecuencia fracasos en programas y políticas de desarrollo agrícola.

VII. CONCLUSIONES

1. La atmósfera es un recurso y como tal su estudio y evaluación es un aspecto necesario para contar con un conocimiento adecuado de las condiciones atmosféricas imperantes en las distintas condiciones climáticas de de nuestro país.
2. El tiempo atmosférico y el clima son factores determinantes en la producción agrícola y por lo tanto su consideración es obligada tanto para fines de planificación como a nivel de unidades de explotación agrícola.
3. Para el caso específico del sector agrícola, el presente estudio constituye únicamente una etapa para llegar a definir un instrumento de mayor aplicabilidad como lo es una clasificación agroclimática.
4. La consideración del recurso climático ofrece grandes posibilidades para contribuir al incremento de la producción de alimentos.
5. La aplicación y utilización de los datos meteorológicos con fines agrícolas es muy limitada.
6. Al analizar las diferentes isolíneas de que consta el trabajo se puede inferir que existe una gran variabilidad climática, ya que las condiciones térmicas varían de cálidas a semi-frías y en cuanto a jerarquías de humedad desde muy húmedo a muy seco. Dicha variabilidad permite explotar una gama amplia de cultivos.
7. De acuerdo a la relación que se establece entre la evapotranspiración potencial y las precipitaciones se tiene un porcentaje considerable de áreas que acusan un déficit anual de humedad bastante grande.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Aprovechar al máximo la información meteorológica disponible, ya que en la actualidad no se le está prestando la atención que debe dársele como instrumento básico para fines de planificación.
2. Reforzar la red nacional de estaciones meteorológicas con la habilitación de estaciones de índole agrometeorológica localizadas en las áreas de mayor potencial agrícola.
3. Que el Ministerio de Agricultura apoye las acciones que la Unidad Sectorial de Planificación Agrícola había planificado para realizar el estudio integral de las regiones agrícolas del Plan Nacional de Desarrollo Agrícola 1975-1978.
4. Que se aproveche la información climática que proporciona el presente estudio para que sirva de base para clasificaciones de tipo agroclimático.
5. Que se realicen estudios tendientes a determinar las relaciones entre el tiempo atmosférico y el desarrollo de las plantas.
6. Que se aplique la metodología empleada en el presente estudio a otras áreas o regiones agrícolas.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. BASSO, EDUARDO. Medidas de Evaporación. Costa Rica, Proyecto de Mejoramiento Hidrometeorológico Centroamericano. Publicación No. 19, 1967.
2. BUCARO G., GUSTAVO A. Algunas consideraciones sobre los vientos, temas agrícolas No. 76. Guatemala, Ministerio de Agricultura, 1972.
3. BUCARO G., GUSTAVO A. Climas de Guatemala. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Dirección de Enseñanza y Capacitación Agrícola. 1974, Hojas mimeografiadas.
4. BUCARO G., GUSTAVO A. Determinación de Evapotranspiración Potencial y Balance Hídrico en base a datos climáticos. Guatemala, Facultad de Agronomía, USAC, 1973. 87 p. (Tesis Ing. Agr.).
5. GONZALEZ C., RAFAEL. La Meteorología y su Importancia para el Ingeniero, aplicación al Valle de Asunción Mita. Guatemala, Facultad de Ingeniería, USAC, 1973. 121 p. (tesis Ing. Civil).
6. GUATEMALA, MISION SIECA/UNCTAD. Programa de Desarrollo Agrícola, integrado durante la década de 1970, Secretaría Permanente del Tratado de Integración Económica. Guatemala, 1972.
7. HOLDRIDGE, LESLIE R. Zonificación Ecológica de Guatemala. Extracto redactado por el Ing. Agr. José Ramírez Bermudez. En: Rev. Anacafé (Guatemala) No. 106: p.p. 13-21. 1971.

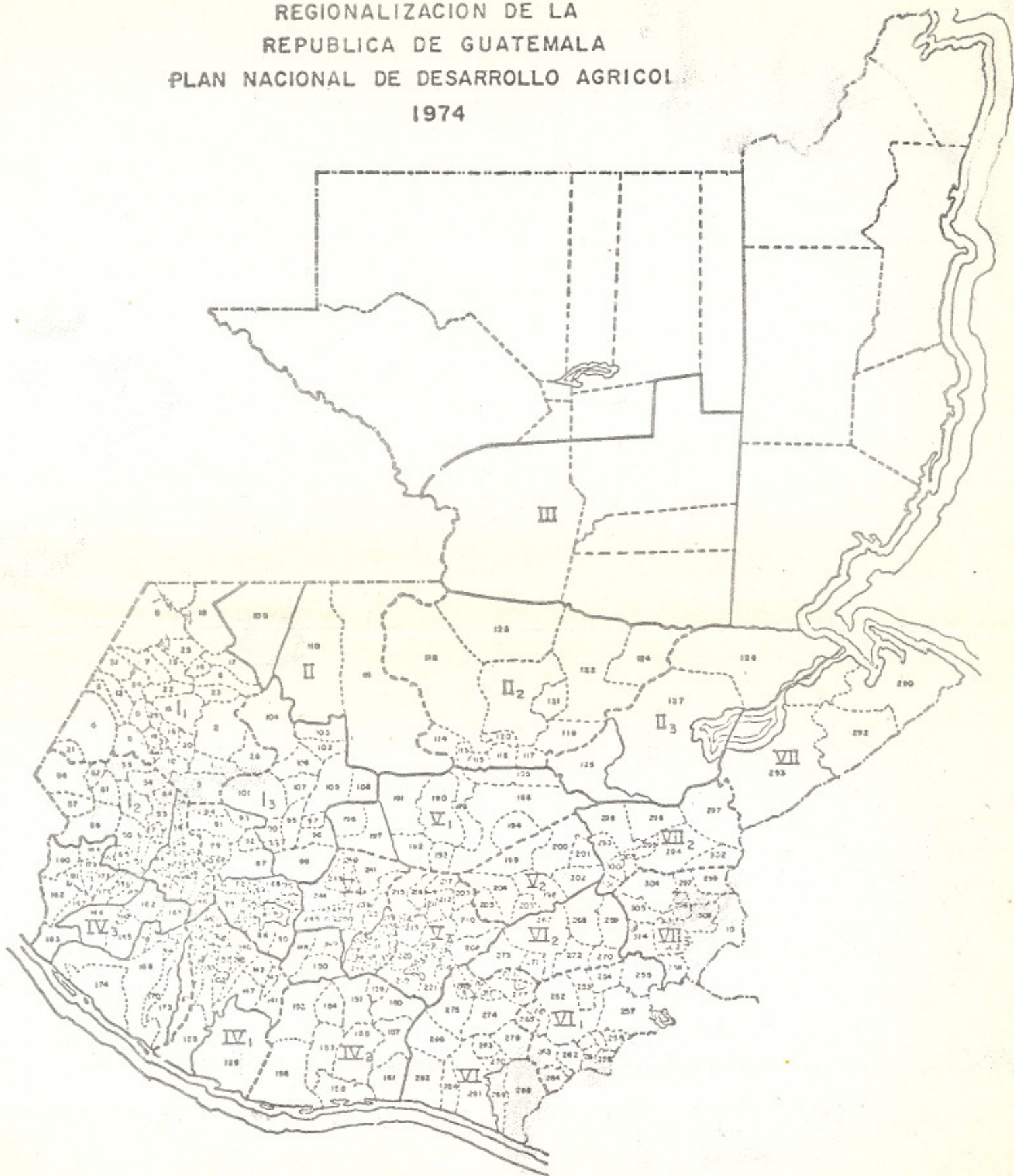
8. JAGSICH, JUAN. Meteorología Física. Buenos Aires, Editorial Kapeluz, 1954.
9. LOPEZ G., EDUARDO R. Meteorología, Factores de su Desarrollo. Guatemala, Facultad de Ingeniería, USAC, 1972. 81 p. (Tesis Ing. Civil).
10. MARTINEZ, IGNACIO. Notas sobre Hidrometeorología. San José, Costa Rica, Informe No. 37 del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, Septiembre de 1971.
11. MORAN BURGOS, BRAULIO. Regionalización Agrícola de Guatemala. Guatemala, Consejo Nacional de Planificación Económica, 1970.
12. OBIOLS DEL CID, RICARDO. Clasificación Preliminar de Climas en la República de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ingeniería, USAC, 1966. 88 p. (Tesis Ing. Civil).
13. OFFMEISTER, J. Meteorología y Climatología. Barcelona, Editorial Labor, 1967. p.p. 21-36.
14. RAMIREZ BERMUDEZ, JOSE. Regionalización Agrícola de Guatemala. Temario para el curso Genética. Guatemala, Instituto Técnico de Agricultura. 1974.
15. TANNEILL, IVAN RAY. Los Climas en la Tierra y el Mar. Buenos Aires, Argentina, Editorial Pleamar, 1949, 199 p.
16. VASAUX PALOMO, JOSE, Calor y Temperatura. Guatemala, Ministerio de Agricultura, Dirección de Enseñanza y Capacitación Agrícola, 1974, (hojas mimeografiadas).

Vo.Bo.

PALMIRA R. DE QUAN
Bibliotecaria

X. APENDICE

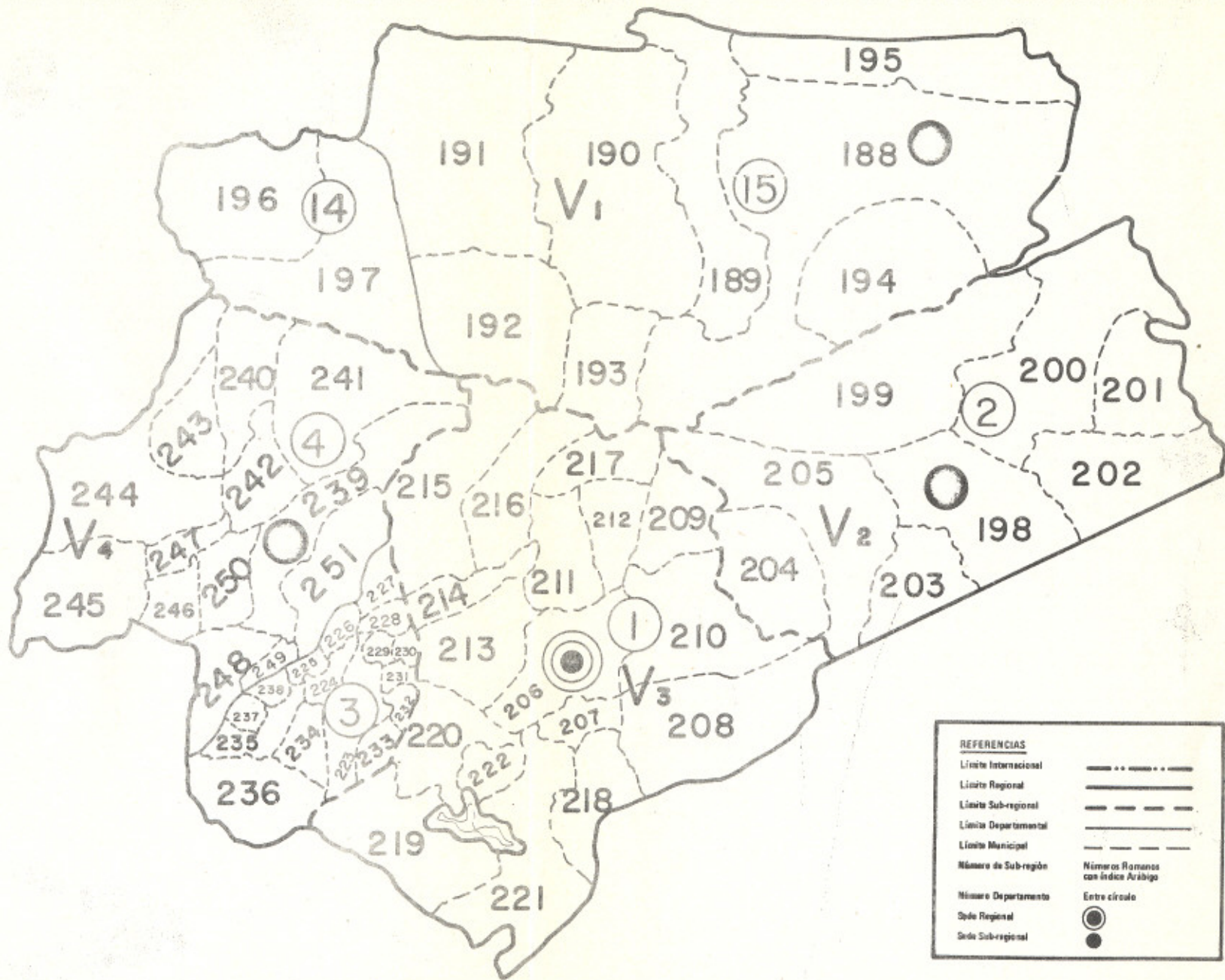
REGIONALIZACION DE LA
REPUBLICA DE GUATEMALA
PLAN NACIONAL DE DESARROLLO AGRICOL
1974



MAPA REGION V

SUBREGION V - 1

- 15 BAJA VERAPAZ
- 188 Saland
- 190 San Miguel Chet
- 196 Rabinal
- 197 Cobán
- 192 Guastamán
- 193 El Chel
- 194 San Jerónimo
- 195 Parícuti
- 14 EL QUICHE
- 190 Zuculá
- 197 Joyabaj
- SUBREGION V - 2
- 1 EL PROGRESO
- 198 El Progreso
- 199 Miraflores
- 200 San Agustín Acasagottán
- 201 San Cristóbal Acatépan
- 202 El Itz'at
- 203 Soles
- 204 Semonté
- 205 San Antonio La Paz
- SUBREGION V - 3
- 1 GUATEMALA
- 206 Guatemala
- 207 Santa Catalina Peñas
- 208 San José Peñas
- 209 San José El Golfo
- 210 Patzún
- 211 Chisec
- 212 San Pedro Ayampar
- 213 Milco
- 214 San Pedro Sacatepéquez
- 215 San Juan Sacatepéquez
- 216 San Percecillo
- 217 Chocoma
- 218 Fraymas
- 219 Amatitlán
- 220 Villa Nueva
- 221 Villa Canales
- 222 Patzún
- 223 Santiago Guatemala
- 224 Jeronimo
- 225 Patzún
- 226 Semonté
- 227 Santa Cruz Quetzal
- 228 Santiago Sacatepéquez
- 229 San Bartolomé Milco Alto
- 230 San Lucas Sacatepéquez
- 231 Santa Lucía Milco Alto
- 232 Huehuetenango Milco Alto
- 233 Santa María de Jesús
- 234 Ciudad Vieja
- 235 San Miguel Doolán
- 236 Alotenango
- 237 San Antonio Aguacatalán
- 238 Santa Catalina Barrios
- 239 OMBALTERANGO
- 240 Chisec
- 241 San José Pipil
- 242 San Martín Jilotepeque
- 243 Cochole
- 244 Santa Apolonia
- 245 Yajaj
- 246 Patzún
- 247 San Pedro Sacatepéquez
- 248 San Juan Sacatepéquez
- 249 San Andrés Itz'at
- 250 Patzún
- 251 Patzún
- 252 Patzún
- 253 Patzún
- 254 Patzún
- 255 Patzún
- 256 Patzún
- 257 Patzún
- 258 Patzún
- 259 Patzún
- 260 Patzún



REFERENCIAS

- Límite Internacional: - - - - -
- Límite Regional: ————
- Límite Sub-regional: - - - - -
- Límite Departamental: - - - - -
- Límite Municipal: - - - - -
- Número de Sub-región: **Números Romanos con Índice Árabe**
- Número Departamental: **Entre círculo**
- Opón Regional: ●
- Sede Sub-regional: ●

MAPA DE LOCALIZACION DE ESTACIONES

METEOROLOGICAS

REGION V

ESCALA

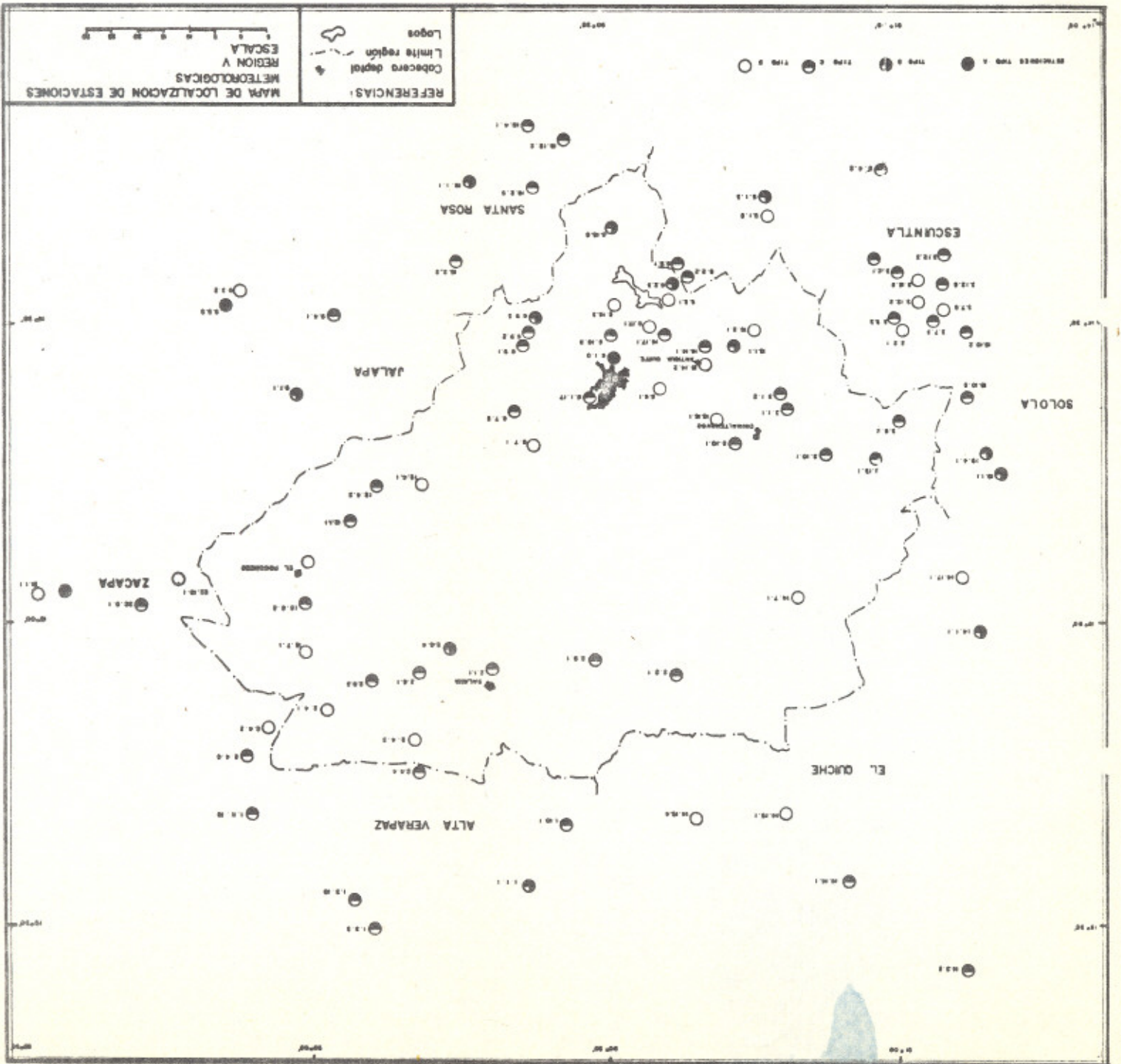


REFERENCIAS:

Cabezas de distrito

Limite region

Logos



ALTA VERAPAZ

CLAVE	NOMBRE	LATITUD	LONG.	ELEV.	AÑOS REG.
1.1.1	Sub-Est. Cobán	15°28'07"	90°22'90"	1316.91	1947-52
1.3.10	Xicacao	15°29'34"	90°04'50"	963	1930-62
1.10.1	Zona Vial 7	15°22'17"	90°26'20"	1409	1960
1.11.10	Moca	15°21'	89°54'	1040	1911

BAJA VERAPAZ

2.6.4	San Jerónimo	15°03'40"	90°14'00"	979	1961
2.1.1	Salamá	15°06'05"	90°19'17"	960	1938-65
2.2.1	Cubulco	15°06'19"	90°37'40"	1000	1957-63
2.4.4	Vega Larga	15°16'30"	90°11'18"	1520	1959-63
2.4.6	Fca. Westafalia	15°14'39"	89°53'42"	640	1934-49
2.5.1	Rabinal	15°05'07"	90°29'31"	977	1958-62
2.6.1	Matanzas	15°06'11"	90°11'29"	1510	1958-66
2.6.3	Chilascó	15°06'11"	90°06'05"	1860	1959
2.4.1	Jalaute	15°10'15"	90°01'49"	729	1934-49
2.4.2	Fca. Monte Blanco	15°12'06"	89°56'03"	1000	1934-49
2.4.3	La Ciruela	15°14'07"	90°15'04"	1570	1954-59

CHIMALTENANGO

3.1.1	Chimaltenango	14°39'36"	90°49'10"	1973	1934-39
3.1.2	Est. Experimental	14°38'02"	90°42'12"	1776	1967
3.3.3	Sta. Margarita	14°30'21"	90°00'34"	1100	1935-53
3.6.2	S. Antonio Pani- quín	14°36'00"	91°05'50"	1500	1937-40
3.7.3	El retiro	14°30'10"	91°06'00"	1000	1946-62
3.10.1	Comalapa	14°43'49"	90°53'13"	2038	1960
3.12.1	Fca. Argentina	14°25'50"	91°00'51"	840	1961-63
3.12.3	La Ceiba	14°24'07"	91°05'38"	520	1941-46
3.12.5	Morelia	14°25'15"	90°56'58"	900	1909-63
3.12.6	Peña Plata	14°27'05"	91°05'20"	620	1947
1.13.1	Vista Bella	14°44'32"	90°58'22"	2360	1964
3.2.1	Las Delicias	14°31'32"	91°01'12"	1000	1929
3.7.6	Mirandilla	14°29'35"	91°05'25"	720	1958

CLAVE	NOMBRE	CHIMALTENANGO (continúa)			AÑOS REG.
		LATITUD	LONG.	ELEV.	
3.12.2	Panajabal	14°28'55"	91°02'40"	940	1934-57
3.12.8	S.Rafael Sumatan	14°26'14"	91°02'55"	820	1935-46

ESCUINTLA

5.1.1	Escuintla	14°18'00"	90°47'10"	346	1934-40
5.4.2	Silos INFOP	14°15'07"	90°57'29"	225	1958-59
5.9.1	S.Vicente Pacaya	14°24'51"	90°38'05"	1520	1960-61
5.1.5	Concepción	14°19'54"	90°47'09"	425	1934-53

GUATEMALA

6.1.0	Observat. Nac.	14°35'11"	90°31'58"	1502	1928
6.2.3	Jardín Mil Flores	14°27'25"	90°37'43"	1189	1967
6.9.3	La Soledad	14°30'29"	90°23'30"	1650	1968
6.16.6	Potrero Largo	14°21'11"	90°31'40"	1120	1967
6.2.2	San Bernardo	14°26'18"	90°33'51"	1210	1955
6.7.2	Palencia	14°40'04"	90°21'25"	1344	1958-63
6.9.1	Agua Tibia	14°32'49"	90°22'08"	1700	1927-56
6.9.2	S.Ant.Las Vert.	14°31'39"	90°23'15"	1705	1966
6.10.1	Experim.Jucap	14°43'00"	90°39'00"	1845	1962-64
6.16.3	S.Agustin Las M.	14°31'50"	90°31'12"	1300	1957
6.17.1	Bárceñas	14°31'05"	90°37'03"	1450	1960
6.1.17	Guat.Florinda	14°38'12"	90°29'35"	1470	1967
6.2.1	Amatílán	14°26'57"	90°36'30"	1158	1940
6.6.1	Mixco	14°37'46"	90°36'23"	1692	1943-44
6.7.1	El Fiscal	14°43'06"	90°23'36"	1124	1934ç
6.16.3	Morán	14°30'51"	90°33'02"	1250	1967
6.17.1	Villa Nueva	14°41'30"	90°25'18"	1420	1941

CLAVE	NOMBRE	JALAPA		ELEV.	AÑOS REG.
		LATITUD	LONG.		
9.3.3	La Ceibita	14 ⁰ 29'07"	89 ⁰ 53'10"	1000	1964
9.1.1	Jalapa	14 ⁰ 38'	89 ⁰ 59'	1362	1962-64
9.4.1	Agro Santiago	14 ⁰ 30'	90 ⁰ 07'	1700	1958
9.3.2	Lag. del Hoyo	14 ⁰ 27'52"	89 ⁰ 53'00"	961	1962-65

EL PROGRESO

12.1.1	El Progreso	14 ⁰ 51'18"	90 ⁰ 04'12"	516	
12.4.2	Sanarate IAN	14 ⁰ 47'13"	90 ⁰ 11'55"	860	1956
12.6.1	El Rancho	14 ⁰ 55'00"	90 ⁰ 00'27"	274	1935
12.6.2	Los Bálsamos	14 ⁰ 59'00"	89 ⁰ 55'00"	1270	1935-39
12.4.1	Sanarate Fegua	14 ⁰ 47'02"	90 ⁰ 12'11"	812	1934
12.7.1	Santa Luisa	15 ⁰ 04'	90 ⁰ 00'	2600	1962

EL QUICHE

14.1.1	Sta.Cruz del Q.	15 ⁰ 01'41"	91 ⁰ 08'37"	2000	1960-63
14.3.2	La Perla	15 ⁰ 36'54"	91 ⁰ 06'90"	1280	1964
14.14.1	San Francisco	15 ⁰ 27'31"	90 ⁰ 54'40"	1545	1952
14.7.1	Chuacorrall	14 ⁰ 38'46"	90 ⁰ 50'40"	2145	1952-60
14.15.1	Dolores Chican	15 ⁰ 20'45"	90 ⁰ 48'04"	1410	1954-56
14.15.1	Chixoy	15 ⁰ 21'32"	90 ⁰ 39'38"	1100	1965-68
14.17.1	Chichicastenango	15 ⁰ 56'51"	91 ⁰ 06'44"	2070	1945-47

SACATEPEQUEZ

16.1.1	Antigua Guate.	14 ⁰ 33'20"	90 ⁰ 43'54"	1530	1934
16.14.1	Florencia	14 ⁰ 33'31"	90 ⁰ 40'58"	1980	1933
16.2.1	El Potrero	14 ⁰ 31'43"	90 ⁰ 45'59"	1518	1910
16.4.2	San Joaquín	14 ⁰ 33'10"	90 ⁰ 40'09"	1980	1967
16.16.1	St.Domingo Xenacoj	14 ⁰ 40'46"	90 ⁰ 42'08"	1850	1953-54

SANTA ROSA

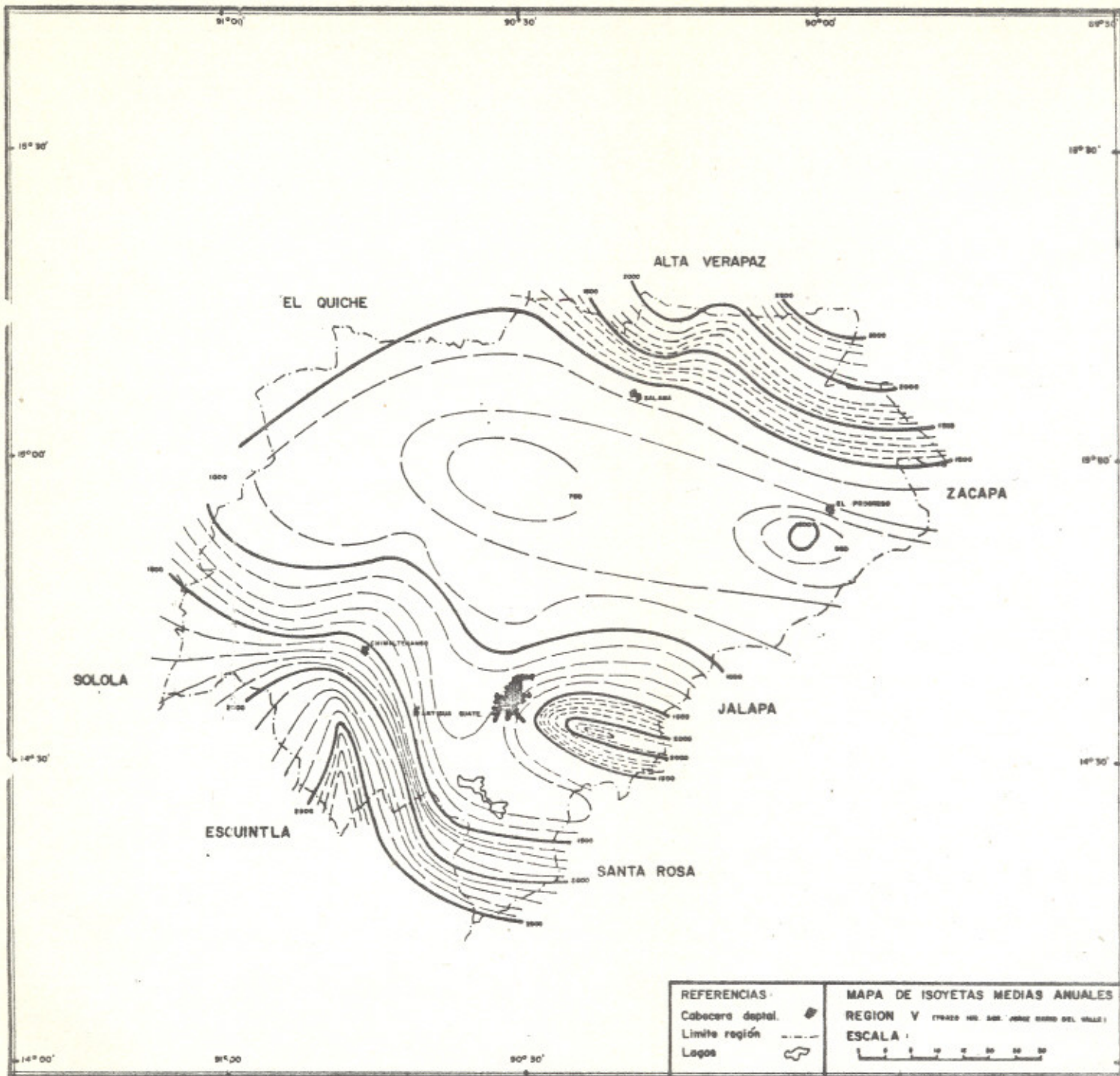
CLAVE	NOMBRE	LATITUD	LONG.	ELEV.	AÑOS
					REG.
18.1.1	Cuilapa	14°16'41"	90°18'00"	893	1943-44
18.2.2	El Valle	14°24'28"	90°15'23"	1050	1952-59
18.2.5	Esperanza	14°16'52"	90°23'23"	1100	1964
18.4.1	La Morena	14°10'47"	90°22'48"	740	1935
18.12.2	La Gloria	14°07'00"	90°17'00"	980	1942-65

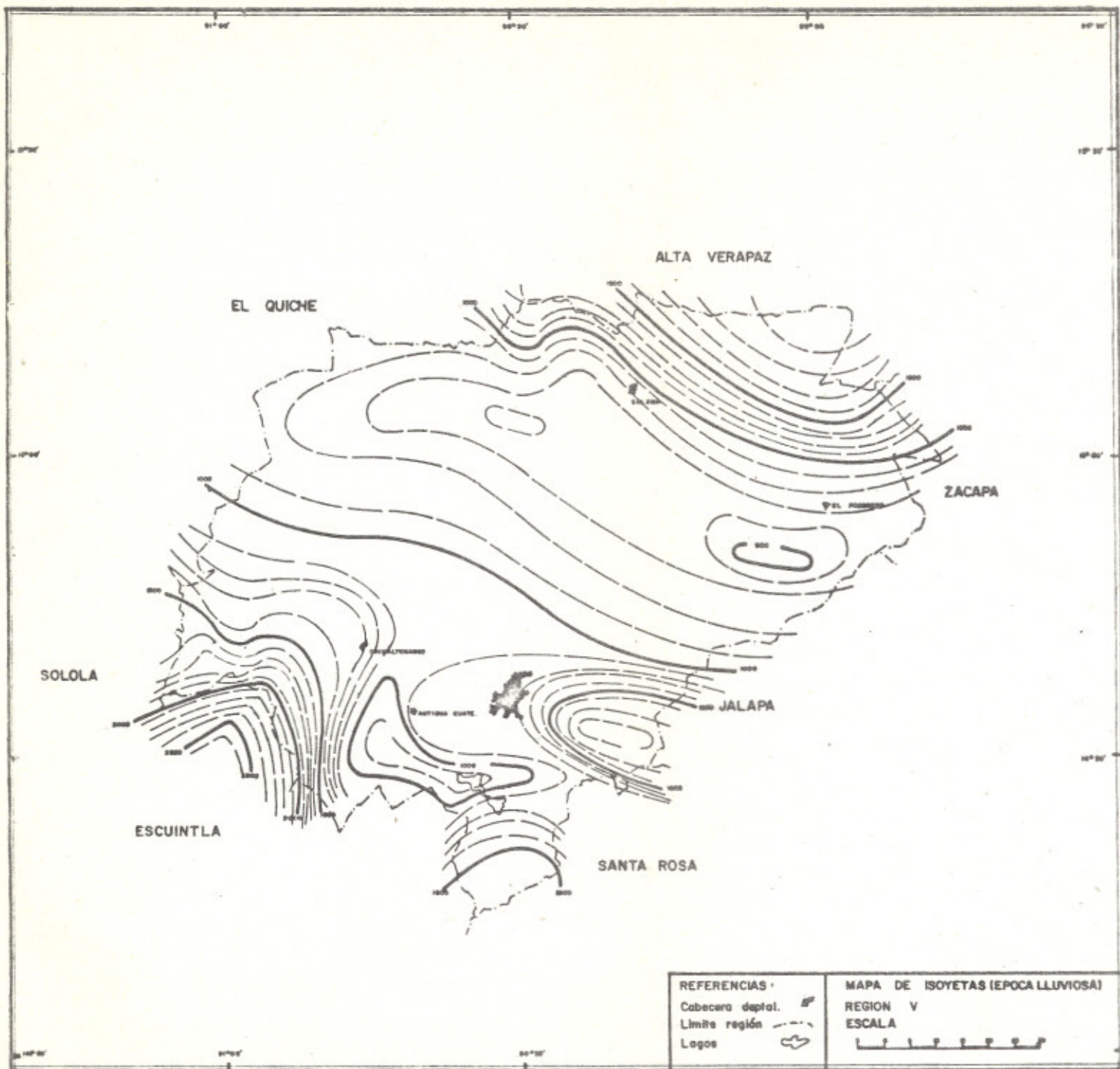
SOLOLA

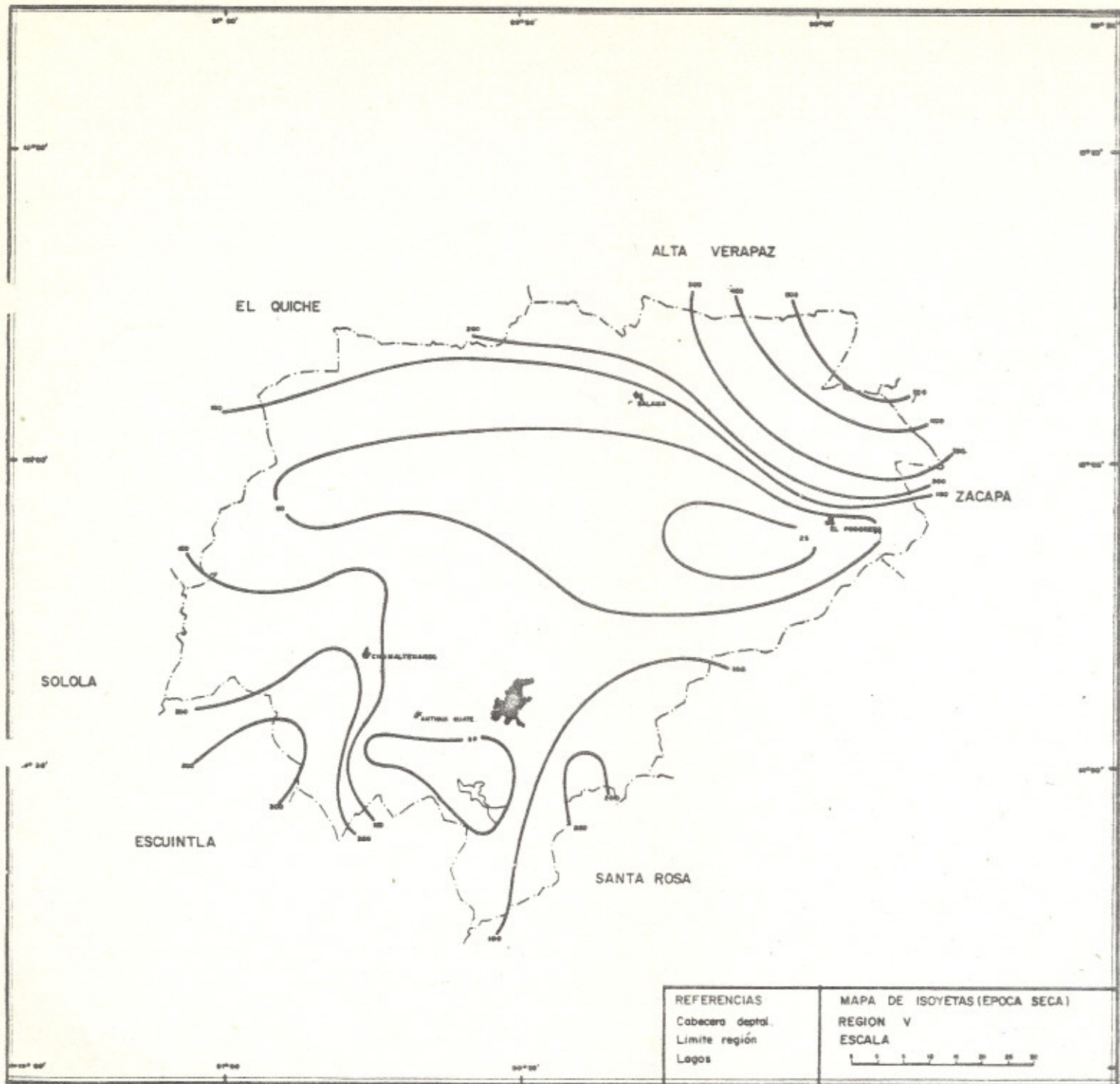
19.1.1	Sololá	14°46'10"	91°11'00"	2113	1938-46
19.4.4	Panajachel	14°44'12"	91°09'38"	1564	1956-62
19.10.2	Sta. Cruz Quixaja	14°31'50"	91°07'38"	820	1945
19.10.5	Planta INDE				

ZACAPA

22.3.1	La Fragua	14°57'51"	89°31'04"	210	1955-59
22.9.1	Teculután	14°59'15"	89°43'06"	247	1957-65
22.1.1	Zacapa	14°65'48"	89°46'36"	184	1934
22.10.1	Uzumatlán	14°65'48"	89°46'36"	250	1967

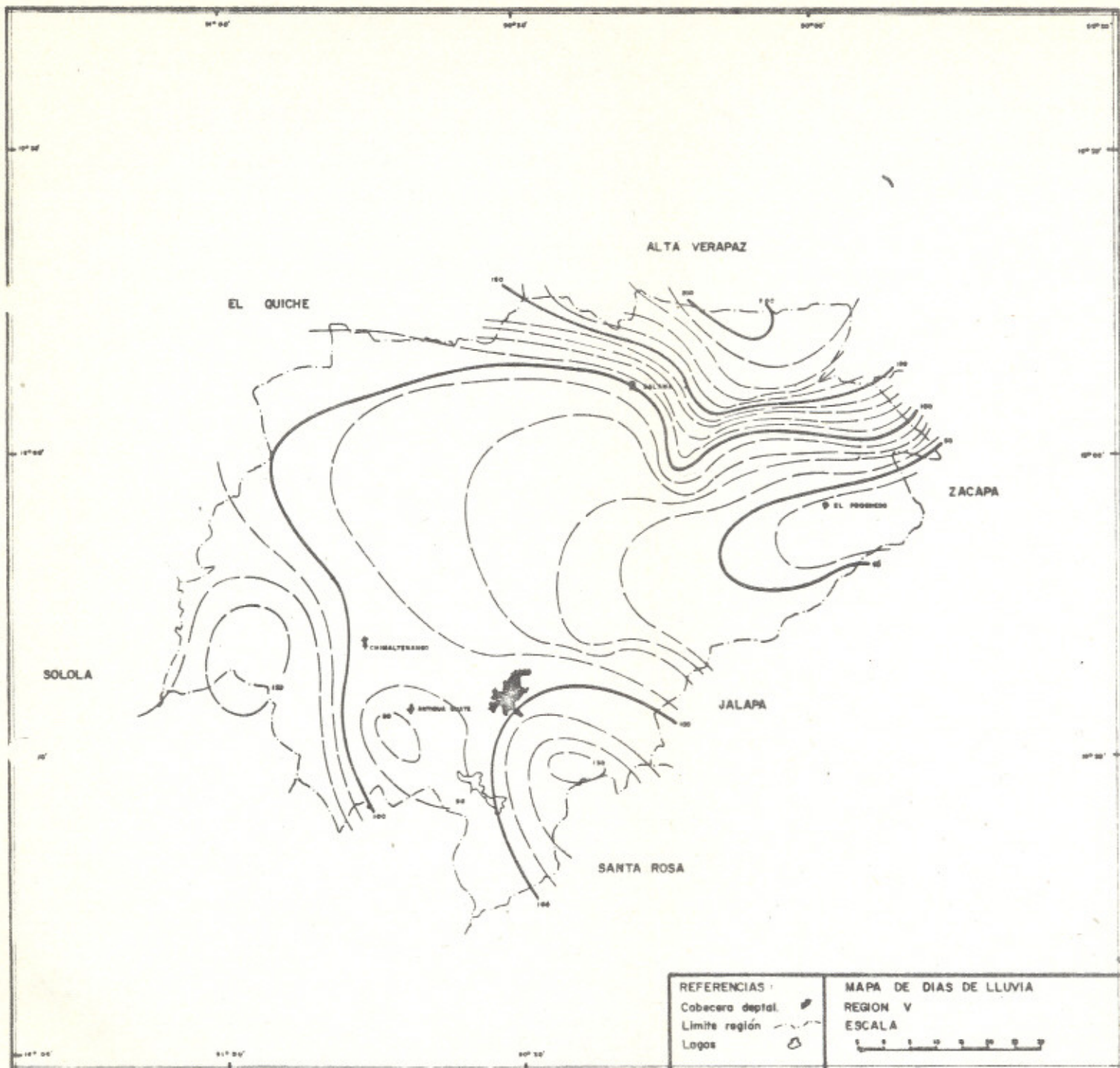









REFERENCIAS
 Cabecera deptal.
 Limite región
 Lagos

MAPA DE ISOYETAS (EPOCA SECA)
 REGION V
 ESCALA
 0 10 20 30 40 50



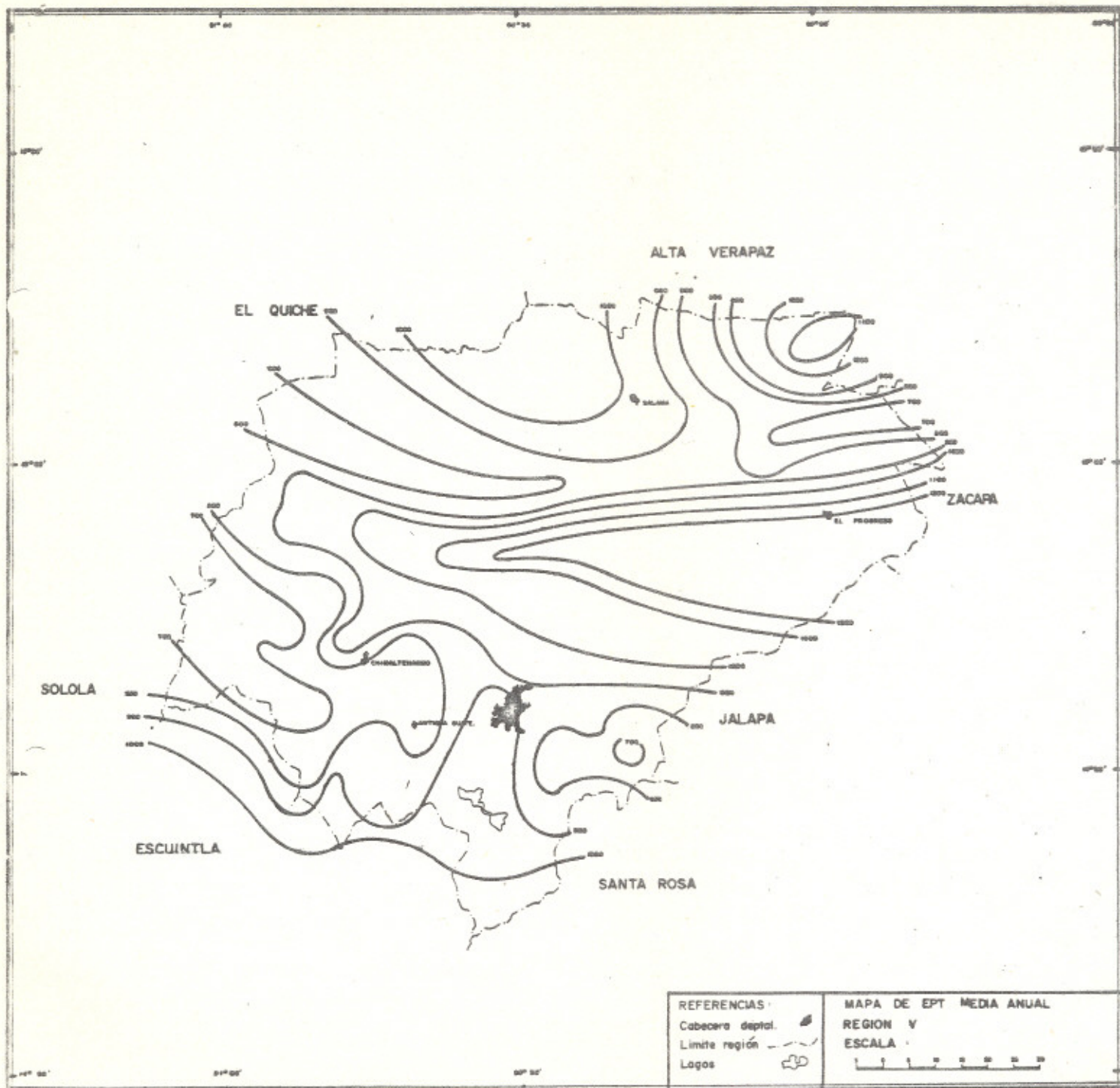
REFERENCIAS:

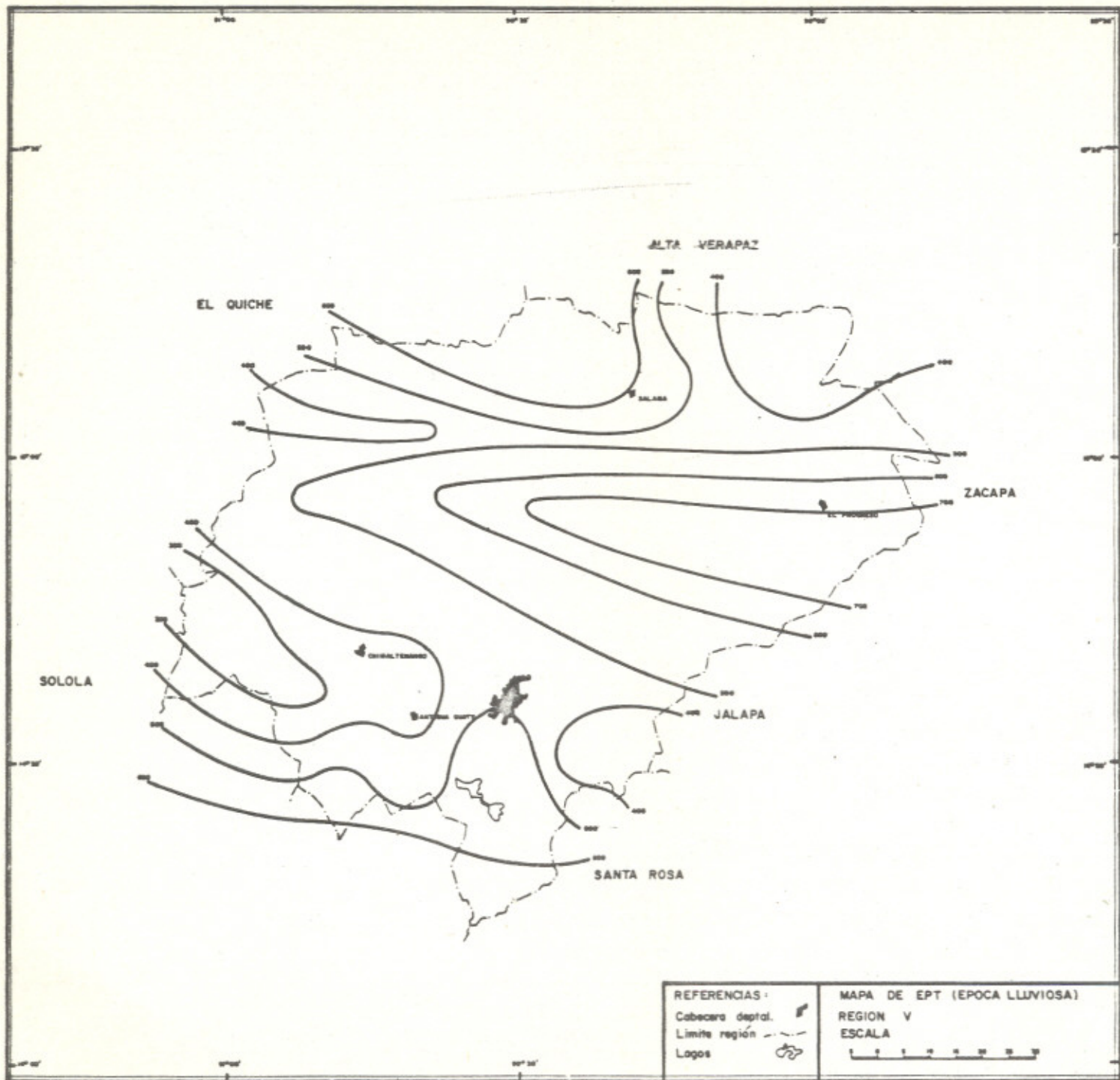
- Cobecera deptal. 
- Límite región 
- Logos 

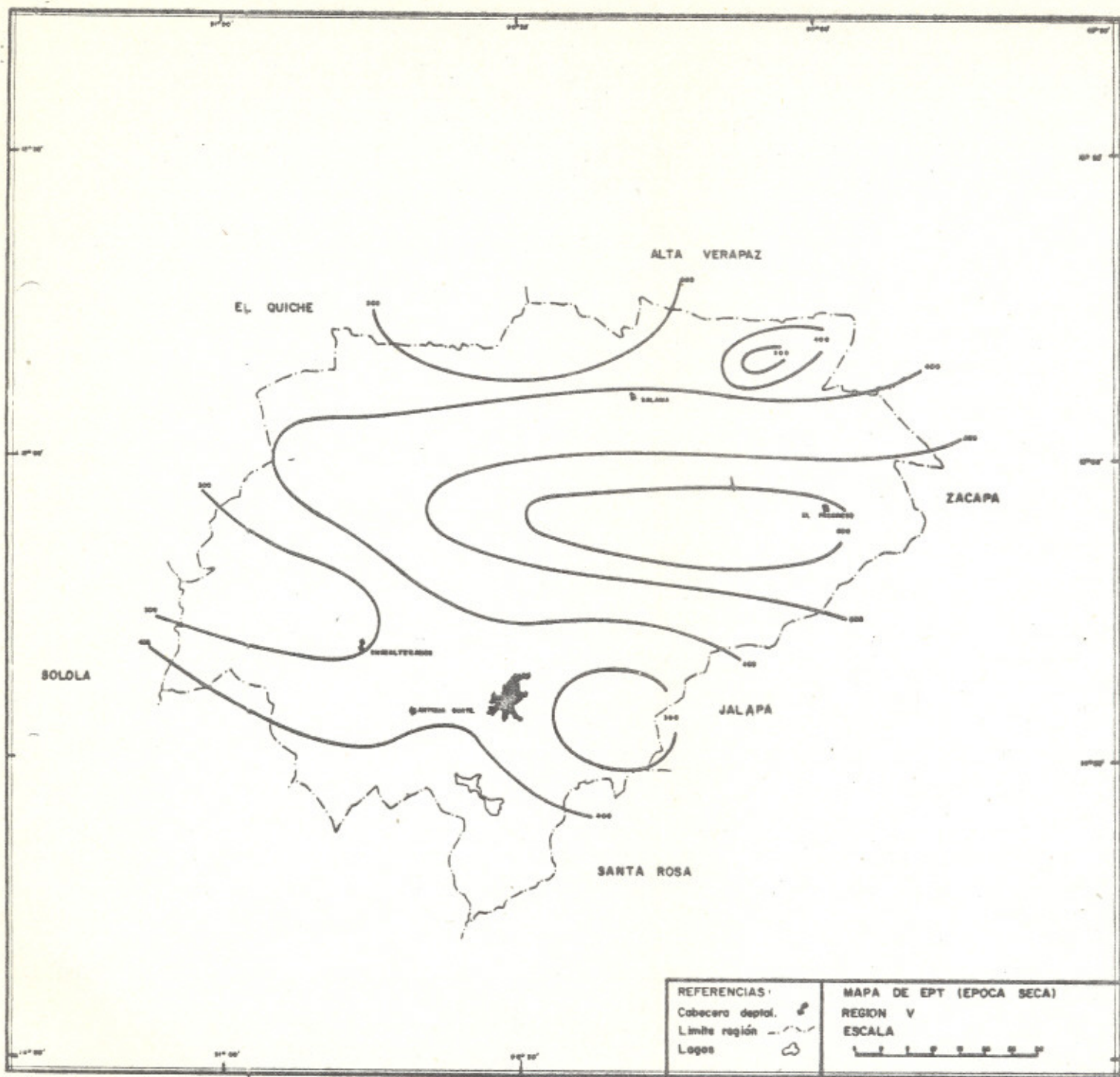
MAPA DE DIAS DE LLUVIA




REGION V
ESCALA




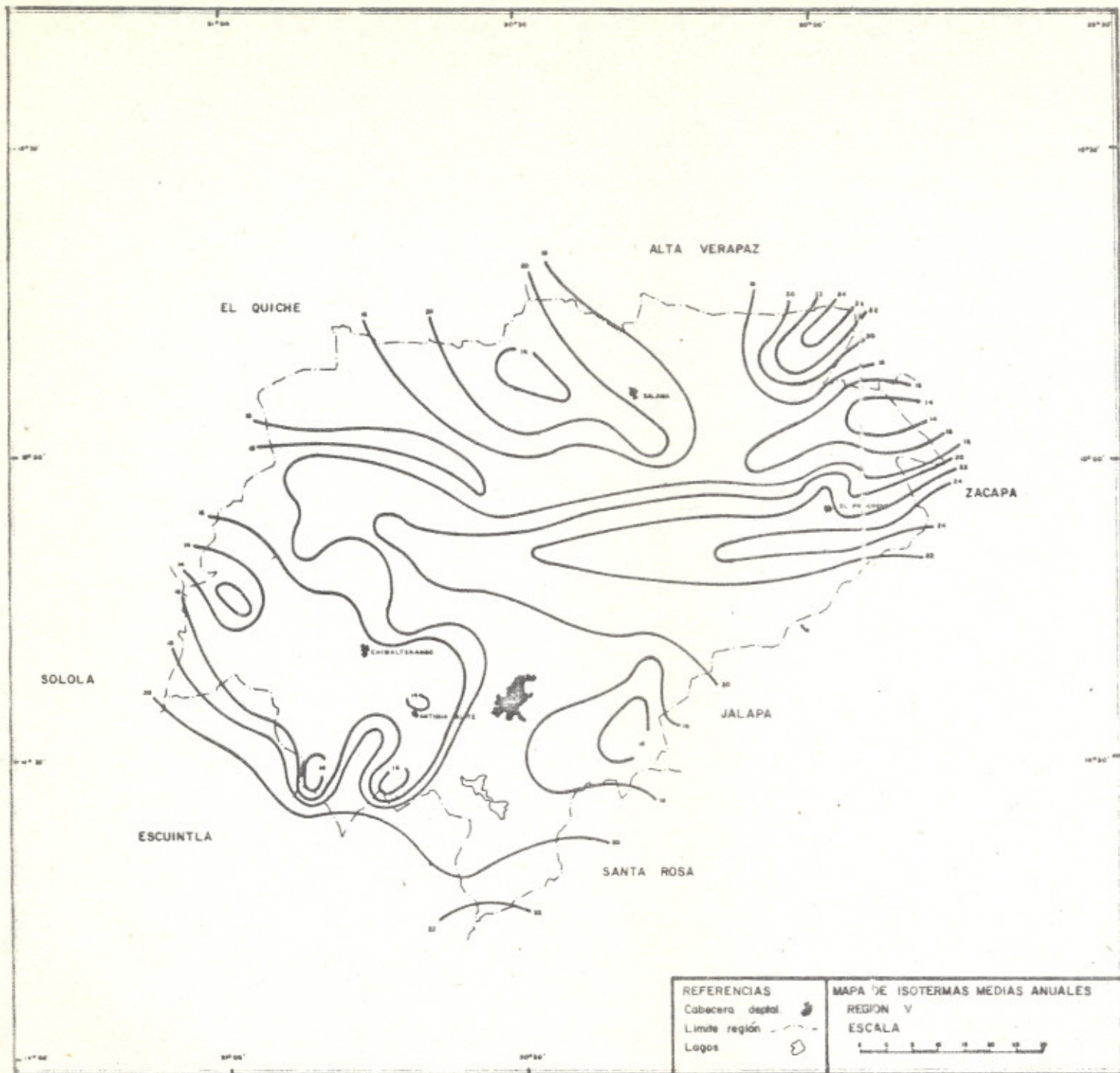










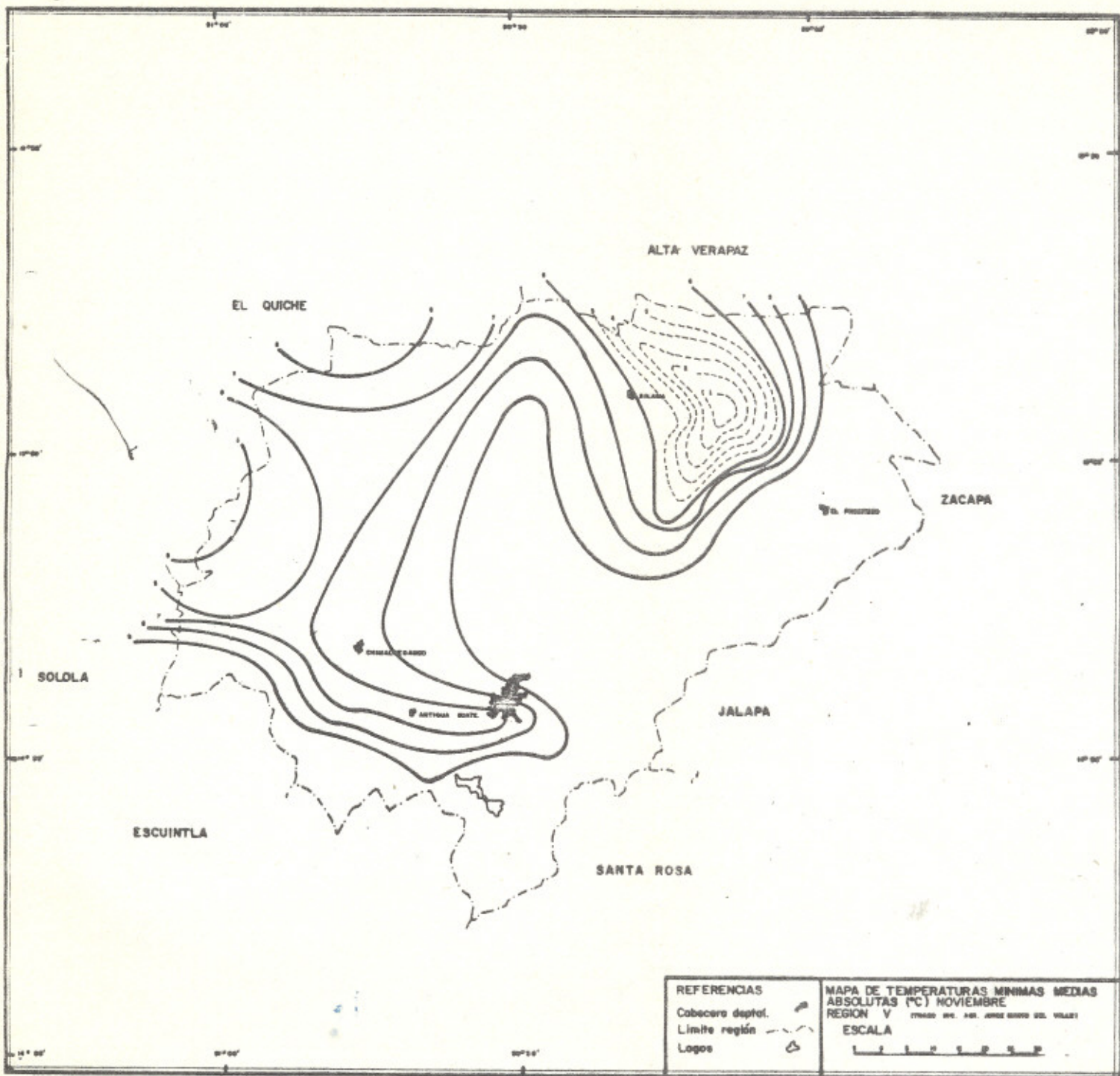
REFERENCIAS:
 Cabecera deptol. 
 Límite región 
 Lagos 

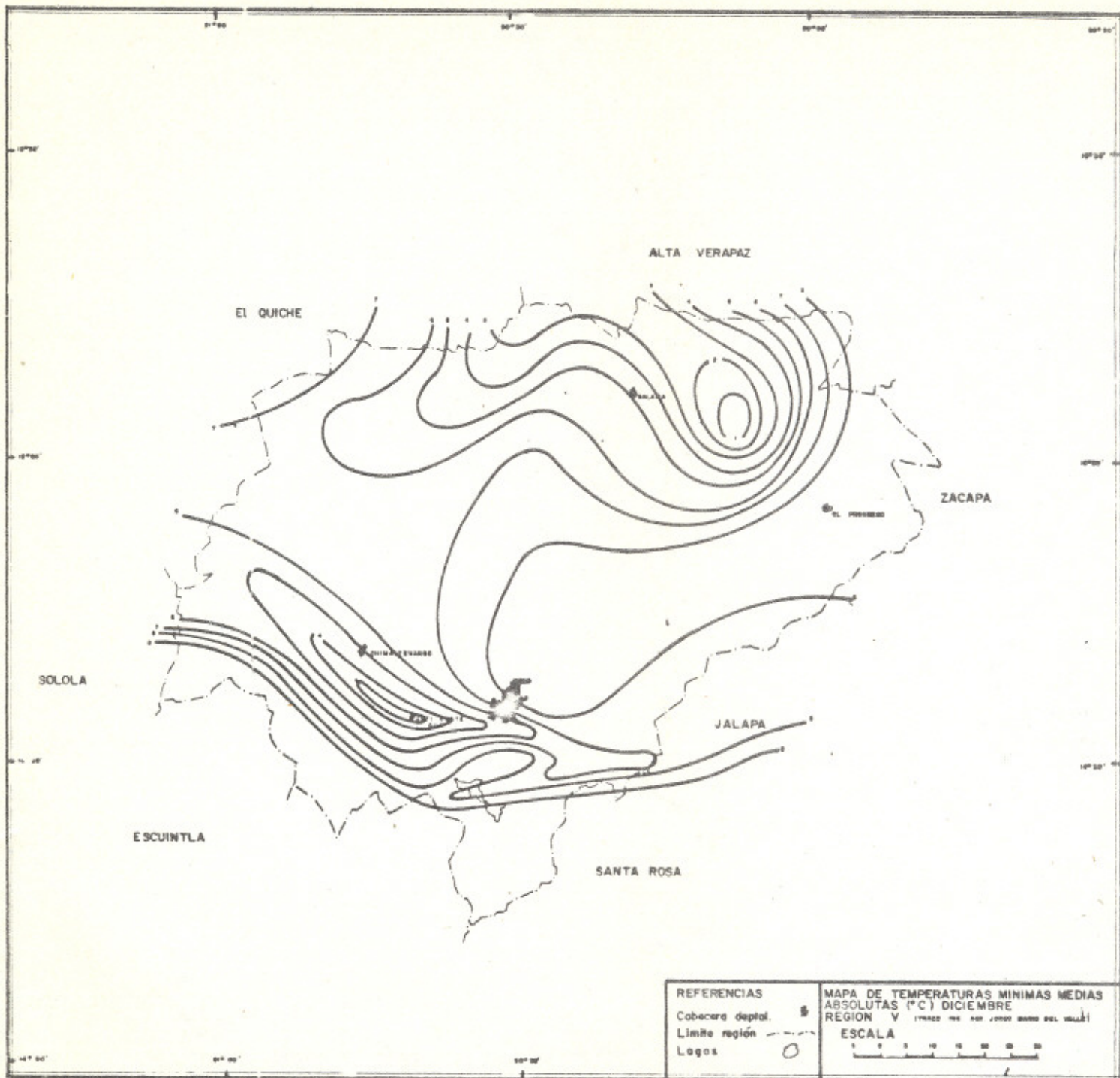
MAPA DE EPT (EPOCA SECA)
 REGION V
 ESCALA


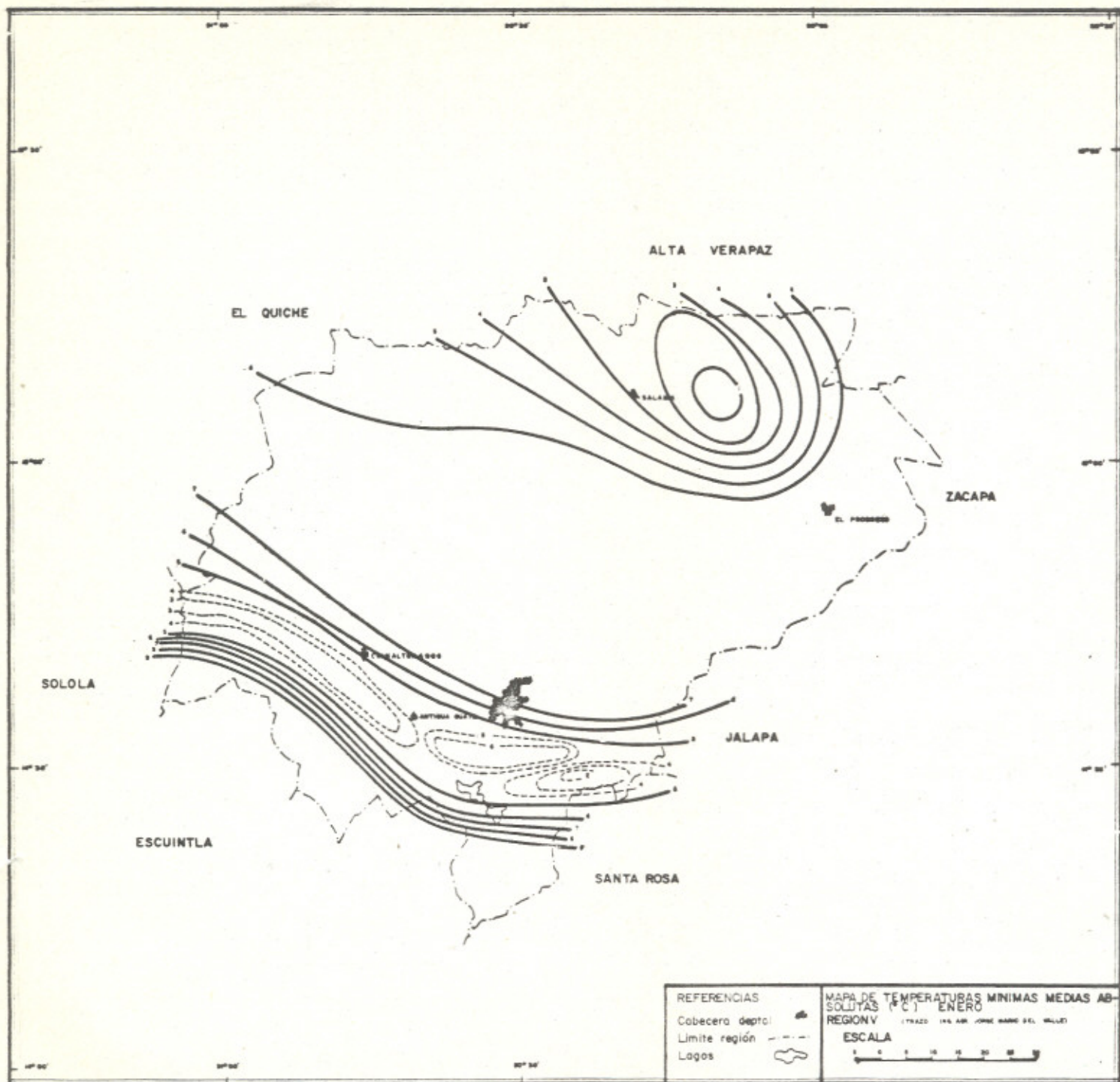


REFERENCIAS
 Cabecera dept. 
 Limite región 
 Lagos 




MAPA DE ISOTERMAS MEDIAS ANUALES
 REGION V
 ESCALA








REFERENCIAS

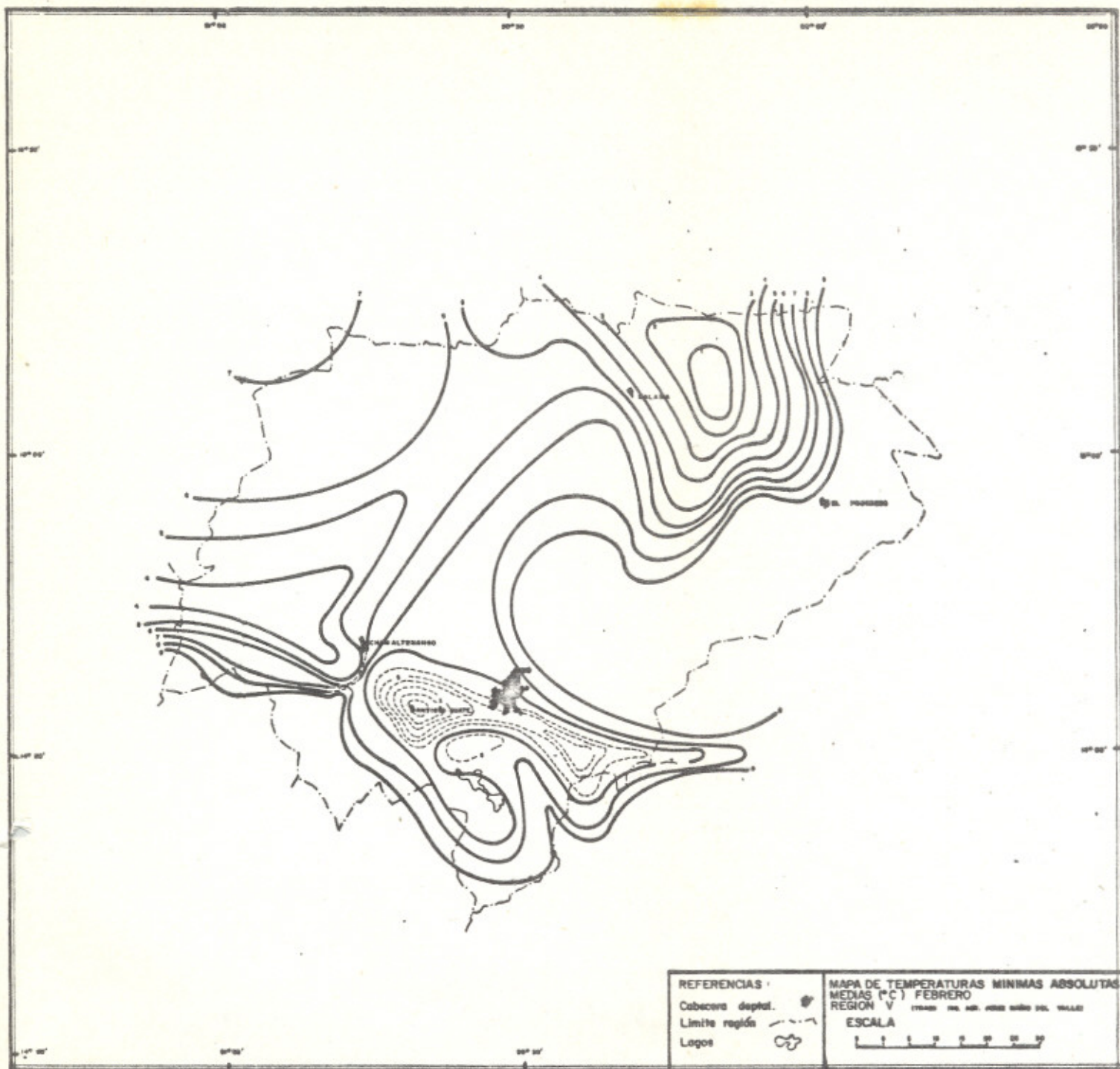
- Cabecera depart. 
- Límite región 
- Lagos 




MAPA DE TEMPERATURAS MINIMAS MEDIAS ABSOLUTAS (°C) ENERO


(TRAZADO DEL AER. JORGE BARRIO DEL VALLE)

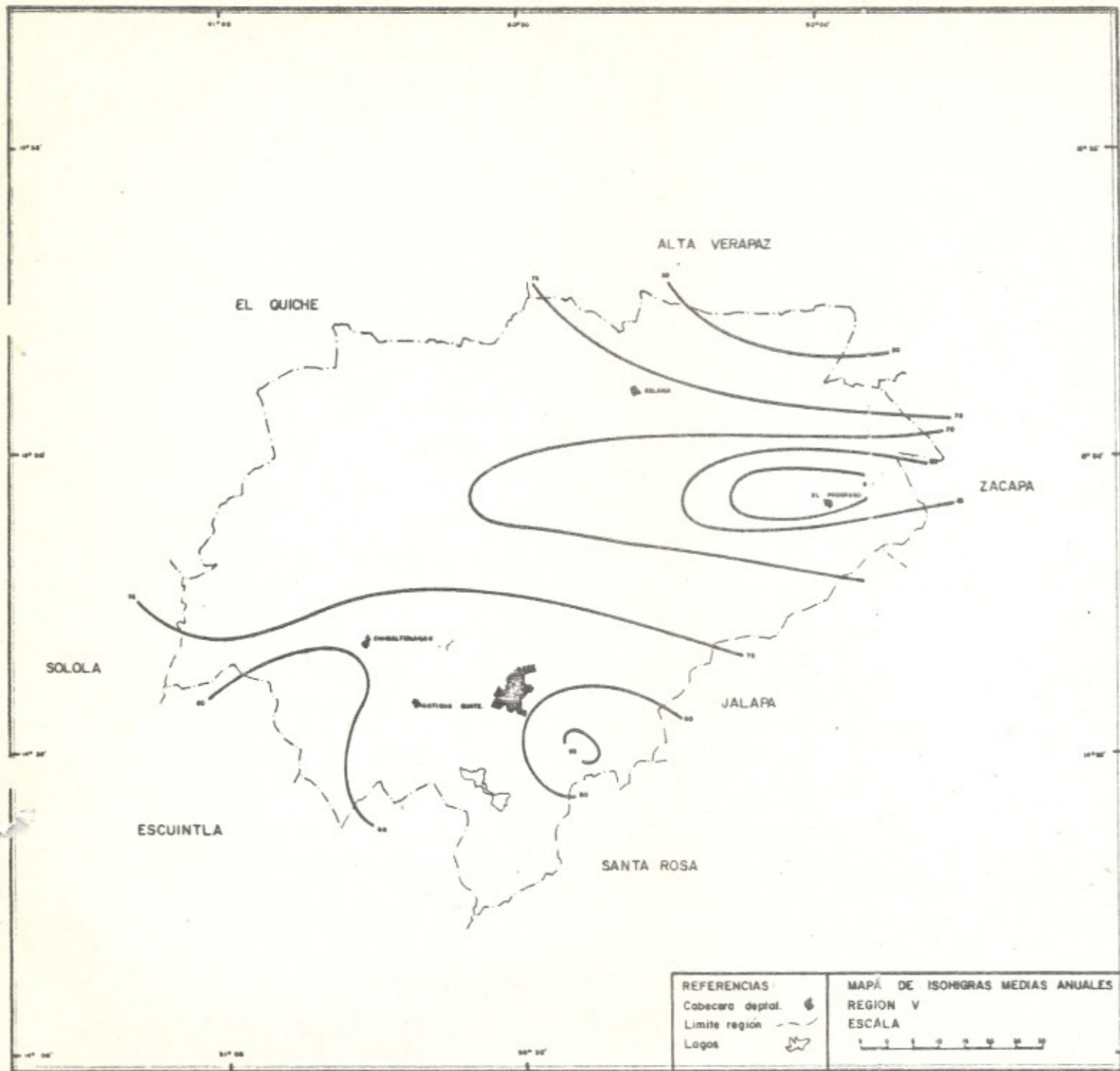
ESCALA





REFERENCIAS
 Cabecera depart. 
 Limite región 
 Lagos 

MAPA DE TEMPERATURAS MINIMAS ABSOLUTAS
 MEDIAS (°C) FEBRERO
 REGION V (TRONCO DEL NOR. PUNTO SUR DEL VALLE)
 ESCALA




UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Referencia
Asunto

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12
Avenida Postal No. 1045

GUATEMALA, CENTRO AMERICA



IMPRIMASE:


ING. CARLOS ESTRADA CASTILLO
DECANO



RECEIVED
FACULTAD DE AGRONOMIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA