



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía

UN METODO DE CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA APLICADO  
AL ANALISIS DE FACTORES CLIMATICOS DEL  
ESTADO DE GUERRERO

T E S I S

Que para obtener el título de:  
LICENCIADO EN GEOGRAFIA

p r e s e n t a :

MICHELLE ELENA FRUMKIN SABAN

México, D. F.

1977

17174

1163



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres, que con paciencia y cariño implantaron en mí el gusto al estudio, les dedico esta tesis en constatación de que sus esfuerzos no fueron en vano.

A mi hermana, quien ha sido mi compañera y mejor amiga.

Mi más sincero y profundo agradecimiento al Fis. Eliezer Rosengaus Moshinsky, no sólo por abrirme un nuevo campo apasionante en mi carrera, sino por instruir y guiarme en él.

Agradezco:

Al Mtro. Alberto López Santoyo, al Ina. Jáuregui Ostos y a la Dra. Silvana Levi de López, su valiosa ayuda en la elaboración de esta tesis.

Al Instituto de Geografía de la UNAM, y en especial a la Dra. Ma. Teresa G. de McGregor, por haberme distinguido como becaria, y por su constante apoyo en este trabajo.

A mis compañeros, por convertir estos años de estudio en una agradable experiencia. A Carlos Coronado y Alvaro Sánchez, por su colaboración en la perforación de los datos climáticos y Mapas Topográfico y de Climas.

Al Centro de Servicios de Computo de la UNAM; al Sr. Sergio Castro, en la salida por impresora de los mapas por SYMAP.

A las innumerables personas que de una manera u otra han contribuido en mi formación profesional.

## INDICE

	Pag.
RESUMEN.....	1
CAPITULO I MAPAS POR COMPUTADORA.....	2
I.1 Cartografía Automatizada	2
I.2 Mapas por Graficador	2
I.3 Mapas por Impresora	5
I.3.1 Introducción a SYMAP	5
I.3.2 Sistema de Coordenadas de SYMAP	6
I.3.3 Paquetes y Opciones de SYMAP	6
I.3.4 Tipos de Mapas que Produce SYMAP	8
I.3.5 Ejemplo de un Mapa Coroplético por SYMAP	9
CAPITULO II MAPAS ISOPLETICOS.....	10
II.1 Interpolación para el Trazo de Isolíneas	11
II.1.1 Interpolación Lineal	11
II.1.1.1 Método Geométrico	11
II.1.1.2 Método Gráfico-Analítico	12
II.1.1.3 Criterios para la Interpolación Lineal	13
II.1.2 Interpolación No Lineal	14
II.1.2.1 Interpolación No Lineal para Temperatura	14
II.1.2.2 Interpolación Ajustando una Curva	15
II.1.2.3 Un Método para Interpolación una Red Regular	16
II.2 Método de Interpolación de SYMAP	17
II.2.1 Radio de Búsqueda	18
II.2.2 Algoritmo de Interpolación de SYMAP	18
II.2.3 Tendencia Direccional	19
II.2.4 Pendientes	20
II.2.5 Barreras	20
II.2.6 Interpolación para las Posiciones de Impresión	21
II.2.7 Conclusiones	21
II.3 Mapas Isopléticos por SYMAP	22
II.3.1 Elaboración	22
II.3.2 Variantes en los MAPAS por la Introducción de Barreras	23
CAPITULO III MAPAS DE POLIGONOS DE THIESSEN O ZONAS DE INFLUENCIA.....	26
III.1 Método SYMAP para la Construcción de Polígonos de Thiessen	27
III.2 Elaboración de los Mapas de Polígonos de Thiessen por SYMAP	27
III.3 Análisis y Diferencias entre los MAPAS	28

	Pag.
CAPITULO IV FISIOGRAFIA Y ESTACIONES METEOROLOGICAS DEL ESTADO DE GUERRERO.....	31
IV.1 Fisiografía del Estado de Guerrero	31
IV.2 Estaciones Meteorológicas del Estado de Guerrero	32
IV.3 Obtención de los Datos y Parámetros Climáticos	33
 CAPITULO V ANALISIS CLIMATICO POR METODOS CUANTITATIVOS.	 37
V.1 Análisis de Regresión	37
V.2 Análisis de Correlación	47
V.3 Programas para Computadora y sus Diagramas de Flujo	49
 CAPITULO VI ANALISIS CLIMATICO DEL ESTADO DE GUERRERO...	 55
VI.1 Los Sistemas de Tiempo que Determinan el Clima en el Estado de Guerrero	55
VI.2 Análisis del Clima en la Región Hidrológica de Costa Chica - Río Verde	59
VI.2.1 Precipitación	60
VI.2.2 Temperatura	61
VI.2.3 Correlaciones	61
VI.2.4 Pendientes de Regresión	62
VI.3 Análisis del Clima en la Región Hidrológica de Costa Grande	63
VI.3.1 Precipitación	63
VI.3.2 Temperatura	64
VI.3.3 Correlaciones	64
VI.3.4 Pendientes de Regresión	65
VI.4 Análisis del Clima en la Región Hidrológica del Balsas	67
VI.4.1 Zonas Áridas del Estado de Guerrero	68
VI.4.2 El Clima en el Trayecto del Balsas	69
VI.4.3 El Clima Sobre la Vertiente Interior de la Sierra Madre del Sur	70
VI.4.4 Precipitación	71
VI.4.5 Temperatura	72
VI.4.6 Correlaciones	73
VI.4.7 Pendientes de Regresión	74
VI.5 Conclusiones para el Análisis Climático Final del Estado de Guerrero	75
VI.5.1 Precipitación	75
VI.5.2 Temperatura	76
VI.5.3 Correlaciones	76
VI.5.4 Regresiones	78
 CONCLUSIONES.....	 79
REFERENCIAS.....	81

## MAPAS

		Pag.
MAPA	1 Mapa Topográfico de Guerrero	32
MAPA	2 Rasgos Fisiográficos Importantes del Estado de Gro.	2
MAPA	3 Regiones Hidrológicas del Estado de Guerrero	9
MAPA	4 Isoyetas Medias Anuales sin Barrera Meteorológica	25
MAPA	5 Isoyetas Medias Anuales con Barrera Meteorológica	"
MAPA	6 Isoyetas Medias Anuales con Triple Barrera	"
MAPA	7 Isotermas Medias Anuales sin Barrera Meteorológica	"
MAPA	8 Isotermas Medias Anuales con Barrera Meteorológica	"
MAPA	9 Isotermas Medias Anuales con Triple Barrera	"
MAPA	10 Polígonos de Thiessen para Precipitación Media Anual sin Barrera Meteorológica	30
MAPA	11 Polígonos de Thiessen para Precipitación Media Anual con Barrera Meteorológica	"
MAPA	12 Polígonos de Thiessen para Temperatura Media Anual sin Barrera Meteorológica	"
MAPA	13 Polígonos de Thiessen para Temperatura Media Anual con Barrera Meteorológica	"
MAPA	14 Mapa de Climas Según el Sistema de Köppen	78

## CUADROS

CUADRO	1 Tiempos de Procesador	30
CUADRO	2 Estaciones de La Región Hidrológica Costa Chica- Río Verde	32
CUADRO	3 Estaciones de La Región Hidrológica Costa Grande	"
CUADRO	4 Estaciones de La Región del Balsas	"
CUADRO	5 Valores Extremos en el Estado de Guerrero	35
CUADRO	6 Rangos del Índice de Aridez	34
CUADRO	7 Líneas de Regresión para Precipitación	40
CUADRO	8 Líneas de Regresión para Temperatura	45
CUADRO	9 Correlaciones Región Hidrológica Costa Chica-Río Verde	48
CUADRO	10 Correlaciones Región Hidrológica Costa Grande	"
CUADRO	11 Correlaciones Región Hidrológica del Balsas	"
CUADRO	12 Correlaciones Estado de Guerrero	49
CUADRO	13 Niveles de Confianza para el Coeficiente de Correlación r. de Pearson	"

## RESUMEN

*En este estudio se trata la aplicación de un método de cartografía automatizada a un problema práctico de tipo geográfico, como es la construcción de mapas isopléticos y coropléticos de aspectos climáticos. El método se analiza y discute a fondo para determinar la validez al aplicarlo en este caso, y se derivan de ahí las posibilidades de un uso más amplio dentro del campo de temas geográficos.*

*En este trabajo, absolutamente todos los datos climáticos se han manejado por computadora, y después analizado por los métodos cuantitativos de regresión y correlación.*

*Una vez discutidos los mapas y métodos cuantitativos, se pasa a un análisis climático del estado de Guerrero, en base a la información obtenida.*

### I.1 CARTOGRAFIA AUTOMATIZADA

En los últimos años se viene acelerando el desarrollo de la cartografía automatizada, por la necesidad de agilizar el procesamiento de la enorme riqueza de información. Debido a los avances tecnológicos, ésta se obtiene por fotografías aéreas y sensores remotos desde aviones y satélites, en vez del tardado y costoso levantamiento topográfico.

La información obtenida del reconocimiento es automáticamente digitalizada y grabada en cintas magnéticas en un código de computadora, para formar los bancos de datos, que después se decodifican por métodos automatizados.

La cartografía tradicional ya no cubre la creciente demanda de mapas temáticos y manejo estadístico de información. Falta personal suficiente para el dibujo manual, resultando lento y por ello costoso.

El procesamiento automatizado de datos, además de dibujar el mapa automáticamente, tiene la ventaja de permitir hacer por computadora los cálculos necesarios, por ejemplo los cálculos para las diversas proyecciones o para la interpolación del trazo de isolneas. El programa del mapa base queda guardado en la computadora y se puede volver a correr variando la escala, contenido y simbología, actualizarlo o amplificar zonas para mayor detalle, en un mínimo de tiempo. La rapidez es vital para los mapas preliminares de un estudio, donde lo importante es ir vaciando los datos en dos dimensiones para su análisis; o para representar fenómenos de continua variación, como los meteorológicos.

Actualmente las salidas de la computadora para la producción de mapas son por impresora y graficador. Las imágenes en la impresora se crean mediante diferentes caracteres y la superposición de ellos, mientras que en el graficador se dibujan. Ya existen muchos programas de mapas por computadora que se diseñan para usos específicos, pero que en general persiguen el fin de acelerar el proceso. Entre los programas para graficador están, por ejemplo, Surface II y SYMVU; para impresora están SYMAP e IMBRID.

La cartografía automatizada está atrayendo la atención de muchas y diversas disciplinas, entre ellas a la Geografía. Con ella se abre un nuevo campo de posibilidades, donde contrario a lo que se pensaría, creará más fuentes de trabajo para cartógrafos, pasándolos a niveles técnicos superiores y de investigación.

### I.2 MAPAS POR GRAFICADOR

El graficador es una salida de la computadora que dibuja la información. Consta de "Hardware" (los aparatos en sí) y de "Software" (programas centrales que lo manejan, proporcionados por la Compañía que lo fabrica).

El MAPA 2 fue creado en un graficador CALCOMP<sup>1</sup> modelo 925/1036 que consta de dos partes de Hardware:

1. Controlador modelo 925 que lee el programa (G.C.S.) y la cinta grabada por el usuario en la computadora.
2. Graficador modelo 1036 que dibuja la información decodificada por el Controlador.

Este graficador tiene dos programas de Software:

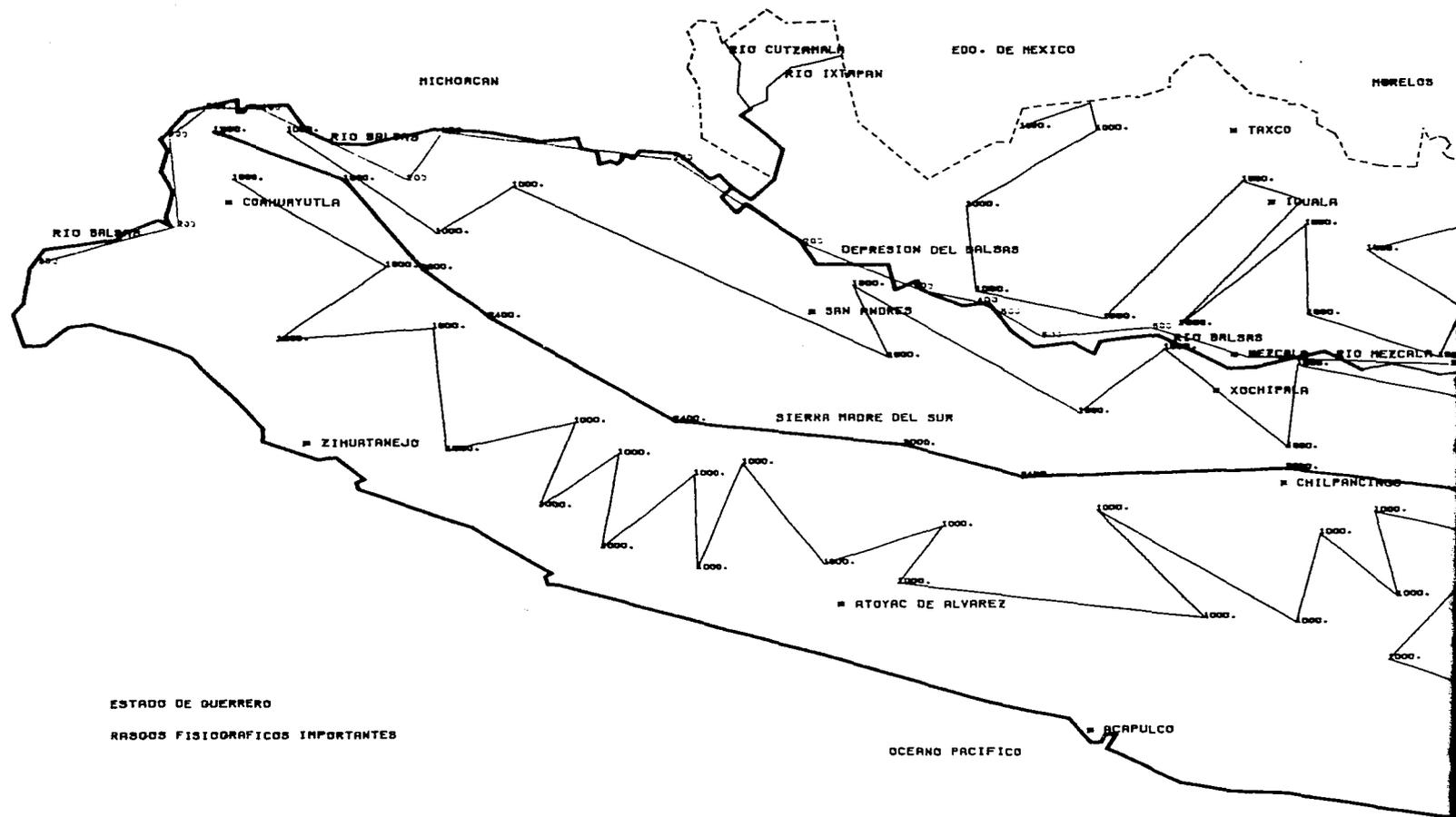
1. HCBS (Host Computer Basic Software) - consiste en subprogramas que se alimentan a la computadora junto con la información y programa propios del usuario. El HCBS procesa esta información para producir una cinta que cumple con un formato riguroso para ser usada específicamente por el G.C.S. (Sistema Operativo). Una vez grabada la cinta en la computadora, se lleva físicamente al Controlador para ser leída.
2. G.C.S. (Graphic Controller Software) - es el Sistema Operativo del Controlador 925 que se encarga de procesar la información grabada en la cinta por el HCBS. Lee la cinta, decodifica los datos y los pasa al Graficador para dibujar.

El MAPA 2 destaca los rasgos fisiográficos más importantes del estado de Guerrero que afectan al clima. Tiene representadas la cresta de la Sierra Madre del Sur y burdamente las curvas de nivel de 1000m en ambas vertientes, puesto que SYMAP fija un límite de 50 puntos para las barreras. Estas tres líneas posteriormente serán usadas como barreras al flujo de los vientos, en la elaboración de los mapas por SYMAP. Las coordenadas del contorno y de la localización de las estaciones meteorológicas son las mismas para la elaboración de todos los mapas de este estudio.

Este MAPA fue elaborado mediante el PROGRAMA 1 para graficador, que controla la lectura de datos, el trazo de líneas continuas o puntuadas con diferentes grafos, y la posición de los letreros. Exceptuando la barra de la escala gráfica y el título 'MAPA 2', absolutamente todo fue dibujado por el graficador. PLOTROUTINES es un nombre arbitrario para las subrutinas del HCBS.

<sup>1</sup> del Instituto de Geografía, UNAM.



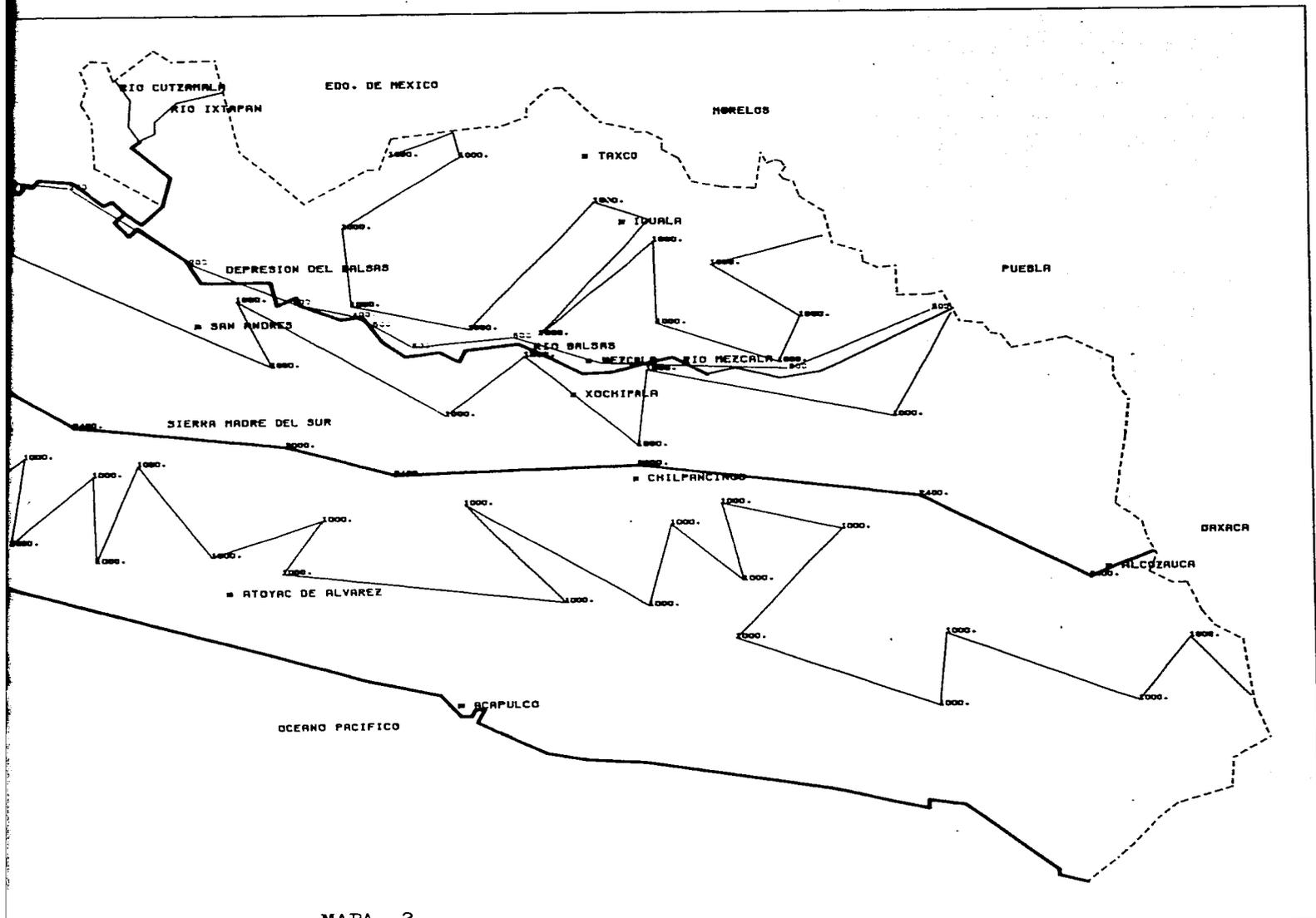


ESTADO DE GUERRERO

RASGOS FISIOGRAFICOS IMPORTANTES

ESCALA 0 10 20 30 KILOMETROS

FRANKIN SABAN MICHELLE E.



MAPA 2

### I.3 MAPAS POR IMPRESORA

La producción de imágenes en la impresora de una computadora se logra mediante el uso de diferentes caracteres y la superposición de ellos, dando las diferentes tonalidades de gris. Imprime 132 caracteres por línea a una velocidad de 300 a 1800 líneas por minuto según el modelo, generalmente 1000, pero esto no restringe el tamaño del mapa pues se imprime por hojas que después se unen.

Los mapas resultantes de la impresora son muy vistosos pero tienen dos defectos importantes:

1. La falta de detalle debido a la baja resolución de 10 caracteres por pulgada en la horizontal y 6,8 o 10 en la vertical.
2. El cambio de intensidad de gris de una hoja a la otra por el desgaste de la cinta de carbón.

Se han desarrollado muchos programas para mapas con salida por la impresora, pero pocos han llegado al grado de desarrollo en que puedan ser utilizados por alguna otra persona además de sus programadores. Uno de estos programas de más amplia distribución es SYMAP, que tiene una gran demanda mundial por su buena documentación y por su flexible rango de empleo, desde la persona que no sabe programación hasta la que lo puede alterar integrándole modelos sofisticados para sus necesidades específicas.

#### I.3.1 INTRODUCCION A SYMAP

SYMAP son las iniciales para "Synagraphic Mapping System". Fue desarrollado por el 'Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis' de la Universidad de Harvard, "específicamente diseñado para el uso de geógrafos, planificadores, geólogos, meteorólogos y otros que tengan un interés profesional en el análisis de datos distribuidos espacialmente"<sup>1</sup>.

El programa SYMAP necesita una computadora de tamaño mediano y una impresora standard. Los datos de entrada (input) son por tarjetas, disco o cinta magnética, y los datos de salida (output) son por impresora o se graban a una cinta para almacenar o alimentar a un graficador.

La información que se alimenta al programa consiste principalmente en coordenadas de puntos que forman el contorno del área de estudio, y de puntos localizados llamados data-points con un valor representativo del tema del mapa, por ejemplo el valor de la temperatura media anual en una estación meteorológica determinada. La información se da en campos previamente establecidos en el programa, es decir por grupos definidos de columnas en las tarjetas de computadora, que pueden ser alterados por subrutinas del usuario.

<sup>1</sup>Dougenik, James A. and Sheehan, David E., op. cit., Prefacio.

Las ventajas de SYMAP son su sencillez de empleo, corto tiempo para producir un mapa y grandes efectos visuales, pero es muy costoso por el tiempo de máquina que utiliza (ver CUADRO 1 de Tiempos de Procesador).

### 1.3.2 SISTEMA DE COORDENADAS DE SYMAP

SYMAP usa coordenadas ortogonales, donde cada eje tiene una medida diferente. Su condición óptima es de 10 caracteres impresos por pulgada en la horizontal y 8 caracteres en la vertical.

El origen se fija en la esquina superior izquierda, por lo cual el margen izquierdo será el eje vertical y el margen superior el eje horizontal. Se pueden usar coordenadas positivas y negativas. Es válida cualquier unidad de medida, pueden trabajarse las coordenadas en millas, pulgadas, kilómetros, centímetros e incluso unidades no lineales como grados centígrados.

Las coordenadas se alimentan a la computadora en tarjetas perforadas. De la columna 11 a la 20 se perforan las coordenadas verticales y de la columna 21 a la 30 las horizontales, para todo punto que aparezca en el mapa. (Fig. 1)

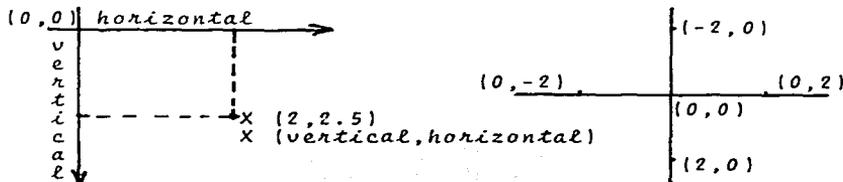


Fig. 1 Sistema de Coordenadas

### 1.3.3 PAQUETES Y OPCIONES DE SYMAP

SYMAP trabaja a base de combinaciones de paquetes y opciones, compuestos por subrutinas, que computan la información correspondiente y producen una parte específica del mapa.

Los paquetes para entrada de datos son: A-OUTLINE, A-CONFORMLINES, B-DATA POINTS, E-VALUES, C-OTOLEGENDS y D-BARRIERS. El único paquete de salida de datos es el F-MAP que produce el mapa final. A continuación se describen brevemente los paquetes:

A-OUTLINE A este paquete se usan de entrada las coordenadas de los vértices que forman el contorno del área de estudio. Deben darse en sentido directo o retrogrado pero nunca en desorden, el primer vértice se repite al final para cerrar el área. Este paquete se usa para obtener mapas isopléticos y de proximidad, siendo la diferencia entre los dos el método de interpolación que se escoja.

A-CONFORMLINES Mientras el A-OUTLINE abarca el contorno general del área, este paquete la divide en subáreas. Se dan de entrada las coordenadas de los vértices que forman cada subárea, en sentido directo o retrógrado, repitiendo el primer vértice al final para cerrar. Las coordenadas de cada subárea se dan independientemente, cuidando que los vértices en común tengan las mismas coordenadas. Este paquete es necesario para producir mapas coropléticos.

B-DATA POINTS Este paquete se usa para especificar las coordenadas de los puntos que asignarán variables en el mapa temático. Cada punto queda localizado en el área de estudio por dos coordenadas, una vertical y una horizontal. Es importante el orden en que se someten, pues el primer data-point estará relacionado al primer valor del paquete E-VALUES, el segundo data-point con el segundo valor, y así sucesivamente. Un data-point puede ser una estación meteorológica y su valor los milímetros de lluvia o la temperatura media.

E-VALUES Contiene los valores asociados a cada data-point del paquete B-DATA POINTS, o de cada subárea estadística del paquete A-CONFORMLINES, en el orden de correspondencia uno a uno.

C-OTOLEGENDS En este paquete se especifican la posición relativa y contenido de todo letrero que deberá aparecer en el mapa.

D-BARRIERS Se dan las coordenadas y fuerza de los vértices que forman la barrera. Una barrera son límites fijados a la interpolación que efectúa el programa con los datos. Hay dos tipos de barrera: permeable, que permite hasta cierto grado la interpolación a través de ella, e impermeable, que corta totalmente la interpolación entre los dos lados. Un uso, por ejemplo, es para evitar la libre interpolación entre las dos vertientes de una sierra.

F-MAP Lleva las instrucciones finales para la producción del mapa usando la información de los paquetes anteriores, y por ello es obligatorio. Controla prácticamente todos los aspectos del mapa mediante una combinación de opciones. Las opciones son subrutinas que dan alguna de las características al mapa, tienen un default permitiendo la libertad de usarlas o no.

Descripción de las Opciones del F-MAP empleadas en este estudio:

Opción 1 Dimensiones del Mapa

En esta opción se especifica en pulgadas el tamaño del mapa final deseado. En una hoja de impresora cabe un mapa de 13 pulgadas de ancho, si el mapa deseado es mayor saldrá en varias hojas que se habrán de unir.

Opción 3 Número de Intervalos de Clase

Se usa para escoger el número de clases (una a diez) en que serán divididos los valores especificados en el paquete E-VALUES. Sirve el propósito de asignar la simbología a los valores según la clase que les corresponda. El intervalo de clase se calcula restando el menor valor del mayor y dividiendo entre el número de clases. Este intervalo se va sumando para obtener los rangos de cada clase.

Opción 7 Simbología

Declara la simbología deseada mediante la superposición de hasta 4 caracteres. Va relacionada a la Opción 3, correspondien-

do uno a uno el número de símbolos y clases. Por ejemplo con 5 clases:

	columnas de las tarjetas para computadora				
	1	2	3	4	5
primera tarjeta	*	0	U	=	#
segunda tarjeta		X	%	/	\$
tercera tarjeta					%
cuarta tarjeta					

Todas las zonas que por su E-VALUE queden en el rango de la primera clase, estarán representadas por signos '\*'. Las zonas que queden dentro de la segunda clase, por la superposición '0', en la tercera clase por 'U', en la cuarta clase por 'X', y en la quinta por '%'.<sup>1</sup>

Opción 11 Valores Impresos en el Lugar del Data-Point  
Se imprimen los valores dados a cada data-point en el lugar establecido por sus coordenadas. Por ejemplo, la temperatura media anual de cada estación meteorológica se imprime sobre el lugar geográfico de la estación.

Opción 31 Extrapolación Fraccionaria Relativa<sup>1</sup>  
Le da la capacidad al programa de extrapolar arriba del mayor valor y abajo del menor.

Opción 36 Número de Data-Points para la Interpolación  
Esta opción especifica el número mínimo y máximo de puntos que serán usados para los cálculos de interpolación.

Opción 37 Red de Interpolación  
Deja al criterio del usuario el espaciamiento de los llamados centros de control de la red regular de puntos interpolados.

### I.3.4 TIPOS DE MAPAS QUE PRODUCE SYMAP

SYMAP puede producir como salida de datos (output) tres tipos de mapas<sup>2</sup>:

- 1) Coroplético - representa áreas estadísticas de límites dados. Por ejemplo distritos, municipios, islas, regiones hidrológicas, estados, países, etc.
- 2) Isoplético - por medio de isolneas representa los valores (x,y,z) en dos dimensiones para datos distribuidos irregularmente sobre el mapa. Por ejemplo isoyetas, isoterms, isobaras, curvas de nivel, densidad de población, etc.
- 3) Polígonos de Thiessen o de Zonas de Influencia (Proximal Map) - es similar al coroplético, con la diferencia que los límites entre las áreas estadísticas no son conocidos y los calcula el programa. Por ejemplo para problemas de cuantificación en Hidrología, o para conocer el alcance de una estación meteorológica.

<sup>1</sup> Las Opciones 31, 36 y 37 serán ampliamente discutidas en los Capítulos II y III.

<sup>2</sup> Según la versión 5.17 de SYMAP implementada en la Burroughs B-6700 del Centro de Servicios de Computo, UNAM.

### I. 3. 5 EJEMPLO DE UN MAPA COROPLETICO POR SYMAP

EL MAPA 3 es un mapa coroplético por dividir el estudio en áreas, que en este caso son Regiones Hidrológicas. Sirve un doble propósito, tiene señalada la localización geográfica de las estaciones meteorológicas cuyos datos de observación se usaron en este estudio, y representa además las tres Regiones Hidrológicas que abarca el estado de Guerrero<sup>1</sup>:

- 1.- Región Hidrológica del Balsas
- 2.- Región Hidrológica de Costa Grande
- 3.- Región Hidrológica de Costa Chica-Río Verde

A continuación se explica el uso de los paquetes de SYMAP necesarios para la elaboración del MAPA 3:

A-CONFIRMOLINES se dan de entrada las coordenadas de los vértices que forman el contorno de cada Región Hidrológica, cuidando de repetir el primer vértice al final para cerrar el área y de trabajar en un solo sentido. Los vértices comunes a dos Regiones se repiten con las mismas coordenadas para evitar huecos entre ellas.

E-VALUES en este caso particular, se dió un valor arbitrario a cada Región Hidrológica puesto que el único objeto es el de sombrearlas. Generalmente E-VALUES representa valores reales como de producción o de población para cada subárea.

C-OTOLEGENDS se dan las coordenadas para la posición y contenido de cada letrero sobre el mapa, en este caso de cada nombre de las estaciones meteorológicas, de las Regiones Hidrológicas y de todos los títulos.

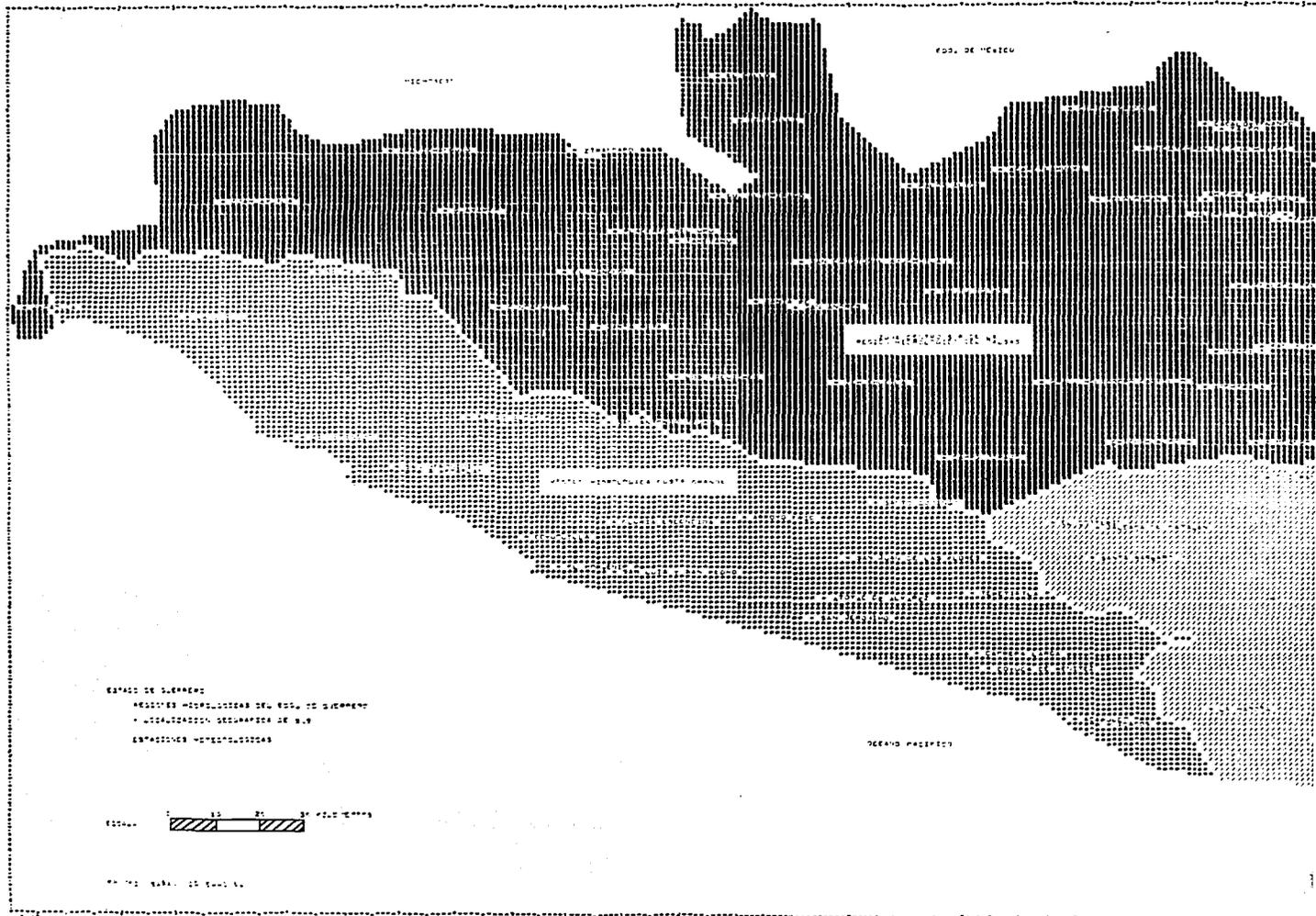
F-MAP:

- Opción 1 tamaño del mapa final - 22.75 pulgadas en la vertical y 34.38 pulgadas en la horizontal.
- Opción 3 se especificaron 3 clases, de tal forma que cada Región Hidrológica quede en una de ellas, debido al valor arbitrario que se les asignó en E-VALUES.
- Opción 7 se especifican los símbolos deseados para cada clase, de tal manera que la Región que por su E-VALUE quede en la primera clase estará representada o sombreada con el primer símbolo declarado en esta opción, y así sucesivamente.

Algunos usos prácticos para este tipo de mapa coroplético podrían ser:

- 1.- Producción por municipios
- 2.- Población por estados
- 3.- Pesca por islas
- 4.- Mortalidad por países

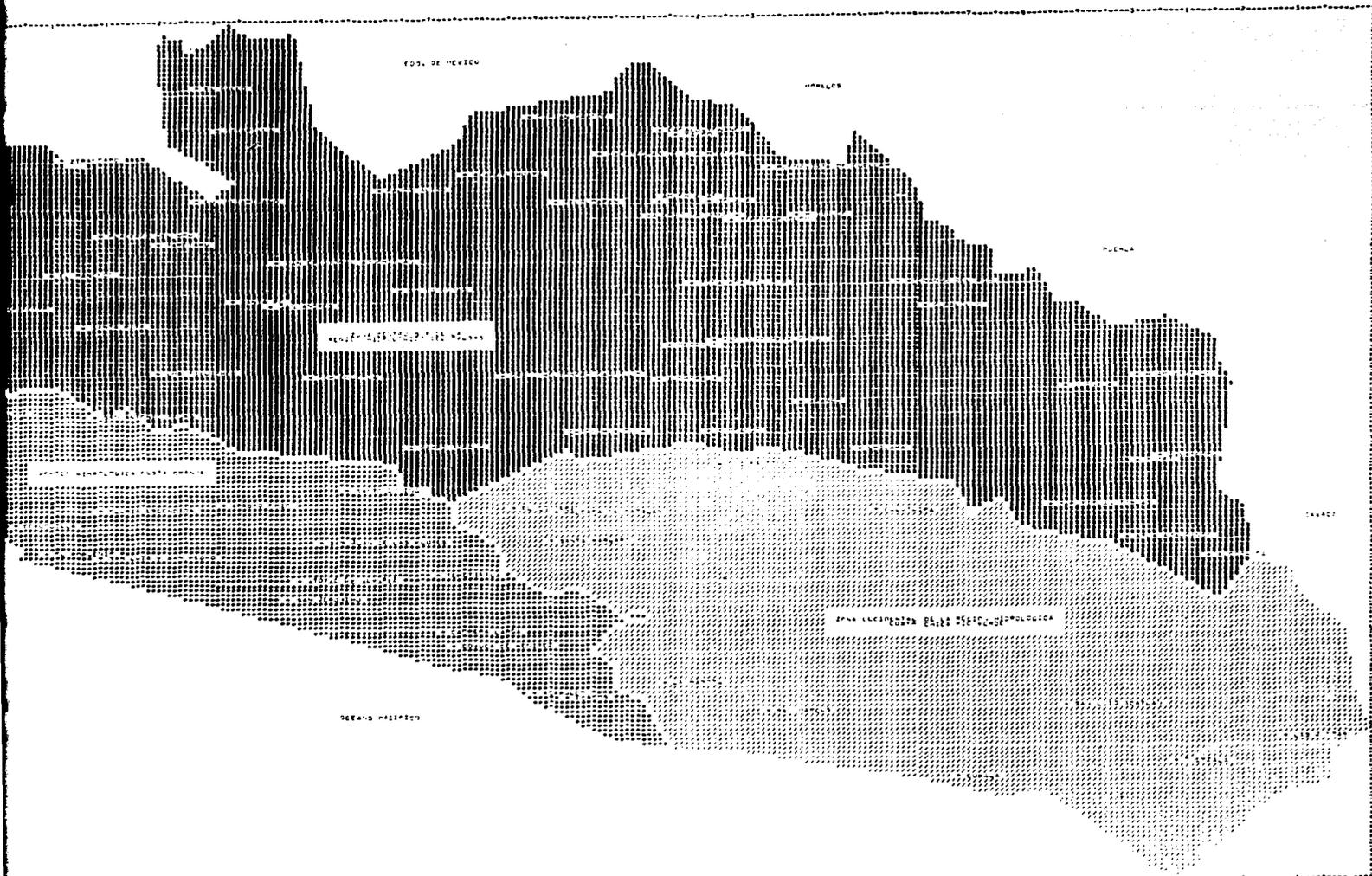
<sup>1</sup> Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Hidrología, "Boletín Hidrológico" números 31, 47, 48 y 49.



ESTADO DE GUERRERO  
 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL ESTADO DE GUERRERO  
 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE S.M.  
 ESTACIONES METEOROLÓGICAS



ESTADO DE GUERRERO



MAPA 3

CAPITULO II

MAPAS ISOPLETICOS

Un mapa isoplético es un mapa de isollneas, siendo estas curvas que unen puntos de igual valor. Por ejemplo las isoyetas unen puntos de igual precipitación, las isotermas unen puntos de igual temperatura y las curvas de nivel unen puntos de igual altitud.

La importancia de las isollneas radica en la forma de propagar valores localizados, a zonas donde no los hay, interpolando para obtener una superficie continua. Permiten el análisis visual del comportamiento de la variable sobre una zona, en vez del estudio de datos aislados.

Mediante las isollneas se logra la representación de tres variables en un plano: la primera variable en la abscisa, la segunda en la ordenada, y la tercera variable son los valores unidos entre sí por las isollneas. La combinación puede ser, por ejemplo, latitud, longitud y otra, dando la localización geográfica de los valores conocidos. Esta combinación es la más usual, pero podría hacerse una combinación totalmente diferente con elementos relacionados entre sí, por ejemplo el número de días nublados a través de los años en una zona, con una tercera variable de precipitación, donde el resultado sería la variación de la precipitación con respecto a los días nublados en el tiempo de observación.

Cada isollnea representa un valor específico, constante a lo largo de la curva. Las isollneas corren más o menos paralelas entre sí y no se cruzan; pueden ser cerradas, o abiertas llegando hasta los límites de la zona de estudio. Se asume que los valores varían uniformemente en el intervalo entre dos isollneas adyacentes, formando así una superficie continua.

Hacia un lado de las isollneas aumentan los valores y hacia el otro disminuyen. La distancia entre dos isollneas es inversamente proporcional al gradiente del elemento: a mayor gradiente menor distancia entre las isollneas y a menor gradiente mayor distancia entre ellas. La densidad de las isollneas es directamente proporcional a la intensidad de la variación espacial del elemento: a mayor intensidad de variación mayor densidad de isollneas y vice versa.

Según el patrón que describen las isollneas se ve la variación del elemento en el espacio. Si las isollneas son paralelas a un eje, significa que la variación en ese sentido es nula.

Hay puntos por donde no se puede pasar una isollnea<sup>1</sup>:

- 1) Si alrededor de un punto no hay valores similares - se llaman "centros" y tienen valores máximos o mínimos.
- 2) Por el encuentro de dos isollneas de igual valor - se llaman "puntos silla".

<sup>1</sup> Saucier, Walter J., op. cit., Chapter 4 Theory and Practice of Scalar Analysis, pg. 96-109.

Por un campo de datos se pueden pasar un número infinito de *isolíneas*, por lo cual se escoge un intervalo adecuado que dependa de la variación del elemento en la región y del detalle requerido para el estudio.

Las *isolíneas* de elementos climáticos están íntimamente relacionadas con el relieve, por lo cual es aconsejable trazarlas sobre un mapa topográfico evitando cruzar bruscamente las curvas de nivel.

## II.1 INTERPOLACION PARA EL TRAZO DE ISOLINEAS

Si se contara con una densidad suficiente de datos distribuidos en el área de estudio, el trazo de *isolíneas* se reduciría a unir puntos de igual valor. El problema del trazo de *isolíneas* es la falta de datos, pues se requiere de una red regularmente espaciada, esta se puede obtener a partir de los valores originales mediante la interpolación.

"La apariencia y fidelidad del mapa dependerá de la finura de la red y del algoritmo usado para estimar los valores en sus intersecciones".

Existen muchos métodos para estimar valores regularmente espaciados a partir de otros datos. A continuación se discuten varios de ellos.

### II.1.1 INTERPOLACION LINEAL

La interpolación lineal es el método más común empleado para encontrar valores regularmente espaciados a partir de un número limitado de datos localizados en el área de estudio.

Consiste en pasar una recta entre dos puntos conocidos y después dividirla en partes iguales para encontrar la posición de los valores intermedios. La interpolación lineal se puede hacer por métodos gráficos y analíticos.

#### II.1.1.1 METODO GEOMETRICO

Se trata de encontrar gráficamente la posición de valores intermedios entre dos puntos.

Supongamos un ejemplo práctico: dos estaciones meteorológicas A y B con datos de observación de 950 y 1525 mm anuales de precipitación respectivamente. Entre ellas pasan las isoyetas de 1000, 1200 y 1400 mm de lluvia si escogemos un intervalo de 200 mm.

<sup>1</sup> Davis, John C., op. cit., Chapter 5 Analysis of Sequences of Data, pg. 176.

Procedimiento (Fig. 2)<sup>1,2</sup>: se localizan las estaciones A y B sobre el mapa y se unen por una línea recta. Se traza una recta auxiliar AC con una unidad arbitraria, por ejemplo 1 cm = 100 mm de lluvia. Con esta unidad se marcan sobre AC los intervalos requeridos de 1000, 1200, 1400 y 1525. Donde quedó señalado el último valor (1525), se une a la estación meteorológica B con una recta. Todos los demás valores se proyectan a la recta AB paralelos a la recta 1525 B.

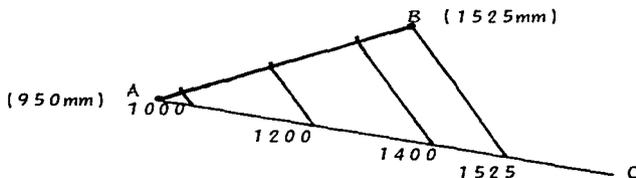


Fig. 2 Interpolación Lineal Geométrica

### II.1.1.2 METODO GRAFICO-ANALITICO

Si asumimos una relación lineal entre los dos puntos conocidos, los valores intermedios se calculan por la ecuación de la recta<sup>3</sup>:

$$(y - y_1) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

$x_1$  y  $x_2$  son los puntos conocidos medidos sobre la recta

$y_1$  y  $y_2$  son los valores observados para esos dos puntos.

Encontrar el valor de "y" para cierta "x":

$$y = \frac{(y_2 - y_1)(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1$$

Encontrar la posición "x" de cierto valor "y":

$$x = \frac{(x_2 - x_1)(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} + x_1$$

<sup>1</sup>Wentworth, Jorge y Smith, David E., op. cit., Libro II El Círculo, pg. 132, y Libro III Proporciones-Polígonos Semejantes, pg. 182.

<sup>2</sup>Baldor, J.A., op. cit., Capítulo I Generalidades, pg. 16, y Capítulo IX Segmentos Proporcionales, pg. 98-99.

<sup>3</sup>Davis, John C., op. cit., Chapter 5 Analysis of Sequences of Data, pg. 177.

Por ejemplo: interpolar entre las estaciones meteorológicas A y B con 950 y 1525 mm de lluvia respectivamente, para encontrar la posición de las isoyetas intermedias de 1000, 1200 y 1400 mm. (Fig. 3)

$$A (0, 950) \quad B (5.2, 1525)$$

$$x_{1000} = \frac{(5.2 - 0) (1000 - 950)}{(1525 - 950)} + 0 = .45$$

$$x_{1200} = \frac{(5.2 - 0) (1200 - 950)}{(1525 - 950)} + 0 = 2.26$$

$$x_{1400} = \frac{(5.2 - 0) (1400 - 950)}{(1525 - 950)} + 0 = 4.06$$

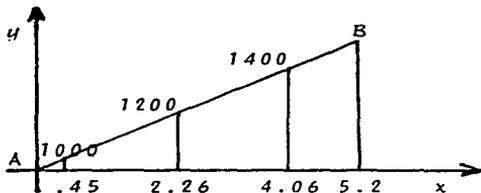


Fig. 3 Interpolación Gráfico-Analítica

A este método se llamó gráfico-analítico porque para ser totalmente analítico faltaría calcular la pendiente de la recta AB, evitando la proyección gráfica de los valores calculados para "x" a la recta AB.

### II.1.1.3 CRITERIOS PARA LA INTERPOLACION LINEAL

La interpolación lineal se puede aplicar con dos

criterios:

- a) Se interpola entre los puntos conocidos para pasar entre ellos las isolinéas. Este criterio se sigue en el trazo manual. Es unidimensional y tiene la desventaja de perder información.



- b) Se interpola entre los puntos conocidos para crear una red regular de puntos de control. Es bidimensional y tiene la ventaja de ser más exacto. Este criterio se sigue en los programas para el trazo de isolinéas por computadora y no el anterior, puesto que la computadora no tiene la capacidad para unir los pares de puntos adecuados.



El segundo criterio presenta algunas desventajas: Si hay más puntos originales que interpolados, la mayor parte de los datos originales se ignoran, porque el dato interpolado para formar la red regular se calcula solamente a partir de dos originales cercanos. Para evitar esto se han desarrollado técnicas que toman en consideración más de dos valores originales para el cálculo, por un proceso de promedio pesado y distancia. A este caso pertenece SYMAP.

Un punto de la red regular que coincida con un dato original, no retendrá este valor pues se calcula interpolando entre los originales.

El valor de un punto calculado por el segundo criterio, puede exceder o ser menor que el de los puntos inmediatos a su alrededor, por la influencia de valores más alejados.

La interpolación lineal es un método sencillo y frecuentemente utilizado, pero debe aplicarse solamente en zonas donde los cambios de la variable son constantes y graduales.

Para los dos criterios anteriores, los resultados serán satisfactorios si el número de puntos interpolados es aproximadamente igual al número de puntos originales, para no inventar información, y si éstos están uniformemente espaciados. Si los datos originales son escasos, la interpolación lineal funcionará bien mientras la pendiente entre ellos sea más o menos uniforme.

## II.1.2 INTERPOLACION NO LINEAL

Consiste en tratar de introducir el efecto del relieve sobre la variable y de que los valores interpolados no dependan exclusivamente de una condición lineal. A continuación se describen algunos métodos:

### II.1.2.1 INTERPOLACION NO LINEAL PARA TEMPERATURA

Mientras que para la precipitación es suficiente una interpolación lineal debido a su forma de distribución, para la temperatura no es adecuada por estar estrechamente relacionada al relieve. Existe el gradiente térmico que es la variación de la temperatura por unidad de altura, y equivale a  $.6^{\circ}\text{C}$  por cada 100m si el aire es húmedo y a  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 100m si es seco.

Se sugiere el siguiente método de interpolación: se tienen dos estaciones de temperatura y altitud conocidas -  
 A (26°C, 500m)      B (20°C, 2000m)

$$\begin{array}{l} \Delta h - \text{Incremento de altura} \\ \Delta t - \text{Incremento de temperatura} \end{array} \quad \begin{array}{l} \Delta h = 2000 - 500 = 1500\text{m} \\ \Delta t = 26 - 20 = 6^\circ\text{C} \end{array}$$

Si el intervalo deseado entre las isoterma es de 2°C, se establece una regla de tres de la manera siguiente:

$$\begin{array}{l} 1500\text{m} - 6^\circ\text{C} \\ x - 2^\circ\text{C} \end{array} \quad x = \frac{1500\text{m} \times 2^\circ\text{C}}{6^\circ\text{C}} = 500\text{m}$$

De aquí se deriva que la temperatura varía 2°C por cada 500m. Si a 500m la temperatura en la estación A es de 26°C, a 1000m será de 24°C, a 1500m será de 22°C y a 2000m de 20°C.

Trabajando sobre un mapa topográfico, entre las dos estaciones A y B se buscan las curvas de nivel de 1000 y 1500m para colocar ahí las temperaturas intermedias de 24°C y 22°C. Este método es el equivalente manual a ajustar una curva matemáticamente.

### II.1.2.2 INTERPOLACION AJUSTANDO UNA CURVA

Lo más probable es que la forma real de unir dos puntos A y D no sea una línea recta, sino una curva. La línea recta se aproxima a la curva sólo si los puntos están suficientemente cerca entre sí, mientras mayor sea la distancia que los separa, mayor error habrá en la aproximación lineal. (Fig. 4)

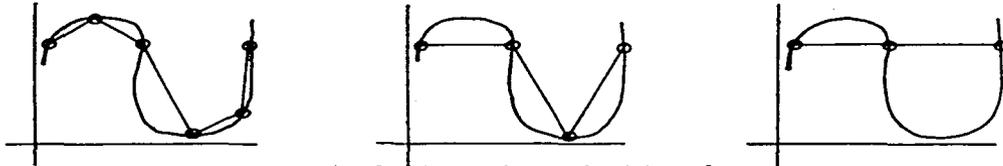


Fig. 4 Error de la Aproximación Lineal

Para ajustar una curva se necesitan 3 o más puntos de localización y altitud conocidas, que se pueden obtener de las curvas de nivel de un mapa topográfico. A estos puntos se ajusta matemáticamente una curva descrita por un polinomio de grado n, que represente suavemente al terreno. (Fig. 5)

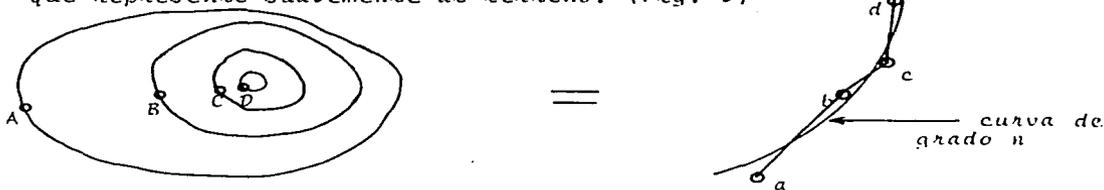


Fig. 5 Ajuste de una Curva al Terreno

Se traza un eje auxiliar perpendicular al mapa y se interpola éste linealmente para encontrar la posición de las isolíneas intermedias<sup>1</sup>, éstas se proyectan a la curva calculada matemáticamente, y de la curva al mapa. De esta forma, la distancia entre dos puntos sobre el mapa ha quedado interpolada no linealmente y tomando en consideración el terreno. (Fig. 6)

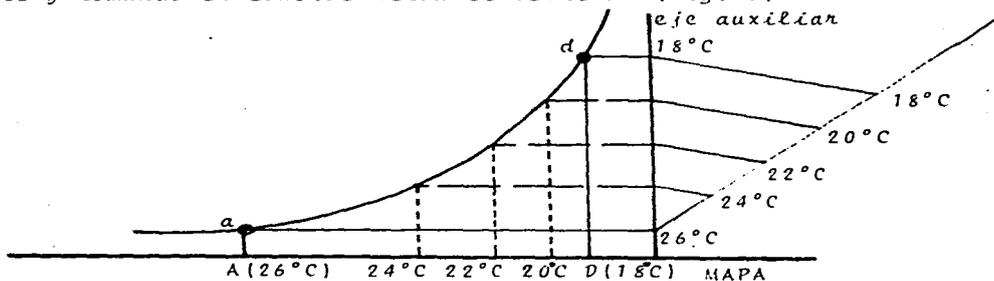


Fig. 6 Interpolación No Lineal

### II.1.2.3 UN METODO PARA INTERPOLAR UNA RED REGULAR

Para obtener una red de puntos de control regularmente espaciados, considerando varios valores en vez de dos como en la interpolación lineal unidimensional, se sigue un procedimiento que toma en cuenta la distancia al punto de control y un promedio pesado de ellos<sup>2</sup>.

Se dan coordenadas  $(x, y)$  y los valores "z" correspondientes, a los datos conocidos según su posición en el mapa. Se trata de calcular el valor para un punto de control W de la red regular, por lo que sus coordenadas son conocidas. (Fig. 7)

- A ( 0, -6) 26°C
- B (-1, 0) 20°C
- C ( 0, 5) 25°C
- D ( 3, 0) 18°C
- W ( 0, 0) z

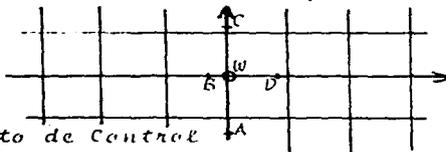


Fig. 7 Red Regular y un Punto de Control

Se buscan los puntos más cercanos a W y se calcula la distancia a cada uno de ellos por la fórmula de distancia entre dos puntos:

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_1)^2 + (y_i - y_1)^2}$$

i va de 1 hasta n representando cada punto

<sup>1</sup> Conrad, V. and Pollak, L.W., op. cit., Chapter IX Comparison of Climatic Elements, pg. 258-306.

<sup>2</sup> Davis, John C., op. cit., Chapter 6 Map Analysis - Contouring, pg. 310-322.

Spatial

Distancia de W a los demás puntos:

$$\begin{aligned} D_A &= \sqrt{(0-0)^2 + (0+6)^2} = 6 \\ D_B &= \sqrt{(0+1)^2 + (0-0)^2} = 1 \\ D_C &= \sqrt{(0-0)^2 + (0-5)^2} = 5 \\ D_D &= \sqrt{(0-3)^2 + (0-0)^2} = 3 \end{aligned}$$

Para calcular el valor del punto de control W se aplica la siguiente fórmula de promedios pesados:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i / D_i)}{\sum_{i=1}^n (1 / D_i)}$$

$Z_i$  = valor de cada punto

$$Z_W = \frac{26/6 + 20/1 + 25/5 + 18/3}{1/6 + 1/1 + 1/5 + 1/3} = 20.79^\circ\text{C}$$

De esta forma se obtienen los puntos de control de la red regular. El siguiente paso es completarla interpolando linealmente para determinar la posición de cualquier isolinia que pueda pasar entre ellos.

Esta es la misma idea de interpolación que utiliza SYMAP, pero con un algoritmo más elaborado para el cálculo de los puntos de control.

"La validez del resultado está controlado por la densidad de los valores originales usados para hacer la red, y ninguna cantidad de interpolación permitirá el refinamiento del análisis más lejos de las limitaciones de los datos originales"<sup>1</sup>.

## II.2 METODO DE INTERPOLACION DE SYMAP

El algoritmo de SYMAP calcula una red de puntos de control regularmente espaciados a partir de coordenadas y valores asociados a data-points, irregularmente espaciados.

Los puntos de control se especifican en términos de las posiciones de impresión (print locations) del mapa de salida. Por ejemplo, perforando 3.0 y 4.0 en las columnas 11-20 y 21-30 respectivamente, en las tarjetas de computadora para la opción 37, causará la computación para el valor de los puntos de control en cada tercer renglón y cuarta columna. Declarando 1.0 y 1.0, causará el cálculo independientemente para cada localidad de impresión incrementando el tiempo de computación en un 100 a 200% sobre el método standard.

<sup>1</sup> Davis, John C., op. cit., Chapter 5 Analysis of Sequences of Data, pg. 179.

El método standard de SYMAP calcula los puntos de control para cada segundo renglón y tercera columna. El usuario puede alterar el espaciamiento de la red de interpolación mediante la Opción 37 del paquete F-MAP, obteniendo el detalle deseado para la computación de la superficie.

A continuación se explicarán los componentes principales del algoritmo de interpolación de SYMAP.

### II.2.1 RADIO DE BÚSQUEDA

Es la distancia máxima hasta la cual el programa busca los data-points cercanos al punto de la red en cuestión, para usarlos en el cálculo de su valor.

El radio de búsqueda inicial es una primera estimación del radio necesario para encontrar en promedio siete puntos cercanos, y se computa en base al número y distribución de los data-points. Si con el radio inicial encuentra el default de 4 a 10 puntos, empieza la interpolación para el punto de control. Si el número de data-points no se obtuvo en la primera búsqueda, entonces el radio se expande o reduce hasta incluir solamente el número necesario.

La Opción 35 de F-MAP fija el radio de búsqueda después del cual no se tomará en cuenta ningún data-point, aún cuando el número mínimo no se halla encontrado.

Con la Opción 36 se puede alterar el número mínimo y máximo de puntos requeridos para la interpolación, así el programa no usará más puntos que el máximo ni menos que el mínimo especificados, excepto si para lograrlo excede el máximo radio de búsqueda establecido.

### II.2.2 ALGORITMO DE INTERPOLACION DE SYMAP<sup>1</sup>

"Considera la superficie continua (a menos que se introduzcan barreras) y representa patrones o tendencias implícitos en los data-points. El cálculo es un promedio pesado de pendientes y valores de data-points cercanos, desarrollado en base a un modelo de tipo gravitacional"<sup>2</sup>.

El valor Z de un punto de control P será el resultado de un promedio pesado de los valores de los data-points cercanos, dependiendo del inverso del cuadrado de la distancia:

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(\overline{Pz}_i)^2} (Z_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(\overline{Pz}_i)^2}}$$

$\overline{Pz}_i$  = distancia del punto de control P al data-point i

$Z_i$  = valor del data-point i

$Z_p$  = valor computado para el punto de control P

<sup>1</sup> Shepard, Donald S., op. cit., SYMAP Interpolation Characteristics.

<sup>2</sup> Idem., pg. 1.

donde:  $\frac{1}{(PZ)^2}$  es el factor de peso

El algoritmo funciona de la siguiente manera: suponiendo que un data-point 1 está muy próximo al punto de control P, por lo cual PT es mucho menor a cualquier otra distancia, y el factor de peso  $1/(PT)^2$  resulta mayor a cualquier otro  $1/(Pn)^2$ . Al multiplicarlo por  $Z_p$ , da el valor que adquiere más importancia e influencia sobre el valor final  $Z_p$ .

### 11.2.3 TENDENCIA DIRECCIONAL

Hasta ahora el valor  $Z_p$  está dependiendo exclusivamente de los valores y distancias a los data-points cercanos, sin influir su distribución. Los data-points pueden estar espaciados uniformemente alrededor de P, o todos en una sola dirección.

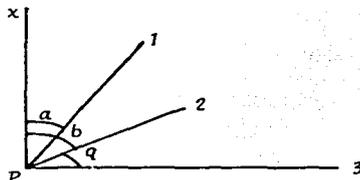
Con objeto de que la posición relativa de los data-points se considere en la determinación del valor  $Z_p$ , se introduce un aislamiento direccional para el data-point x de la forma siguiente:

$$Q_x = \sum_{i=1}^n \frac{1}{PZ} [1 - \cos(xPi)]$$

$Q_x$  = aislamiento direccional calculado para cada data-point

$P_i$  = distancia del punto de control P a cada data-point

$\cos(xPi)$  = ángulo formado entre las rectas xP y PZ. (Fig. 8)



$$\begin{aligned} \angle xP1 &= a \\ \angle xP2 &= b \\ \angle xP3 &= q \end{aligned}$$

Fig. 8 Angulos xPi

El aislamiento direccional funciona de la siguiente manera: suponiendo que los data-points 1, 2 y 3 están aproximadamente en la misma dirección que el data-point x; los ángulos a, b, q que se forman entre ellos son pequeños. Los resultados de  $[1 - \cos(xPi)]$  darán cifras pequeñas, pues el coseno de un ángulo pequeño es grande, por ejemplo  $\cos 0^\circ = 1$ , y al restarlo de la unidad el resultado es pequeño. Mientras menor sea el valor del paréntesis cuadrado, menor será el valor del cociente  $1/PZ$  al ser multiplicado por ese factor, y menor también  $Q_x$ . En conclusión, mientras más cerca estén los puntos entre sí, menor valor tendrá su  $Q$ , dando más importancia o peso a los puntos en otra dirección.

El peso según el aislamiento direccional se da de la siguiente manera:

$$w_x = (1/Px^2) \left[ \sum 1/Pl + Q_x \right]$$

Mientras mayor sea el aislamiento direccional de un data-point debido a su posición aislada alrededor del punto de control, y menor su distancia a él, mayor será su peso y de ahí su influencia en la determinación del valor del punto de control P.

#### II.2.4 PENDIENTES

Además del cálculo del punto de control P por el algoritmo anterior, se usa otro algoritmo que analiza la pendiente del punto P con respecto a la de los puntos cercanos evitando que el valor calculado difiera drásticamente de los valores cercanos, logrando una superficie más uniforme.

Los data-points que están a menos de 1.5 caracteres de distancia se ignoran en el cálculo de pendientes.

#### II.2.5 BARRERAS

Las barreras, como su nombre lo indica, son límites a la interpolación que modifican el algoritmo de SYMAP. Se usan para evitar la interpolación a través de un obstáculo, por ejemplo: una frontera política, un extenso cuerpo de agua, población y contaminación atmosférica en una gran ciudad (como la Cd. de México que sin el uso de barreras se extendería sobre un área inmensa en vez de aparecer como una concentración). En este estudio climático se utilizaron para evitar la libre interpolación a través de la Sierra Madre del Sur.

Si la línea imaginaria que une el punto de control P con un data-point *i*, cruza la barrera un número de veces impar, se considera que el data-point está del otro lado, pero no así si cruza la barrera un número de veces par y por lo tanto no afectará la interpolación.

La forma en que la barrera altera la interpolación, es aparentando que los data-points se encuentran más lejos de lo que realmente están, alterando por ello el cálculo del promedio pesado. En vez de tomar la distancia de P a un data-point *i*, al cuadrado, se toma la distancia real  $Pl$ , más la suma de los cuadrados de la permeabilidad declarada para cada barrera cruzada un número impar de veces. Si la nueva distancia excede el radio de búsqueda, se inhibe la interpolación, y si todavía queda incluido, se tomará mucho menos en cuenta por estar ahora aparentemente más lejos.

Las barreras son de dos tipos: permeables e impermeables. Las barreras permeables restringen la interpolación entre los dos lados pero no la detienen. Las barreras impermeables inhiben completamente la interpolación a través de ellas y dividen el área en zonas totalmente independientes.

Las barreras impermeables pueden tener dos formas: una línea divisoria de un extremo a otro del mapa, por ejemplo para evitar la interpolación entre dos países, o una curva cerrada que rodea una región para separarla del resto, por ejemplo una isla o una gran ciudad.

Las coordenadas de los puntos que forman la barrera y su fuerza para detener la interpolación, se especifican en el paquete D-BARRIERS. La versión 5.17 de SYMAP<sup>1</sup> permite hasta 50 puntos para formar las barreras.

La permeabilidad de las barreras se da en las mismas unidades que las coordenadas, y puede variar a lo largo de la curva. Para barreras permeables, la resistencia no debe ser mayor que la distancia promedio entre los data-points. Para barreras impermeables debe ser del orden de 10 veces la dimensión diagonal del mapa, aparentando distancias tan grandes que los puntos no serán considerados para la interpolación.

#### II.2.6 INTERPOLACION PARA LAS POSICIONES DE IMPRESION

Hasta aquí se ha explicado solamente el cálculo del valor asignado a los puntos de control regularmente espaciados en la red, pero entre ellos están las posiciones de impresión para los caracteres que aparecerán en el mapa final, y cuyo valor falta calcular.

El valor de estas posiciones de impresión se calcula interpolando linealmente entre los pares de puntos de control. Según el valor que quede asignado a cada posición de impresión, y según la simbología previamente seleccionada con la combinación de Opciones 3 y 7 de F-MAP, será el carácter impreso en ese lugar en el mapa final.

#### II.2.7 CONCLUSIONES

El método de interpolación de SYMAP no es lineal por estar basado en una función de promedios pesados y pendientes. Entre dos puntos cualesquiera del mapa, se ve que las isollneas no están igualmente espaciadas.

Si el espaciamiento de los datos originales con los cuales se trabajó para la representación del fenómeno sobre una superficie continua, es más fino que la escala en que varía el

<sup>1</sup> tal y como está implementada en la Burroughs B-6700 del Centro de Servicios de Cómputo, UNAM.

fenómeno, se puede decir con confianza que el patrón representado en el mapa final es totalmente válido.

En casos donde la información original sea escasa, el método de interpolación de SYMAP es más recomendable que cualquiera de los otros métodos discutidos en este estudio, por el uso de puntos lejanos en el cálculo, dándoles peso según el grado en que deban influir.

El método de SYMAP tiene la ventaja de tomar en cuenta muchísima información que por otros métodos se pierde, además de computar valores para cada posición de impresión haciéndolo mucho más exacto para cada centímetro del mapa.

Otra ventaja muy importante de SYMAP es la velocidad con que se puede sacar un mapa isoplético, que hecho a mano podría tardar varios meses. La desventaja es el alto costo del tiempo de máquina, sobre todo para países subdesarrollados.

Una vez construido el mapa base, es muy rápido y fácil actualizarlo o introducir nueva información para las isolíneas.

### II.3 MAPAS ISOPLETTICOS POR SYMAP

A continuación se presentan 6 mapas isopléticos hechos con SYMAP, tres de ellos son Isoyetas Medias Anuales y los otros tres son Isotermas Medias Anuales, en el estado de Guerrero.

La diferencia entre los tres mapas de cada tipo, es que uno de ellos considera la superficie totalmente plana; otro tiene señalada la cresta de la Sierra Madre del Sur formada por la unión de las cimas más altas, para detener parte de la interpolación a través de ella; y el tercero tiene una triple barrera, formada por puntos localizados sobre las curvas de nivel de 1000m en ambas vertientes de la Sierra, además de la barrera anterior.

#### II.3.1 ELABORACION

El área de estudio se limita en el paquete A-OUTLINE, dando de entrada las coordenadas de los vértices del contorno del estado de Guerrero, en un solo sentido. Esta área de estudio será la zona donde se llevará a cabo la interpolación, y al final el desplegado de los valores derivados al imprimirse el mapa.

En el paquete B-DATA POINTS se dan de entrada las coordenadas de todos los data-points, que en este caso son las estaciones meteorológicas.

En el paquete E-VALUES se declara su valor, correspondiendo uno a uno con el paquete anterior. Para los MAPAS 4,5 y 6, los valores son el promedio total de las precipitaciones anuales registradas en cada estación durante sus años de observación. Para los Mapas 7,8 y 9, los valores son la temperatura media anual en °C para cada estación.

Con el paquete C-OTOLEGENDS se indica la posición y contenido de cada letrero sobre el mapa.

Para los MAPAS 5 y 8, con el paquete D-BARRIERS, se incluyó la cresta de la Sierra Madre del Sur, especificando las coordenadas de las cimas que la forman y dándoles una permeabilidad variable de 12 a 30, de acuerdo a su altura sobre el nivel del mar dividida entre 100. En el mismo paquete, para los MAPAS 6 y 9, se especificaron las coordenadas de puntos sobre las curvas de nivel de 100m en ambas vertientes de la Sierra, con una permeabilidad constante de 10.

La digitalización de las tres barreras se basó en el MAPA 7 (Mapa Topográfico de Guerrero), y están representadas exactamente en el MAPA 2 hecho en el graficador con los mismos datos de entrada. La versión 5.17 de SYMAP<sup>1</sup> fija un límite total de 50 puntos para las barreras, por lo cual las curvas de nivel quedaron burdamente representadas, pero para este caso no se necesita más detalle para afectar la interpolación.

Finalmente en el paquete F-MAP se usaron las siguientes Opciones para producir el mapa:

Opción 1 - tamaño del mapa, 22.75 plg. en la vertical y 34.38 plg. en la horizontal.

Opción 3 - se especificaron 10 clases por dos razones: el rango de precipitación es muy amplio (662.6 a 2420.46 mm) y había que subdividirlo para que el intervalo entre isoyetas fuera de 175.78mm. El rango de temperatura es muy pequeño (18.44 a 29.42°C) y también había que subdividirlo para lograr un número mayor de intervalos de 1.098°C.

Opción 7 - se usó para escoger la simbología perteneciente a cada clase, esta se puede ver en el histograma de los mapas. NOTA: los símbolos se confunden por la falta de nitidez en la impresión de los mapas.

Opción 11 - imprime los valores reales para cada data-point, en este caso las estaciones meteorológicas, declarados en el paquete E-VALUES, en la posición geográfica que les corresponde según las coordenadas especificadas en el paquete B-DATA POINTS.

## II. 3.2 VARIANTES EN LOS MAPAS POR LA INTRODUCCION DE BARRERAS

En los MAPAS 4, 5 y 6 de isoyetas, la introducción de barreras sólo cambia notablemente la zona costera, la parte posterior a la Sierra Madre del Sur varía muy poco. Aún en la zona costera los cambios no son considerables, y se debe a que la distribución de la precipitación no está tan ligada al relieve como sucede con la temperatura. Es válido el análisis de la precipitación en el estado de Guerrero con cualquiera de los tres mapas, pero es preferible el MAPA 5 por tener introducido el efecto de la Sierra Madre del Sur.

<sup>1</sup> tal y como está implementada en la Burroughs B-6700 del Centro de Servicios de Computo, UNAM.

La precipitación tiene una distribución muy irregular sin sobresalir un patrón en especial. La única zona que salta a la vista es alrededor de la estación meteorológica de El Coatepín, donde aparecen por única vez en el MAPA cuatro símbolos; se debe a la división del rango de lluvia en 10 clases, y tiene la ventaja de haber destacado esta zona que es la de más alta precipitación en el estado. Si se hubiera dividido el rango en menos clases, aparecerían más centros de alta precipitación quedando éste diluido, y es probable también que se presentara un patrón de distribución más regular.

Se pueden señalar dos ejemplos de la importancia del uso de barreras para este caso: en el MAPA 4, Chilpancingo queda incluido en la zona árida del otro lado de la Sierra, aunque por sus características no debería, pero en los MAPAS 5 y 6 ya queda separado por introducir las barreras. Chilapa, una pequeña zona de baja precipitación, aislada en el MAPA 4, va quedando unida a la zona árida del Cañón del Zopilote al introducir las barreras.

Las barreras son importantes porque no se debe interpolar libremente entre dos puntos separados por la Sierra, logrando representar más fielmente la realidad geográfica del fenómeno.

En cuanto a los MAPAS 7, 8 y 9 de isoterma, sí existe un patrón de distribución que tiende a ser paralelo a la costa. Se debe al efecto de la Sierra que también es paralela a la costa y a la cual está estrechamente ligada la temperatura. En el MAPA 7, que considera plano el terreno, se presentan muchas isotermas concéntricas que son centros de baja temperatura en la Sierra y de alta temperatura a lo largo de la Depresión del Balsas. Entre estos centros se encuentran varios puntos silla. En el MAPA 8, al introducir la barrera, se rompen los centros y las isotermas se vuelven más paralelas a la Sierra. También sucede en el MAPA 7 al SE del estado, que la zona caliente de la costa se extiende a lo que corresponde a las cimas de la Sierra, cosa que ya no se ve en los MAPAS 8 y 9 con las barreras; fue debido al uso de puntos de alta temperatura en las zonas áridas detrás de la Sierra para la interpolación.

En los MAPAS 7 y 8 se nota una disminución gradual de la temperatura hacia la Sierra por el patrón paralelo de las isotermas. El MAPA 9 ensancha notablemente la zona comprendida entre las dos curvas de nivel de 1000m en ambas vertientes de la Sierra, desapareciendo el patrón paralelo e imprimiendo más símbolos correspondientes a bajas temperaturas que en los otros dos mapas.

El mejor mapa para el análisis de la temperatura en el estado de Guerrero es el MAPA 8 por incluir el efecto del relieve; el MAPA 9 no es recomendable para un análisis general por la complejidad de distribución que presenta.

En general los mapas de isotermas resultaron mucho más complejos que los de isoyetas, sobre todo comparando los MAPAS 6 y 9. Probablemente hubiera resultado más sencillo el análisis si el número de clases para temperatura fuera menor, por ejemplo 5 clases y que el intervalo entre isotermas quedara de 2.196°C en vez de 1.098°C.

Aparentemente los MAPAS 6 y 9 no se pueden interpretar por la llamada "confusión visual (eye pollution)". Sin embargo tienen la ventaja de ser más exactos en el cálculo de cada posición de impresión, siendo excelentes para el estudio detallado de pequeñas zonas y no para analizar la dinámica del fenómeno sobre el área. Para propósitos generales, los MAPAS 5 y 8 son más aconsejables. La introducción de tres barreras fue quizás una exageración por la complejidad que presenta al análisis y además por encarecer el mapa final debido al aumento de tiempo de máquina necesario para sus cálculos. (ver el CUADRO 1 de Tiempos de Procesador, para el tiempo de máquina que se llevó cada mapa y el número de líneas impresas).

En todos los MAPAS excepto el 4, y sobre todo en el 6 y el 9, aparecen zonas de confusión en la simbología, sucede porque hay un cambio muy brusco de un valor a otro en una zona reducida donde no caben los caracteres para representarlo, y el programa opta por imprimir algunos y dejar el resto en blanco.

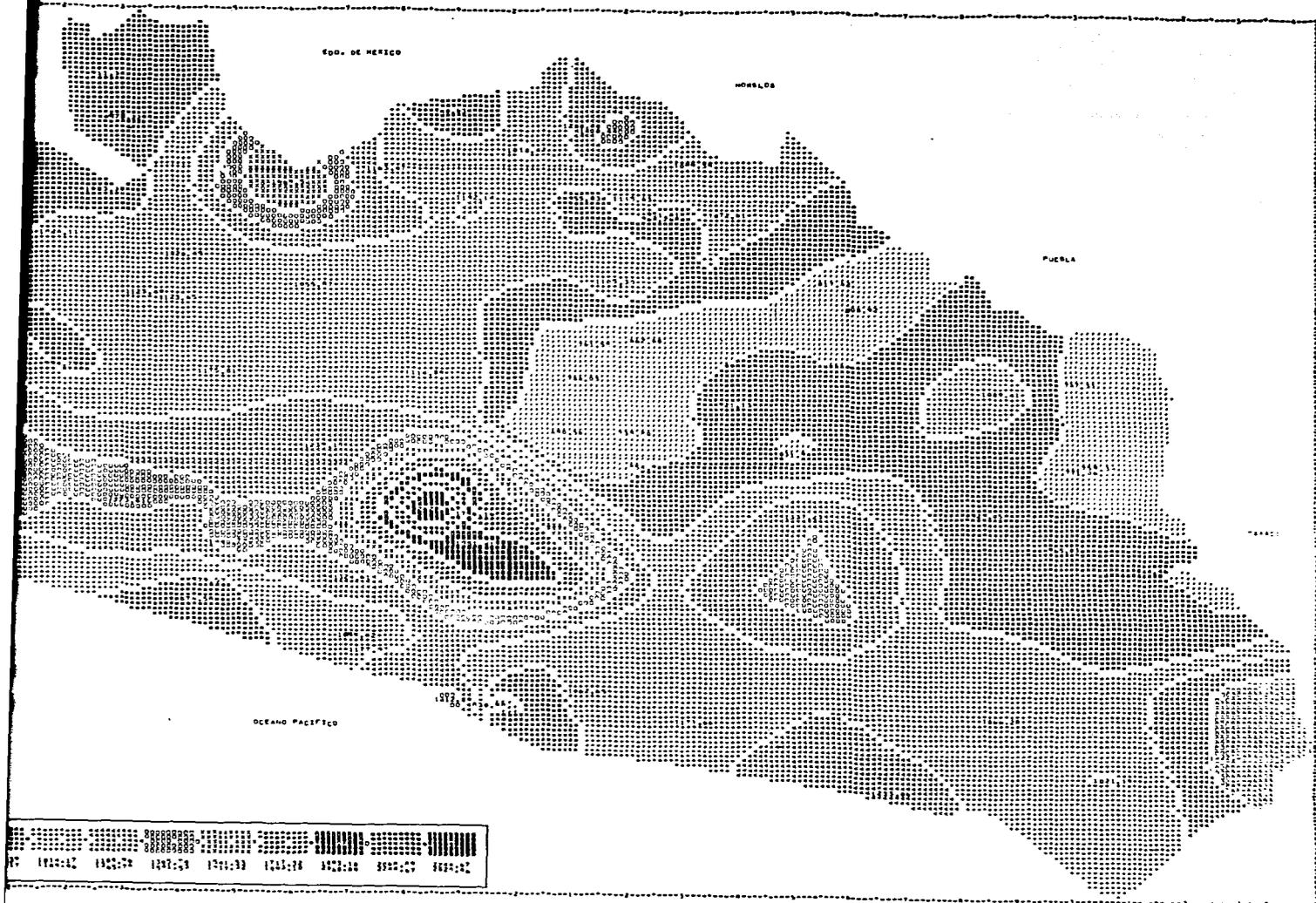
El radio de búsqueda calculado por el programa para los data-points cercanos, fue de 11.3439 cm para los MAPAS 4, 5 y 6, y de 11.9835 cm para los MAPAS 7, 8 y 9.

NOTA:

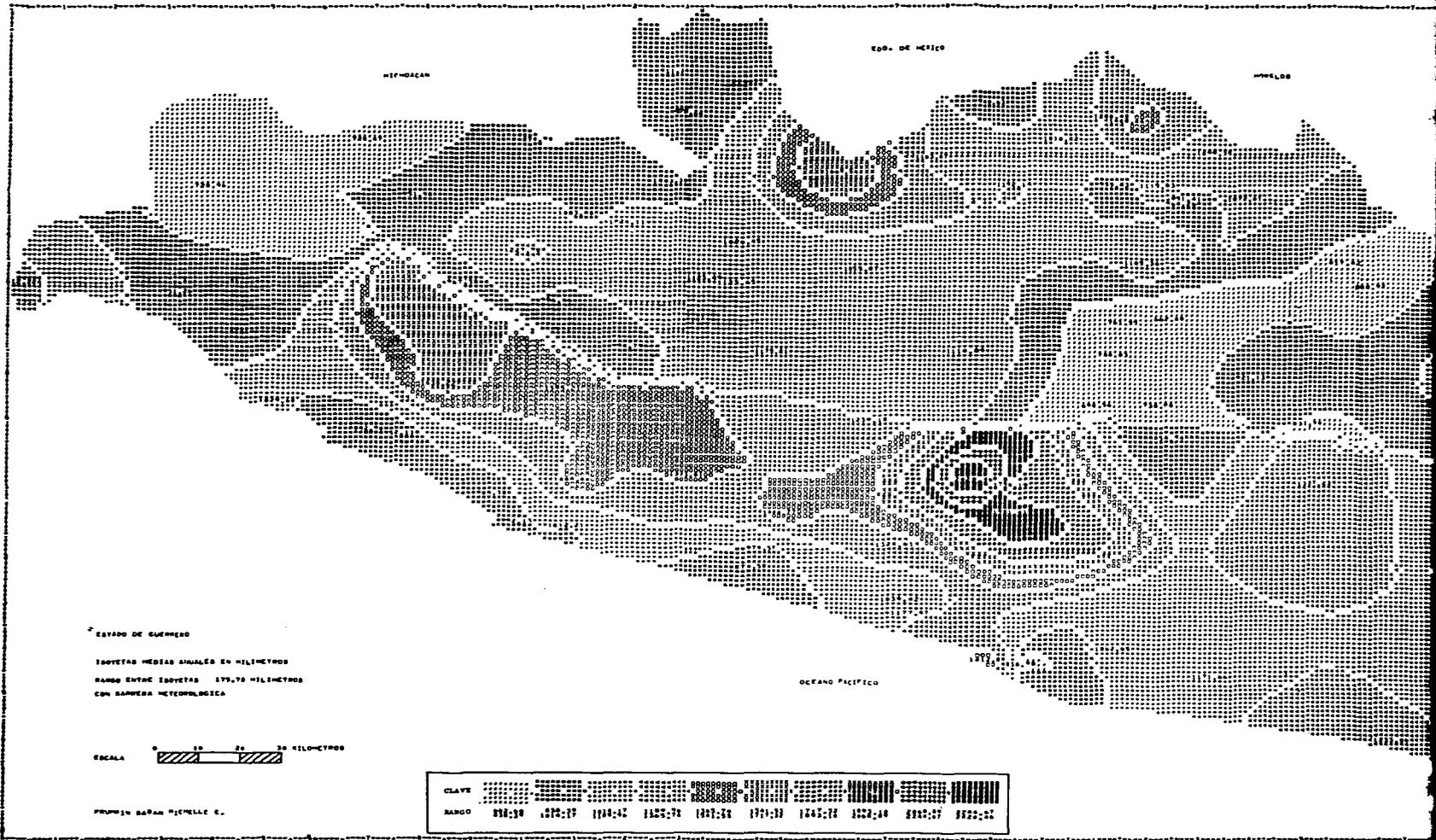
el valor de la precipitación para la estación meteorológica de Palos Altos fue mal alimentada a la computadora, pues en vez de darle su valor de 1169.5 mm se le dio 1669.5 mm. Esto explica la alta precipitación que el programa señala a su alrededor. La interpretación correcta es que tiene un valor muy semejante a sus estaciones vecinas y debería aparecer como parte de la zona húmeda uniforme.

Este error afectó los MAPAS 4, 5 y 6 donde debería aparecer con símbolos "+", y los MAPAS 10 y 11 donde debería estar con símbolos "=".





MAPA 4

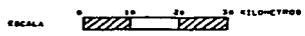


ESTADO DE GUERRERO

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN MILIMETROS

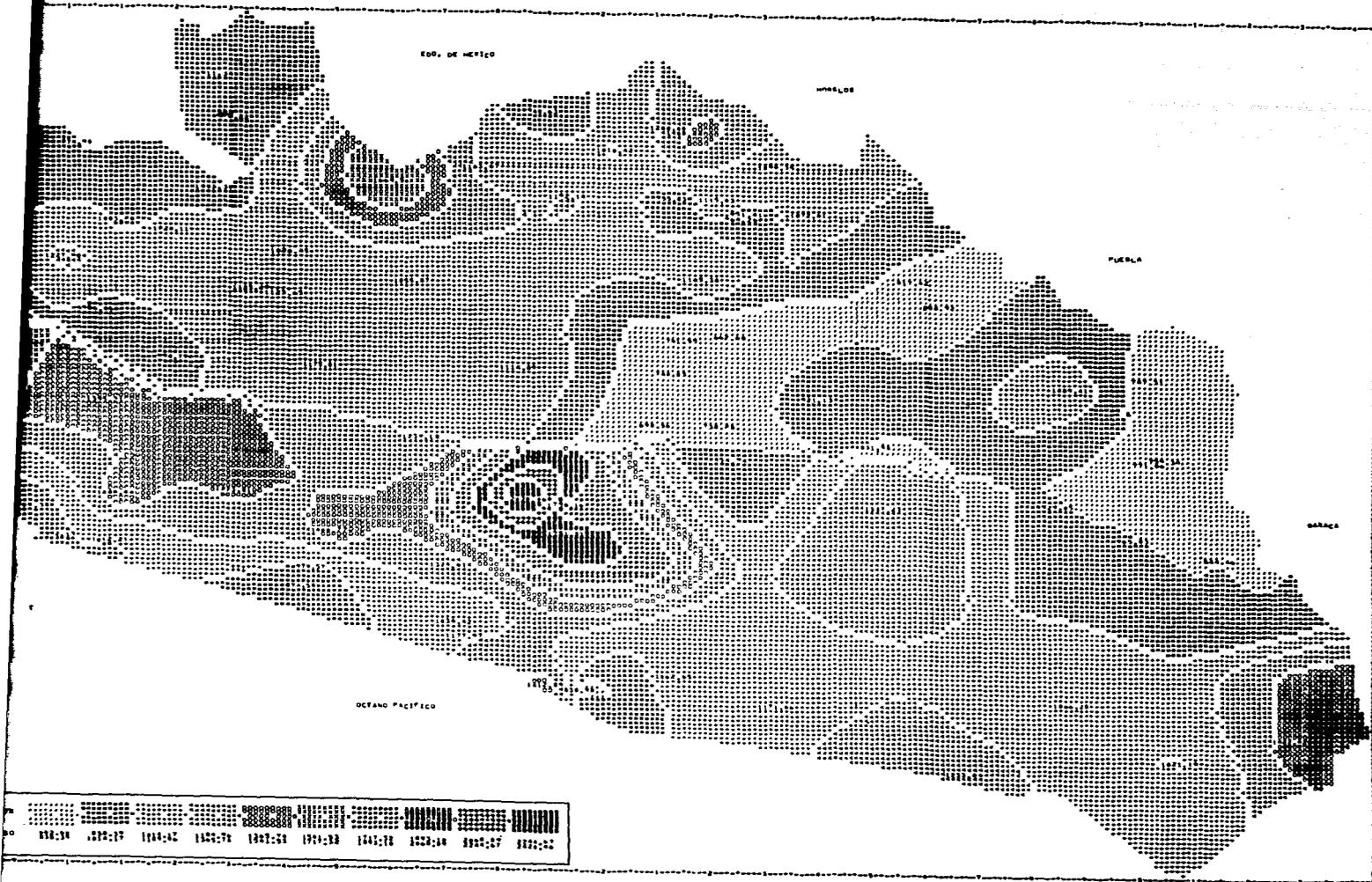
RANGO ENTRE ISOTERMAS 175.75 MILIMETROS

CON BARRERA METEOROLOGICA



FRUNZEN BARAN MICHELLE E.

CLAVE	850:50	875:75	900:00	925:25	950:50	975:75	950:50	925:25	900:00	875:75	850:50
RANGO	850:50	875:75	900:00	925:25	950:50	975:75	950:50	925:25	900:00	875:75	850:50

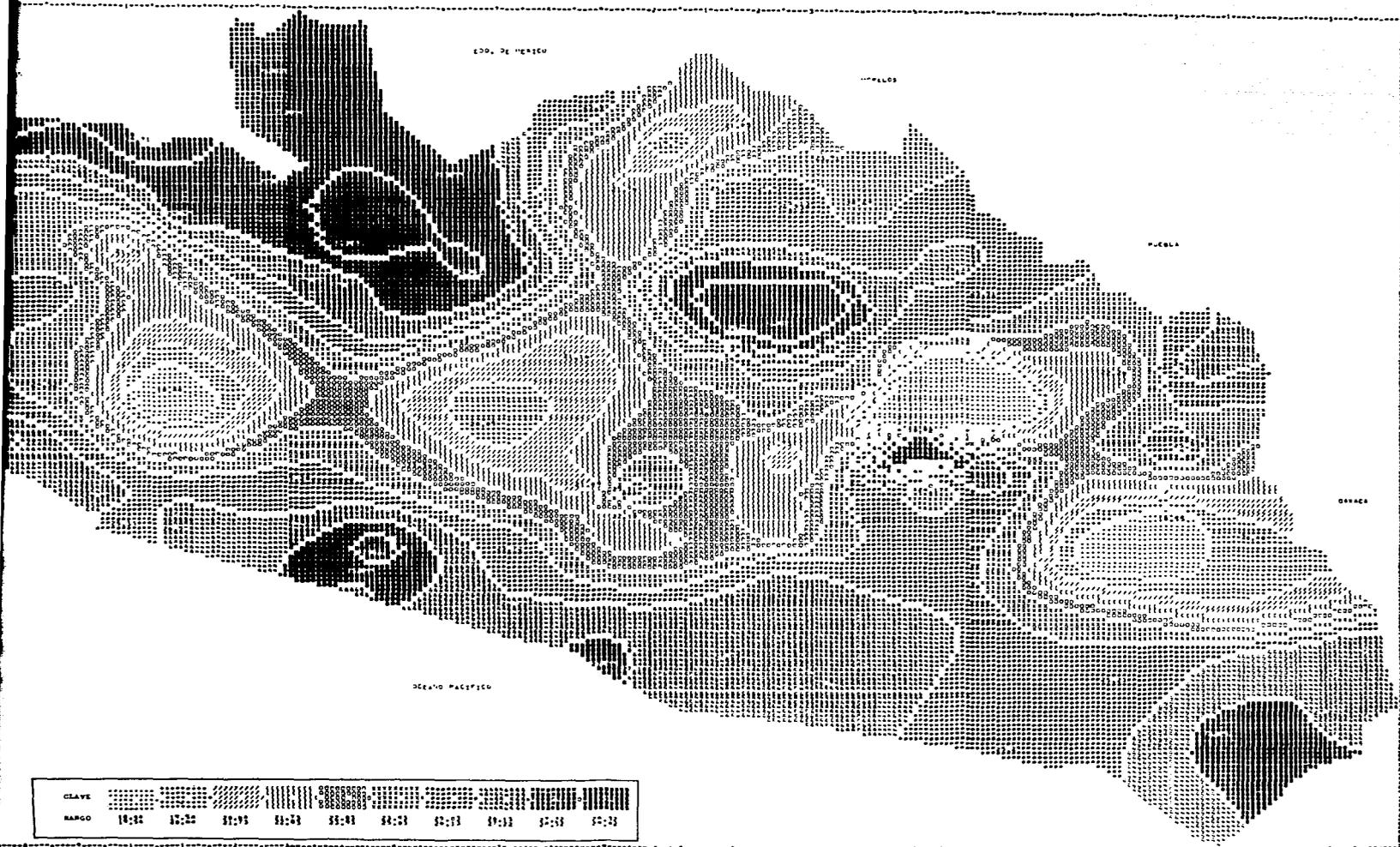


MAPA 5









E.O. DE MEXICO

MEXICO

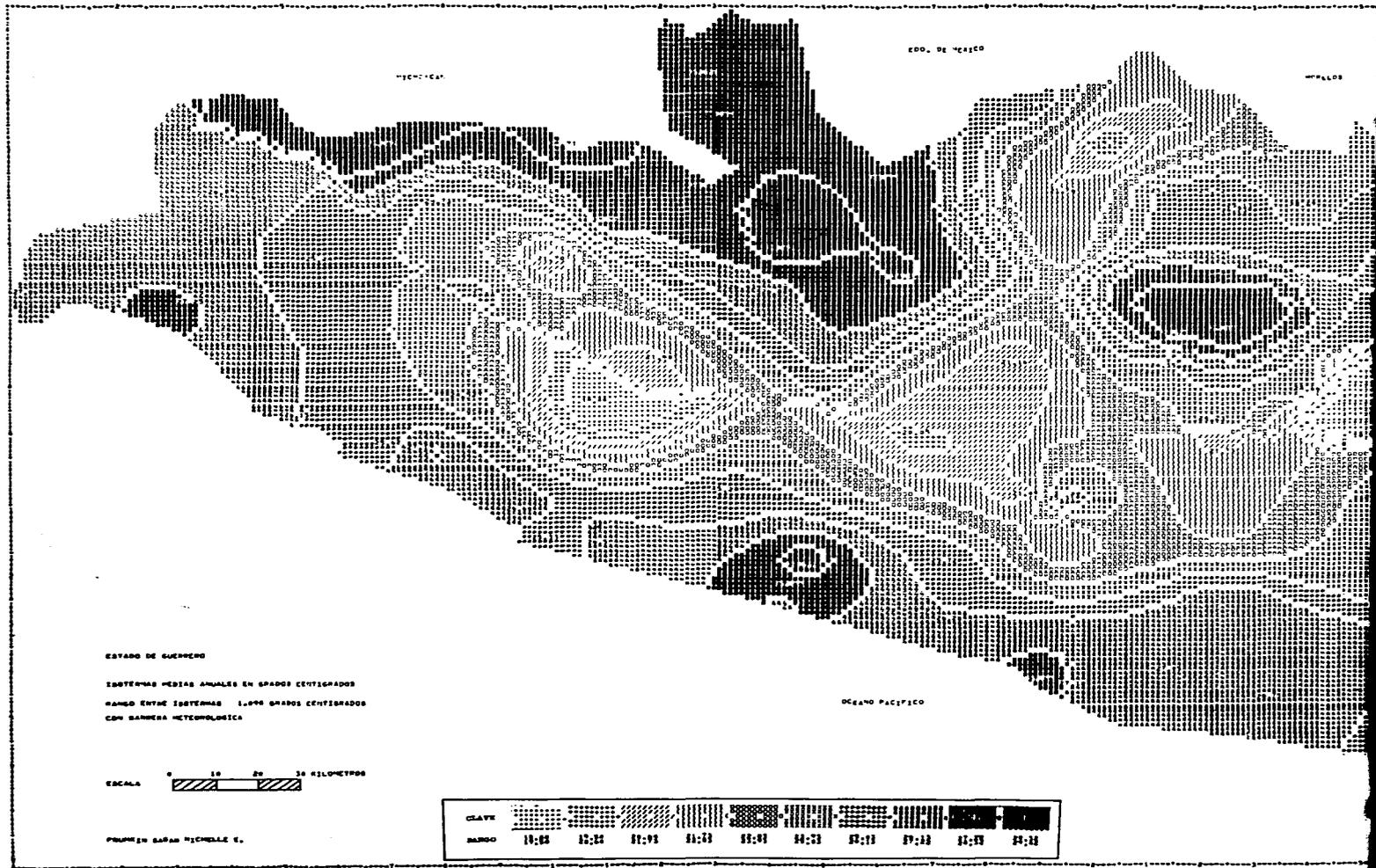
GUATEMALA

CARIBE

OCEANO PACIFICO

CLAVE	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110
MARGO	[Pattern]									

MAPA 7



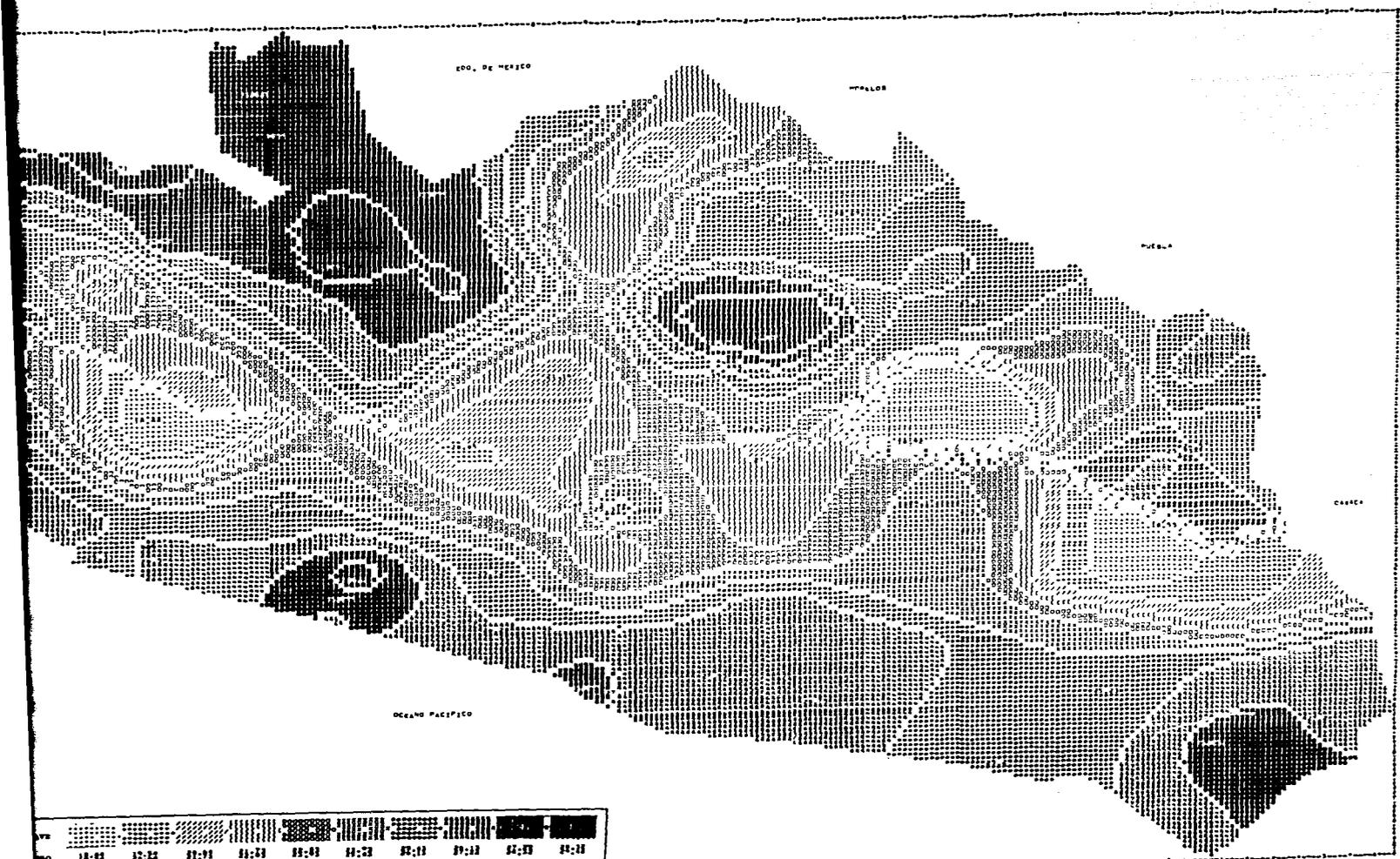
ESTADO DE GUERRERO

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN GRADOS CENTIGRADOS  
 RANGO ENTRE ISOTERMAS 1.000 GRADOS CENTIGRADOS  
 CON BARRERA METEOROLOGICA

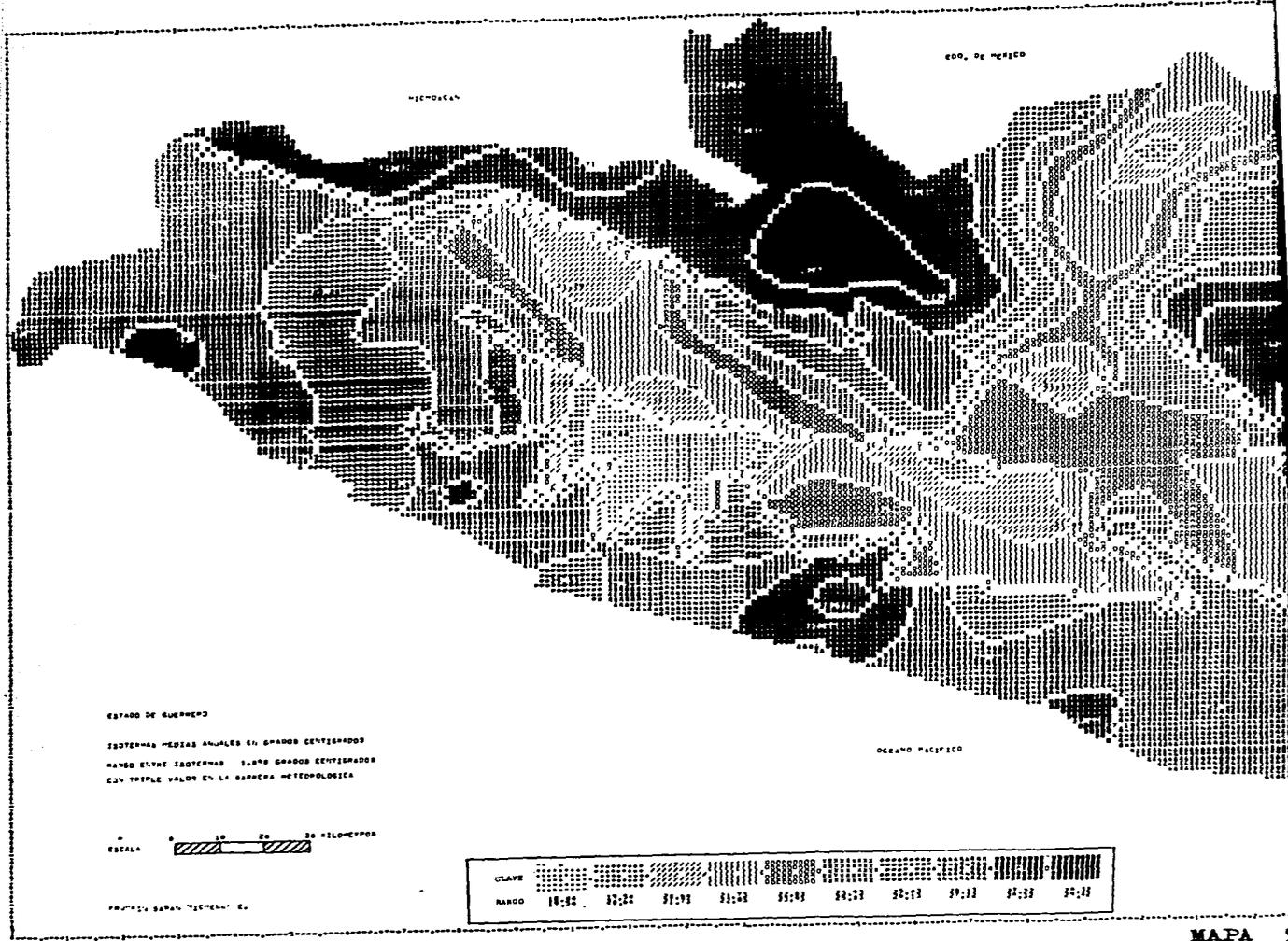
ESCALA 0 10 20 30 KILOMETROS

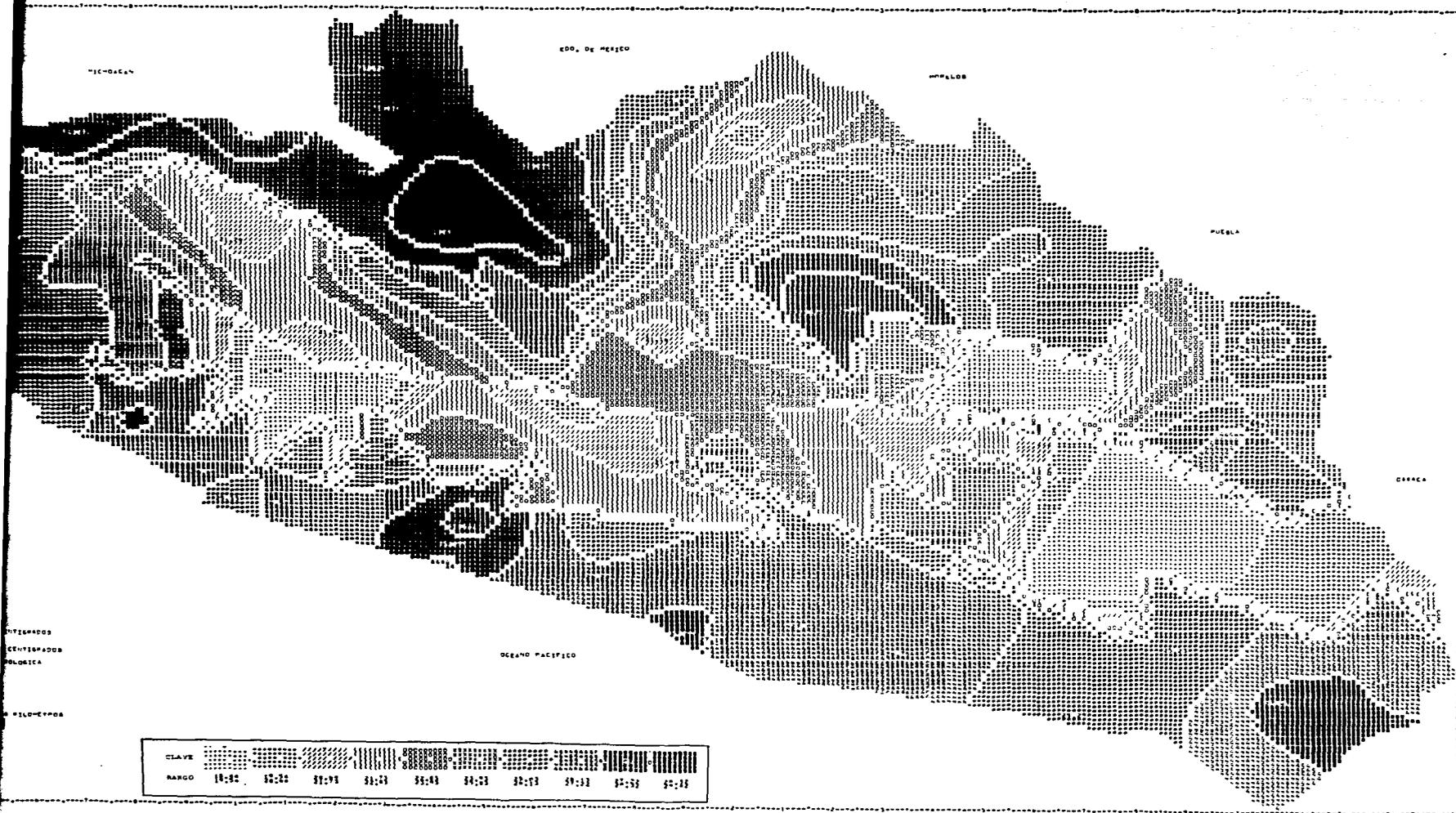
PROYECTO SARAH MICHELLE S.

CLAVE	ISOTERMAS	RANGOS
10:04	12:04	11:03
11:03	13:03	12:02
12:02	14:02	13:01
13:01	15:01	14:00
14:00	16:00	15:00
15:00	17:00	16:00
16:00	18:00	17:00
17:00	19:00	18:00
18:00	20:00	19:00
19:00	21:00	20:00



MAPA 8





MAPA 9

Este tipo de mapas, llamados en inglés 'Proximal Maps', se basan en el método de los polígonos de Thiessen, que se aplica a problemas de Hidrología donde se requiere conocer la altura media de la precipitación sobre una superficie. Estos mapas quedan dentro de la clasificación de mapas coropléticos.

"El método de Thiessen asume que el valor observado en una estación se puede aplicar hasta la mitad de la distancia a la siguiente estación, en cualquier dirección"<sup>1</sup>.

La zona de influencia de una estación dentro del conjunto, se limita mediante la construcción de una red de polígonos. Para esto es necesario localizar las estaciones en la zona de estudio y seguir los pasos para su construcción: (Fig. 9)

- 1.- Unir las estaciones más cercanas entre sí mediante triángulos
  - 2.- Bisectar cada línea de unión con una perpendicular
  - 3.- Prolongar las perpendiculares hasta formar los polígonos.
- Cada polígono incluye una y sólo una estación. Los límites de los polígonos se continúan hasta el borde de la zona de estudio.

Cada polígono representa el área tributaria de una estación. El conjunto de polígonos debe alterarse cada vez que cambie el número de estaciones o su distribución.

Para calcular el volumen de precipitación sobre la superficie inscrita en un polígono, se multiplica el área del polígono por los mm de lluvia registrados en la estación. Para el cálculo del volumen total precipitado sobre la zona de estudio, se suman los volúmenes de lluvia de cada polígono. Para conocer la precipitación media de la zona de estudio, se divide el volumen total precipitado entre el área de la zona.

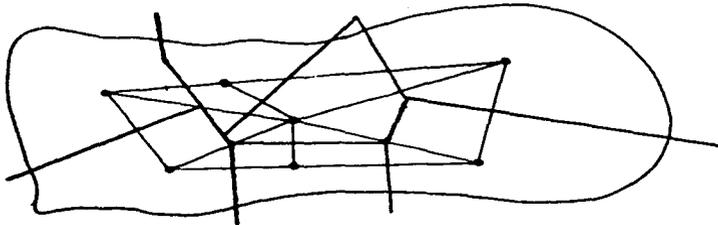


Fig. 9 Construcción de la Red de Polígonos

<sup>1</sup>Chow, Ven Te, op. cit., Part IV Sequential Generation of Hydrolic Information, Section 9 Rainfall, pg. 9-28.

### III.1 METODO SYMAP PARA LA CONSTRUCCION DE POLIGONOS DE THIESSEN

Se basa en la proximidad a un data-point, asumiendo que éste es representativo de su vecindad. Cada caracter del mapa es asignado el valor del data-point más cercano, derivando así el símbolo que le corresponde a cada posición de impresión por el mismo sistema de clases y simbología explicado anteriormente. Los límites de los polígonos quedan marcados a lo largo de la línea donde cambian los valores.

Este tipo de mapa requiere en particular de tres Opciones (31, 36 y 37) de F-MAP. Las tres Opciones se especifican al programa, junto con todos los demás datos que se alimentan a la computadora, pero las tarjetas donde van indicadas se dejan en blanco.

#### Opción 31 - Extrapolación Fraccionaria Relativa

El programa puede extrapolar arriba del valor local más alto o debajo del menor, siempre y cuando quede en el rango de las pendientes computadas para los valores locales. Las pendientes de los data-points de una zona, indican si es posible que exista un valor más alto o más bajo que el resto de ellos. Mediante esta Opción se fija el límite a la extrapolación local, pero para los mapas de polígonos se deja en blanco para asegurar que no haya extrapolación alguna.

#### Opción 36 - Número de Data-Points para la Interpolación

Esta Opción especifica el número mínimo y máximo de data-points que serán usados para la interpolación, siempre y cuando no excedan el radio máximo de búsqueda. El programa tiene un default de 4 puntos como mínimo y 10 como máximo, pero al especificar la Opción 36 en el F-MAP y dejarla en blanco, no habrá puntos con los cuales interpolar.

#### Opción 37 - Red de Interpolación

Da al usuario control sobre el espaciamiento de los puntos de control en términos de las posiciones de impresión, para formar la red regular de puntos. Al dejar esta Opción en blanco, no habrá puntos de control que calcular.

### III.2 ELABORACION DE LOS MAPAS DE POLIGONOS DE THIESSEN POR SYMAP

Se usan los mismos paquetes, en el mismo orden y con los mismos datos de entrada, que para los Mapas Isopléticos descritos en el CAPITULO II. La única diferencia es en el paquete F-MAP.

Las Opciones que se usaron del F-MAP son las siguientes:

- Opción 1 - para el tamaño del mapa, 22.75 plg. en la vertical y 34.38 plg. en la horizontal.
- Opción 3 - para los MAPAS 10 y 11 de precipitación se especificaron 10 clases, pero para los MAPAS 12 y 13 sólo se escogieron 5 para evitar la tremenda subdivisión que sucedió en los mapas de isotermas.
- Opción 7 - para escoger la simbología que representará el rango de valores de cada clase. NOTA: los símbolos se confunden por la falta de nitidez en la impresión de los mapas.

- Opción 31 - para evitar la extrapolación
- Opción 36 - para detener la interpolación con data-points
- Opción 37 - para detener el cálculo de puntos de control.

Los MAPAS 10 y 11 representan la precipitación media anual, y los mapas 12 y 13 la temperatura media anual. Los MAPAS 11 y 13 tienen señalada la cresta de la Sierra Madre del Sur, y son los mapas que deben usarse para el análisis, pues no es real que la zona de influencia de una estación en una vertiente de la Sierra llegue hasta el otro lado.

Las posiciones de impresión que quedaron en blanco, corresponden a la localización de las estaciones meteorológicas.

Algunos usos para este tipo de mapa, además de las aplicaciones en la Hidrología, podrían ser: para señalar el área de influencia de una ciudad, para el alcance de una estación meteorológica, o para determinar la zona a la que tienen que dar servicio las escuelas rurales o los centros médicos.

"Los valores de los data-points pueden llegar a ser cualitativos y no cuantitativos, por lo cual un mapa isoplético que despliega un campo continuo no sería correcto. Por ejemplo datos para estudios de uso del suelo, zonas de mercado o estudios edafológicos".

### III.3 ANALISIS Y DIFERENCIAS ENTRE LOS MAPAS

La única diferencia entre los MAPAS 10 y 11 de precipitación y entre los MAPAS 12 y 13 de temperatura, es la introducción de la cresta de la Sierra Madre del Sur como barrera a los polígonos.

Si se comparan los dos mapas de cada juego, se verá que en realidad no fue grande la alteración que causó la barrera. Los polígonos que no entran en contacto con la Sierra quedan igual, y los polígonos que cruzaban la Sierra fueron cortados para no atravesar la cresta o extendidos para llegar hasta ella; sin embargo no fueron tampoco muy grandes los cambios, indicando claramente la diferencia entre los valores que registran las estaciones en ambas vertientes de la Sierra.

Para el análisis del clima son más representativos los MAPAS 11 y 13 por introducir el efecto del relieve, puesto que la zona de influencia de una estación meteorológica no puede cruzar indistintamente una cima tan alta como es la Sierra Madre del Sur.

En el MAPA 11 de precipitación, sólo el polígono al extremo oeste atravesó la barrera; corresponde a la tercera zona árida del estado y al punto donde la Sierra tiene la menor altura. Se debe a que las dos estaciones que quedaron incluidas en el polígono tienen el mismo valor.

<sup>1</sup>Dougcnik, James A. and Sheehan, David E., op. cit., Section II/pg.6.

En el MAPA 13 de temperatura, dos polígonos atravesaron la barrera en diferentes lugares, también sucedió por unir valores semejantes que quedaban dentro del rango de la misma clase.

En teoría, según el método de Thiessen, debe quedar solamente una estación en cada polígono; SYMAP trabaja con rangos de clases, por lo cual todas las estaciones cercanas que por su valor queden en la misma clase también quedaron incluidas en el mismo polígono. Esto presenta varias ventajas: en un polígono se representa toda una zona de características semejantes, por ejemplo en el MAPA 13 la zona árida del Valle de Chilpancingo y Cañón del Zopilote, y el polígono que incluye las llanuras del Balsas; la otra ventaja es que teniendo 83 estaciones, si el programa hubiera impreso 83 polígonos, sería prácticamente imposible de analizar.

En general, los mapas de este tipo son mucho más fáciles de analizar que los de isolíneas, pues inmediatamente y sin detallado estudio se ve la distribución y características del fenómeno sobre el área de estudio. Por ejemplo, en el MAPA 11 se ve que la mayor precipitación se queda en la costa y que del otro lado de la Sierra se presentan tres zonas áridas. También queda señalada la zona total de alcance de la alta precipitación que se registra en la estación meteorológica de El Coatepec. En el MAPA 13 se ven claramente las mayores temperaturas en plena costa y sobre el recorrido del Balsas, en cambio las menores temperaturas van siguiendo la dirección de la cresta de la Sierra Madre del Sur.

El radio de búsqueda calculado por el programa para los MAPAS 10 y 11 fue de 4.0107 cm, y para los MAPAS 12 y 13 fue de 4.2368 cm.

El tiempo de máquina (CUADRO 1) que se llevaron los MAPAS 10 y 12 para los cálculos e impresión, es casi igual al que se llevaron los mapas isopléticos sin barrera. Al introducir la barrera en los MAPAS 11 y 13, sube considerablemente el tiempo de máquina y número de líneas impresas, encareciendo la producción de los mapas; para este caso valió la pena, pues sin la barrera los polígonos no son realmente significativos.

A continuación se presenta un cuadro con los tiempos de máquina que se llevó cada mapa en la computadora y el número total de líneas impresas, para todos los mapas por SYMAP de este estudio.

NOTA:

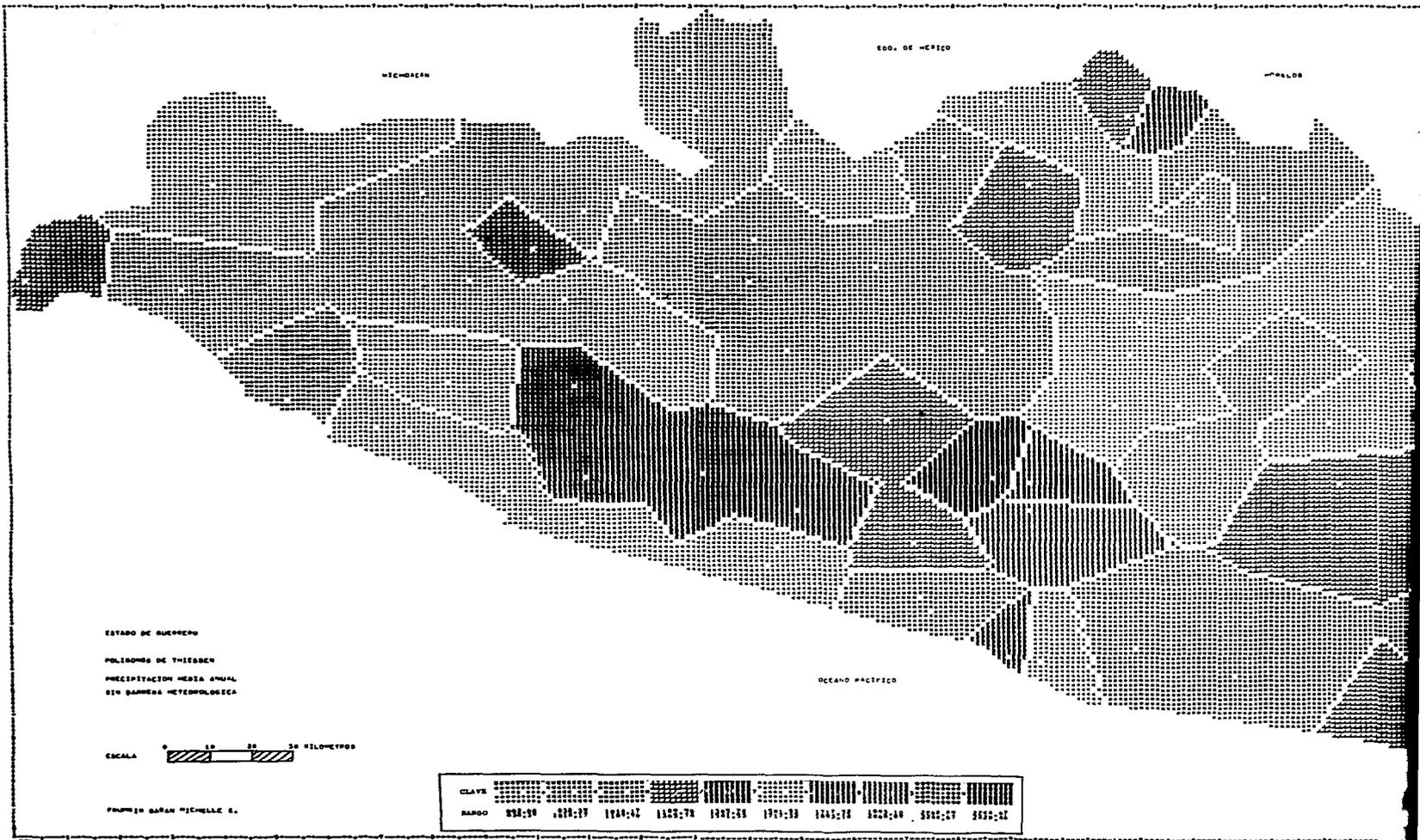
el valor de la precipitación para la estación meteorológica de Palos Altos fue mal alimentada a la computadora, pues en vez de darle su valor de 1169.5 mm se le dio 1669.5 mm. Esto explica la alta precipitación que el programa señala a su alrededor. Este error afectó los MAPAS 4, 5 y 6 donde debería aparecer con símbolos "+", y los MAPAS 10 y 11 donde debería estar con símbolos "=".

CUADRO 1

TIEMPOS DE PROCESADOR

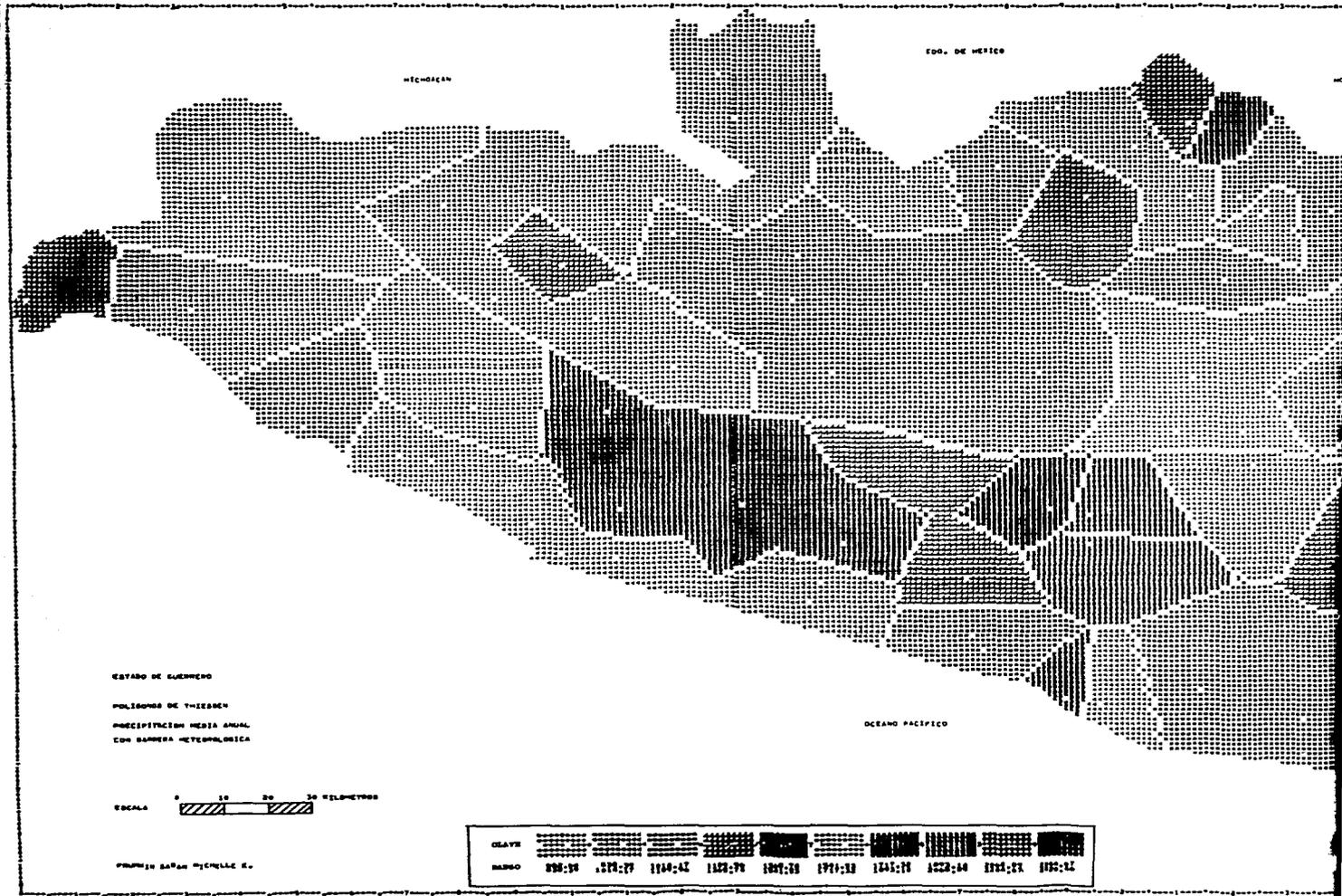
Mapa	Título	SEC CPU	Líneas Impresas
3	Regiones Hidrológicas	96.509	1 496
4	Isoyetas Medias Anuales sin Barrera Meteorológica	232.864	965
5	Isoyetas Medias Anuales con Barrera Meteorológica	505.068	1 012
6	Isoyetas Medias Anuales con Triple Barrera Meteorológica	1 044.117	1 038
7	Isotermas Medias Anuales sin Barrera Meteorológica	226.632	1 147
8	Isotermas Medias Anuales con Barrera Meteorológica	395.118	1 158
9	Isotermas Medias Anuales con Triple Barrera Meteorológica	1 058.315	1 232
10	Póligonos de Thiessen para Precipitación Media Anual sin Barrera Meteorológica	229.668	1 240
11	Póligonos de Thiessen para para Precipitación Media Anual con Barrera Meteorológica	387.810	1 410
12	Póligonos de Thiessen para Temperatura Media Anual sin Barrera Meteorológica	271.157	1 574
13	Póligonos de Thiessen para Temperatura Media Anual con Barrera Meteorológica	429.299	1 744

SEC CPU - segundos de Central Processing Unit

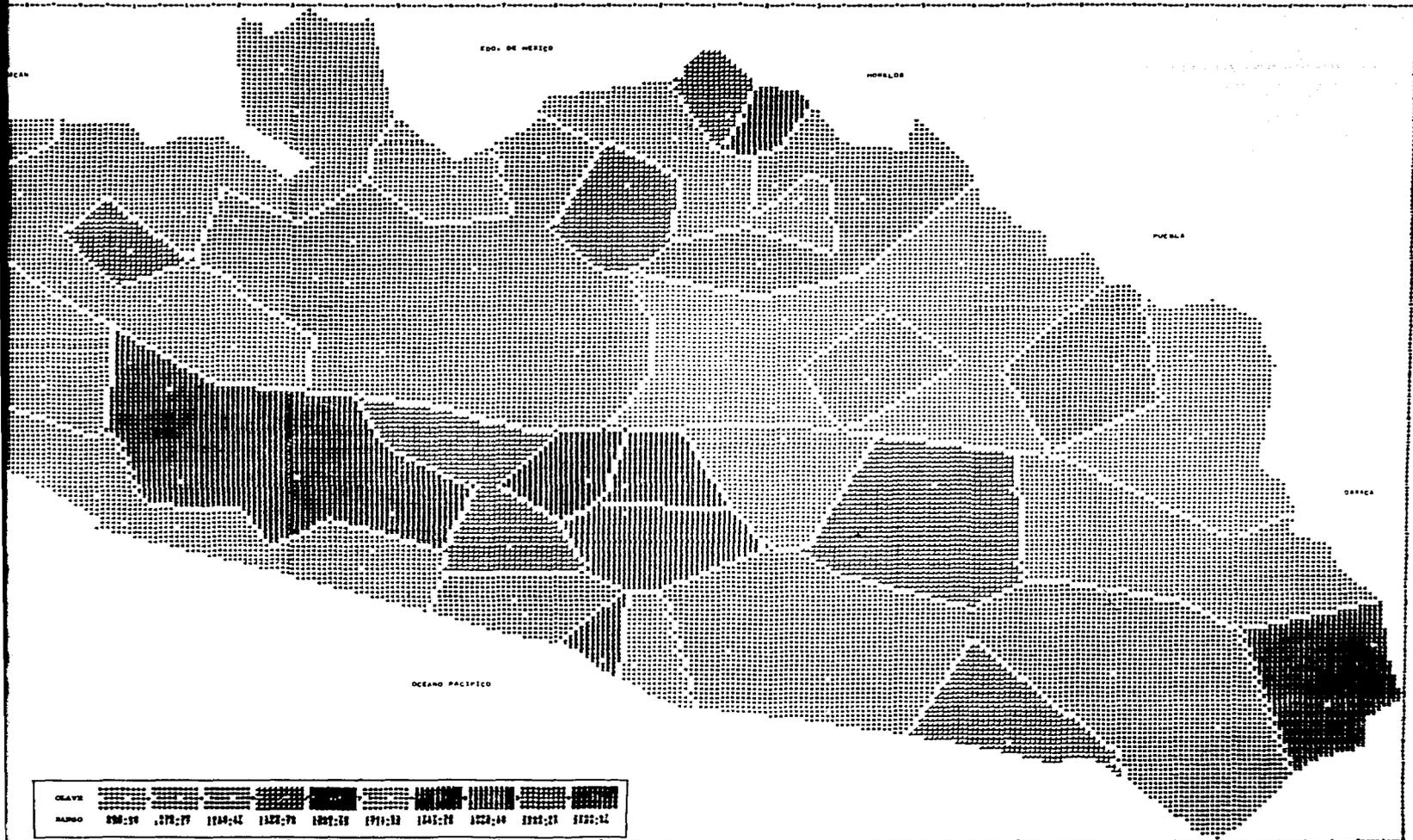


MAPA 10

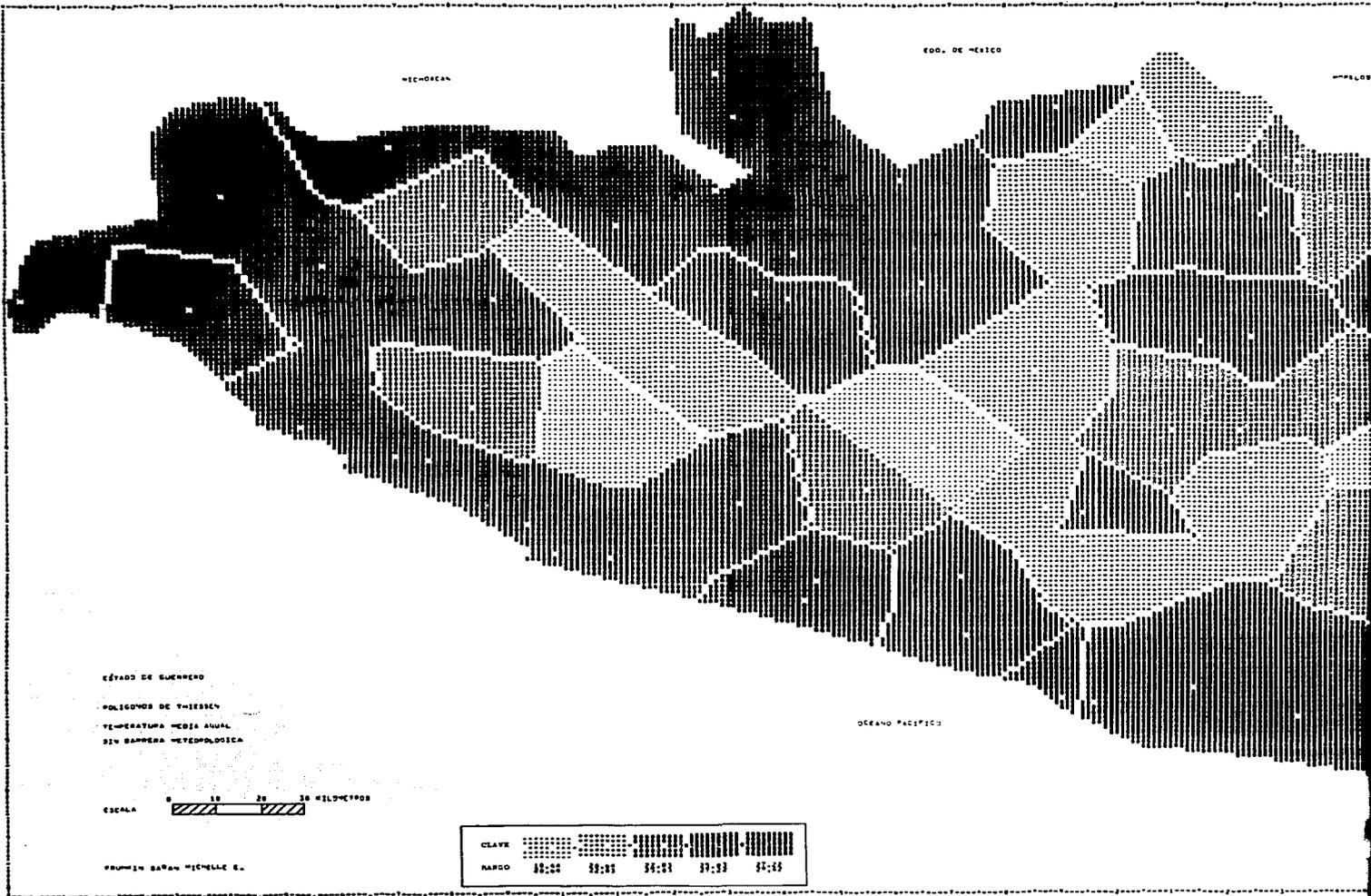


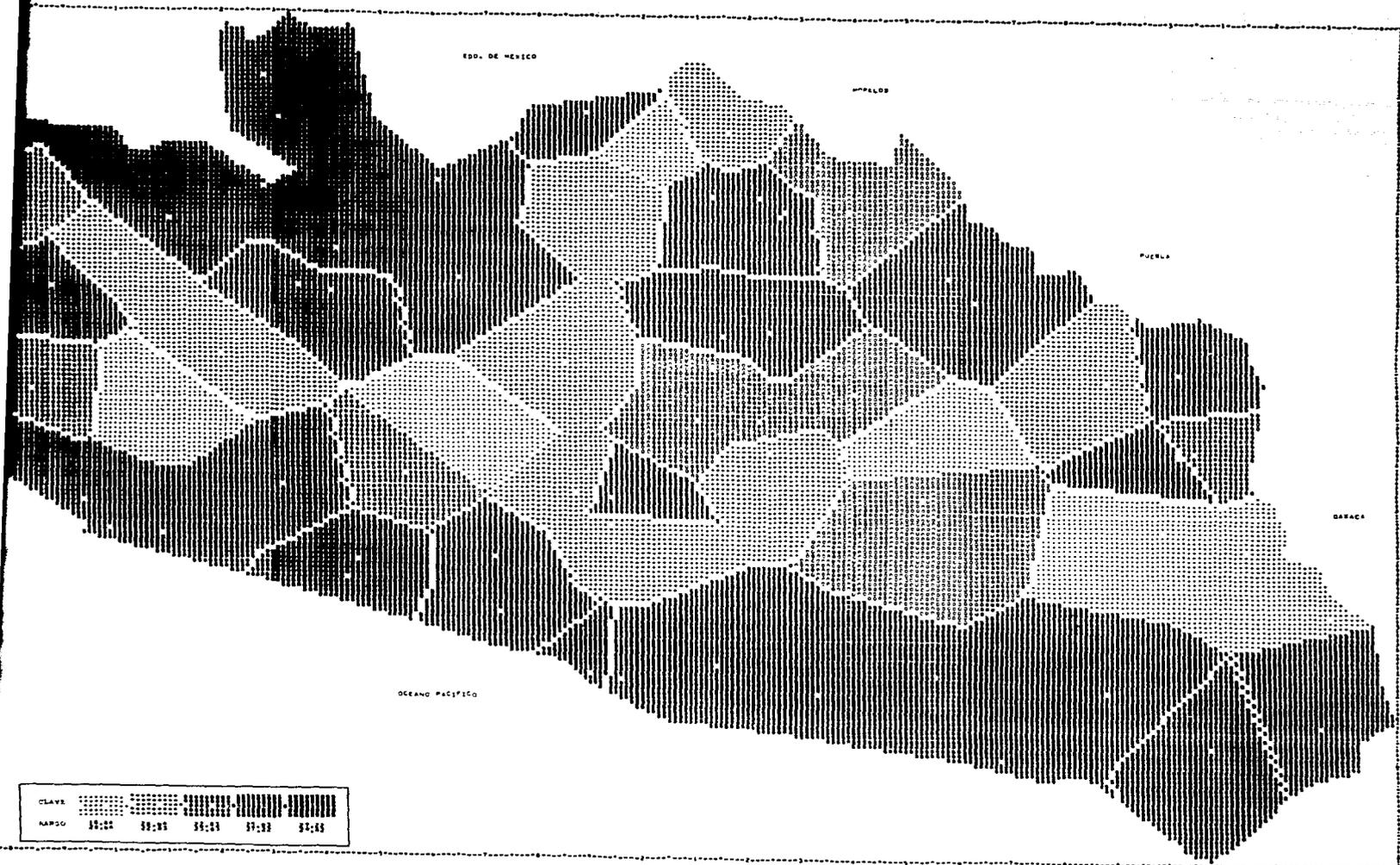


MAPA 11



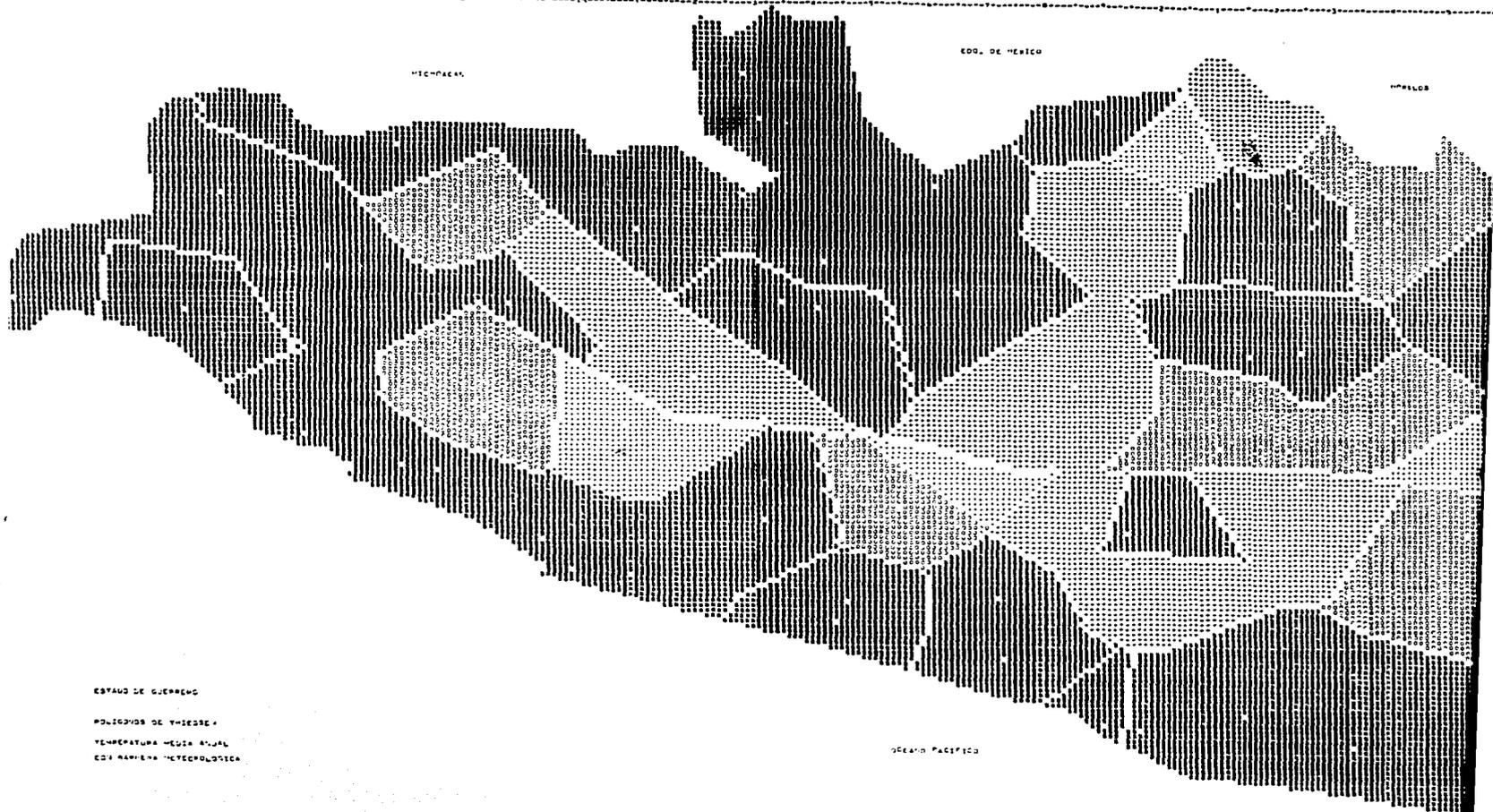
MAPA 11





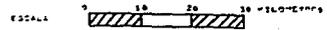
CLAVE	0-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	6000-7000	7000-8000	8000-9000	9000-10000
MAPA	01:00	01:01	01:02	01:03	01:04	01:05	01:06	01:07	01:08	01:09

MAPA 12



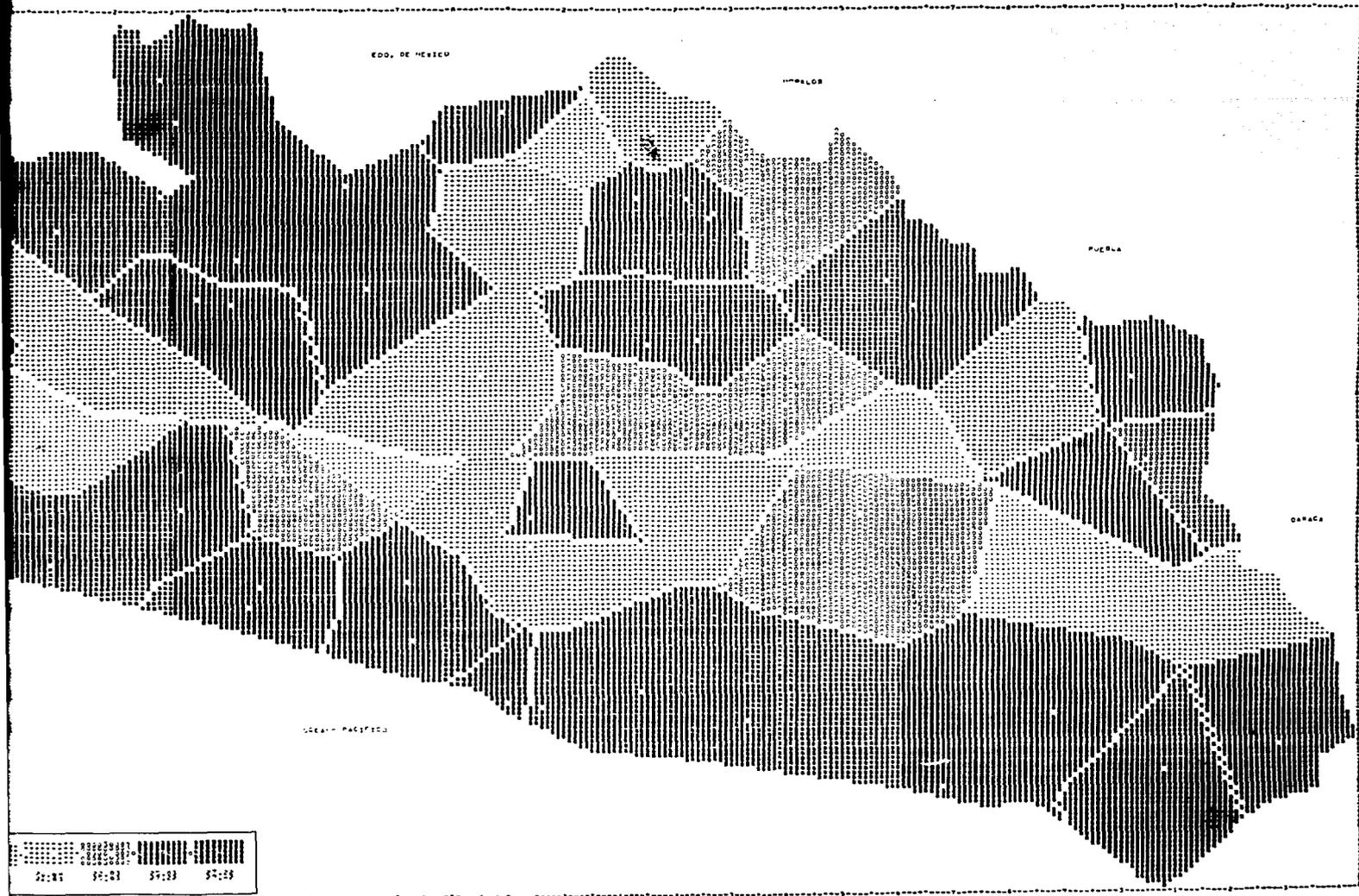
ESTADO DE GUERRERO

POSICIONES DE TIERRAS  
 TEMPERATURA MEDIA ANUAL  
 EN LA ZONA METEOROLOGICA



ELABORADO POR SARAH MICHELLY ET AL.

CLAVE:	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000	0000000000
VALOR:	00:00	01:01	02:02	03:03	04:04



MAPA 13

## CAPITULO IV

FISIOGRAFIA Y ESTACIONES METEOROLOGICAS  
DEL ESTADO DE GUERRERO

Los límites políticos del estado de Guerrero son:

- NW - Estado de Michoacán
- N - Estado de México y Estado de Morelos
- NE - Estado de Puebla
- E - Estado de Oaxaca
- S y SW - Océano Pacífico con 374 Km de costa

## IV.1 FISIOGRAFIA DEL ESTADO DE GUERRERO

La orografía del estado está formada por las estribaciones meridionales de la Sierra Volcánica Transversal, y por la Sierra Madre del Sur que va desde Cabo Corrientes en Jalisco hasta el Istmo de Tehuantepec, atravesando Guerrero con una dirección NNW a SSE.

La Sierra Madre del Sur corre paralela y próxima a la costa del Océano Pacífico, dejando una llanura costera angosta de Zacatula a Acapulco, y otra llanura más ancha hasta Oaxaca. En algunos sitios penetra al mar para formar acantilados y bahías. Entre las bahías se pueden citar las de Acapulco, Zihuatanejo, Petatlán e Ixtapa.

De NW a SE, la Sierra Madre del Sur recibe los nombres locales de Sierra de la Cuchilla, Cumbres de la Tentación (con la cima más alta llamada Cerro de Teotepec de 3705m), Sierra de Campo Morado, Sierra de Igualatlaco y Sierra de Malinaltepec.

La Sierra tiene 100 Km de ancho como promedio. En la parte media se encuentran los valles de Chilpancingo, Chilapa y Tixtla. En el tramo Mezcala-Chilpancingo está el llamado Cañón del Zopilote que registra poca precipitación y altas temperaturas. La parte oriental de la Sierra Madre del Sur se llama la Mixteca Guerrerense.

Al norte, en las estribaciones meridionales de la Sierra Volcánica Transversal, están los valles de Iguala, Taxco, Tepecoacuilco y Huitzaco.

Los ríos del estado de Guerrero pertenecen a la vertiente del Océano Pacífico. El Río Balsas es el más importante, tiene su origen en el Valle de Puebla con el Río Atoyac o Poblano, éste se une al Río Mixteco para formar el Mezcala. Cuando el Río Mezcala se une al Cocula cambia de nombre a Río Balsas.

El Río Balsas corre con una dirección E-W encajonado entre las laderas boreales de la Sierra Madre del Sur y las laderas meridionales de la Sierra Volcánica Transversal, formando la Depresión del Balsas. Entre sus afluentes se cuentan los ríos

Amacuzac (que viene de Morelos), Tepecoacuilco, Teloloapan, Po-liutla e Ixtapan. El Río Balsas forma el límite entre los estados de Guerrero y Michoacán a partir de su unión con el Río Cutzamala, cruza la Sierra Madre del Sur por un estrecho cañón y desemboca al Océano Pacífico en un amplio delta con el nombre de Río Zacatula.

La parte más baja de la Cuenca del Balsas se encuentra hacia el oeste, alrededor de Cd. Altamirano, formando una llanura aluvial con altura promedio de 300 m sobre el nivel del mar. Es la conocida como Tierra Caliente, la zona más fértil y el granero del estado.

El estado de Guerrero abarca una gran porción de tres regiones hidrológicas<sup>1</sup>: (MAPA 3)

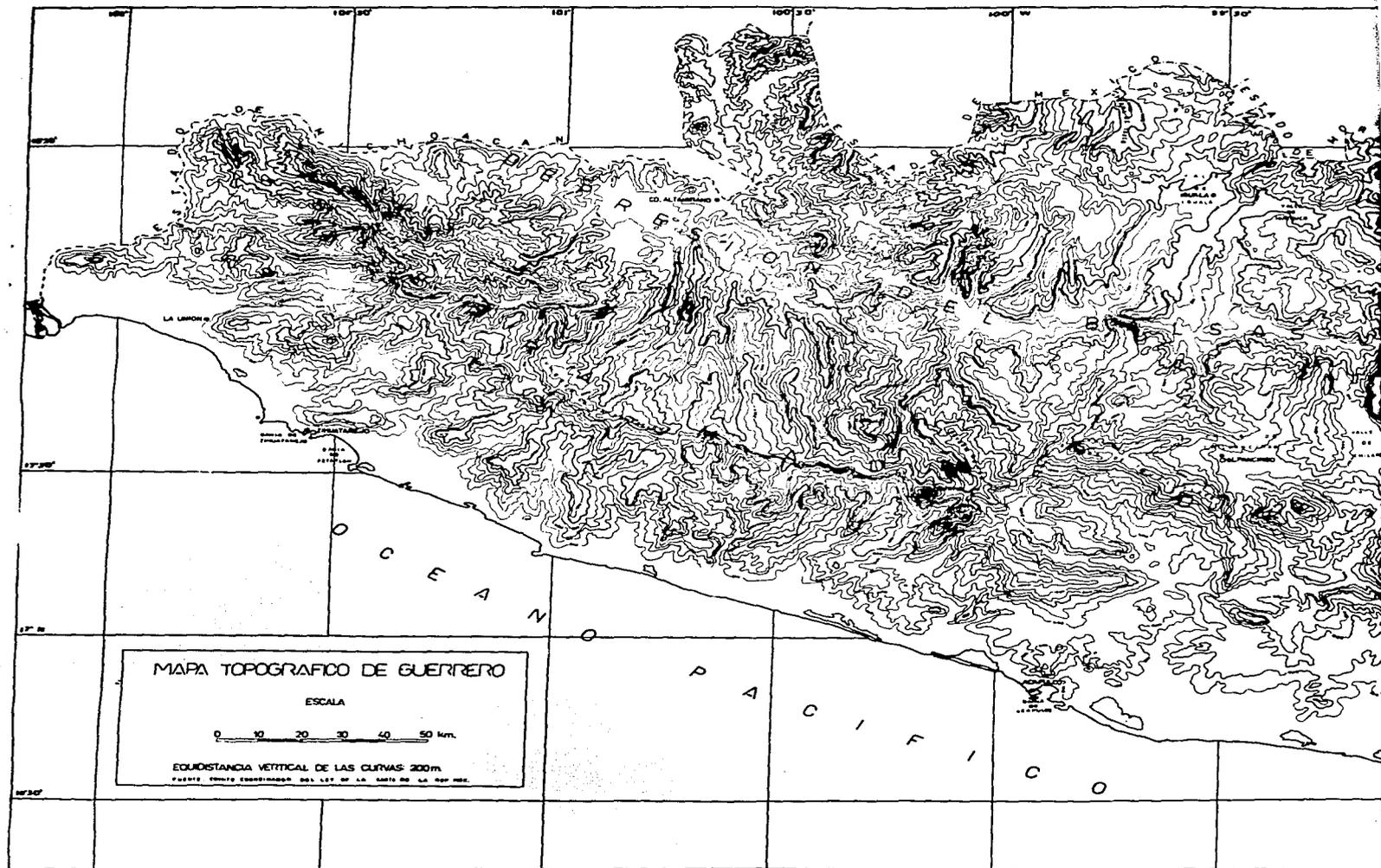
1. Región Hidrológica del Balsas
2. Región Hidrológica de Costa Grande (de la desembocadura del Río Balsas hasta Acapulco)
3. Región Hidrológica de Costa Chica-Río Verde (desde Acapulco hasta Oaxaca).

La altitud media de la cresta de la Sierra Madre del Sur es de 2500m. Esta cresta funciona como la línea divisoria de las aguas, marcando el límite entre la Región Hidrológica del Balsas y las otras dos. La Sierra de Campo Morado divide la Región Hidrológica de Costa Grande de la Región de Costa Chica-Río Verde.

En base al Mapa Topográfico (MAPA 1), se unieron los puntos más altos de la Sierra para formar la cresta. Esta línea se consideró como barrera meteorológica para la elaboración de los mapas por medio de SYMAP. Del mismo modo, para formar la triple barrera para la interpolación por SYMAP, se unieron puntos sobre las curvas de nivel de 1000m en ambas vertientes de la Sierra. SYMAP fija un límite de 50 puntos para las barreras, por lo cual las curvas de nivel quedaron burdamente representadas. (MAPA 2)

Los datos de las estaciones meteorológicas se analizaron agrupados según la región hidrológica correspondiente, pues el relieve es determinante al clima y es factible que cada región presente características diferentes. Esto se trata de demostrar en el CAPITULO VI de este estudio.

<sup>1</sup>Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección de Hidrología, "Boletín Hidrológico", números 31, 47, 48 y 49.



MAPA 1



IV.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL ESTADO DE GUERRERO

CUADRO 2

Estaciones de la Región Hidrológica Costa Chica - Rlo Verde

Estación Meteorológica	Dependencia	Latitud N	Longitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm	Años de observación
1. Colotliapa	SMN	17°25'	99°09'	763	85.4	1337.2	10
2. Copala	SRH	16°37'	98°59'	30	2.95	1233.1	14
3. Chilpancingo	SRH	17°33'	99°30'	1360	87.15	854.9	23
4. El Coateplán	SMN	17°25'	99°57'	1420	55.45	2420.5	12
5. Jaleaca de Catalán	CFE	17°25'	99°50'	766	61.2	1796.2	14
6. La Parota	CFE	16°55'	99°39'	161	22.9	1062.7	13
7. Las Juntas	CFE	16°42'	98°14'	200	52.15	1422.4	9
8. Quetzala	SRH	16°40'	98°31'	170	30.1	1021.2	15
9. San Luis Acatlán	SRH	16°49'	98°45'	300	27.45	1066.3	14
10. San Marcos	SRH	16°48'	99°24'	175	14.25	1171.7	14
11. Santa Bárbara	CFE	17°19'	99°52'	1040	47.8	1981.4	12

CUADRO 3

Estaciones de la Región Hidrológica Costa Grande

Estación Meteorológica	Dependencia	Latitud N	Longitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm	Años de observación
1. Acapulco	SMN	16°50'	99°56'	3	0	1412.9	49
2. Arroyo Frío	SRH	17°25'	100°37'	400	31.6	1373.8	10
3. Atoyac de Alvarez	SMN	17°12'	100°26'	100	15.5	979.6	53
4. Carrera Larga	SRH	17°03'	100°07'	150	10.95	1039.4	22
5. Coyuca de Benítez	SMN	17°03'	100°06'	110	7.8	1178.0	30
6. Coyuquilla	SRH	17°22'	101°04'	100	3.5	900.4	22
7. El Camalote	SRH	17°43'	101°12'	700	29.6	1630.2	12
8. El Porvenir	SRH	17°14'	100°59'	100	1.4	992.1	11
9. Gloria Escondida	SRH	17°23'	100°52'	300	20.9	1448.4	10
10. Icacos	SMN	16°49'	99°53'	4	7.5	839.0	7
11. La Unión	SRH	17°58'	101°49'	38	8.7	951.3	21
12. Petatlán	SMN	17°32'	101°17'	30	8.5	952.1	32
13. San Antonio Tejas	SRH	17°36'	100°54'	2200	44.65	1395.2	13
14. San Jerónimo	SRH	17°38'	101°28'	100	7.35	842.9	14
15. San Jerónimo	SRH	17°07'	100°22'	90	7.05	874.6	14
16. San Juan de las Flores	SRH	17°18'	100°24'	500	27.3	1440.8	9
17. San Luis y San Pedro	SMN y SRH	17°18'	100°55'	100	5.2	1012.2	21
18. Santa Rosa	SRH	18°07'	101°31'	600	40.75	838.0*	
19. Santo Domingo	SRH	17°28'	100°20'	1300	45.9	1365.0*	
20. Tepetitla	SRH	17°13'	100°08'	600	28.15	1324.6	12
21. Zihuatanejo	SRH	17°39'	101°34'	95	0	1029.6	11

\* Calculado a partir de los mapas de Isoyetas e Isotermas, según el caso

LOGICAS DEL ESTADO DE GUERRERO

Región Hidrológica Costa Chica - Rlo Verde

ngitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm	Años de observación	Temperatura Media Anual °C	Años de observación	Indice de Aridez P/T	Clima según Köppen
99°09'	763	85.4	1337.2	10	24.2	22	55.33	Awlg
98°59'	30	2.95	1233.1	14	25.3	14	48.76	Awlg
99°30'	1360	87.15	854.9	23	21.7	22	39.34	Awlg
99°57'	1420	55.45	2420.5	12	21.5	12	112.63	Awlg
99°50'	766	61.2	1796.2	14	25.3	14	70.97	Awlg
99°39'	161	22.9	1062.7	13	27.1	13	39.28	Awlg
98°14'	200	52.15	1422.4	9	27.2	9	52.29	Awlg
98°31'	170	30.1	1021.2	15	27.5	15	37.17	Awlg
98°45'	300	27.45	1066.3	14	25.2	14	42.26	Awlg
99°24'	175	14.25	1171.7	14	26.8	14	43.8	Awlg
99°52'	1040	47.8	1981.4	12	22.1	12	89.66	Awlg

Región Hidrológica Costa Grande

ngitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm	Años de observación	Temperatura Media Anual °C	Años de observación	Indice de Aridez P/T	Clima según Köppen
99°56'	3	0	1412.9	49	27.7	49	51.08	Awlg
00°37'	400	31.6	1373.8	10	25.3	10	54.34	Awlg
00°26'	100	15.5	979.6	53	28.8	53	34.05	Awlg
00°07'	150	10.95	1039.4	22	26.2	22	39.67	Awlg
00°06'	110	7.8	1178.0	30	26.5*		44.45	Awg
01°04'	100	3.5	900.4	22	26.6	22	33.85	Awlg
01°12'	700	29.6	1630.2	12	24.5	12	66.49	Awlg
00°59'	100	7.4	992.1	11	25.3	11	39.17	Awlg
00°52'	300	20.9	1448.4	10	25*		57.93	Awg
99°53'	4	.75	839.0	7	27.1	7	30.96	Awlg
01°49'	38	8.7	951.3	21	27.3*		34.91	Awlg
01°17'	30	8.5	952.1	32	27.2	33	35.02	Awlg
00°54'	2200	44.65	1395.2	13	18.4	13	75.66	Cwb/g
01°28'	100	7.35	842.9	14	25.6	14	32.90	Awlg
00°22'	90	7.05	874.6	14	27.5	14	31.85	Awlg
00°24'	500	27.3	1440.8	9	26.5*		54.37	Awg
00°55'	100	5.2	1012.2	21	26.5	19	38.20	Awlg
01°31'	600	40.75	838.0*		25.2	11	33.25	Awlg
00°20'	1300	45.9	1365.0*		23.6	13	57.83	Awlg
00°08'	600	28.15	1324.6	12	25.7	12	51.50	Awlg
01°34'	95	0	1029.6	11	26.2	9	39.37	Awlg

rtir de los mapas de Isoyetas e Isotermas, según el caso

CUADRO 4

## ESTACIONES DE LA REGION HIDROLOGICA DEL BALSAS

Estación Meteorológica	Dependencia	Latitud N	Longitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm
1. Acapulahuaya	SRH	18° 25'	99° 55'	1400	155.75	1163.7
2. Ahuehuepan	SRH	18° 21'	99° 39'	1100	162.15	955.8
3. Alcozauca	SMN	17° 21'	98° 28'	1200	88.05	844.5
4. Apango	CFE	17° 44'	99° 19'	1065	113.5	921.7
5. Aratichangulo	SRH	18° 28'	101° 24'	164	79.05	720.5
6. Atenango del Rlo	CFE	18° 07'	99° 07'	626	161.95	817.4
7. Atlamajalcingo	CFE	17° 19'	98° 36'	2000	87.1	965.0
8. Buenavista de Cuellar	SMN	18° 26'	99° 25'	1096	183.1	1099.4
9. Cacaloxtenango	SMN	18° 31'	99° 40'	750	185.3	1280.4
10. Campo Morado	SMN	17° 37'	100° 12'	1800	64.85	1239.2
11. Ciridán Grande	SRH	18° 37'	99° 56'	1200	179.7	940.6
12. Cd. Altamirano	SRH	18° 21'	100° 39'	250	118.55	1003.3
13. Coahuayutla	SRH	18° 19'	101° 45'	400	45.1	720.9
14. Copalillo	SRH	18° 02'	99° 03'	1000	155.15	808.9
15. Cundancito	SRH	18° 02'	101° 09'	1250	59.85	967.4
16. Chichihualco	SRH	17° 42'	99° 41'	1210	88.05	690.6
17. Chilapa	SRH y SMN	17° 36'	99° 11'	1300	105.3	831.9
18. El Gallo	SMN y SRH	18° 42'	100° 41'	600	148.45	911.3
19. El Manchón	SRH	18° 07'	100° 59'	1200	77.5	1227.9
20. Gral. Heliodoro Castillo	SMN	17° 42'	99° 59'	1975	95.35	1114.9
21. Guayameo	SRH	18° 12'	101° 19'	655	73.65	952.0
22. Huamuxtitlán	SRH y SMN	17° 49'	98° 35'	1125	141.45	747.3
23. Huitzaco	SRH y SMN	18° 16'	99° 21'	900	169.75	1072.6
24. Iguala	SRH y SMN	18° 18'	99° 34'	635	167.25	1115.6
25. Ixcateopan	SRH	17° 38'	98° 33'	334	122.1	759.3
26. Ixcateopan de Cuauhtémoc	SRH	18° 43'	99° 47'	2000	173.45	1010.4
27. Ixtapilla	CFE	18° 32'	100° 33'	303	141.95	978.2
28. Los Tlcuiches	SRH	17° 49'	100° 47'	1800	66.45	994.8
29. Mezcala	CFE y SMN	17° 56'	99° 36'	416	118.5	761.6
30. Olináld	CFE y SMN	17° 47'	98° 44'	1500	136.05	1089.4
31. Palos Altos	SRH	18° 24'	100° 17'	600	144.4	1169.5
32. Placeres del Oro	SRH	18° 15'	100° 54'	700	94.15	1003.9
33. San Andrés	SRH	18° 02'	100° 31'	700	99.15	1123.7
34. San Cristóbal Ajuchitlán	CFE	18° 09'	100° 27'	381	113.9	1020.5
35. San Juan Tetelcingo	CFE	17° 56'	99° 31'	510	122.0	662.6
36. Santa Fé	SRH	18° 00'	100° 40'	1000	97.95	1123.5
37. Santa Rita	SRH	17° 57'	100° 53'	2000	68.1	986.1
38. Santo Tomás	CFE	18° 03'	100° 13'	354	115.5	1055.9
39. Tardáro	SRH	18° 13'	100° 44'	600	105.4	1024.1
40. Taxco	SMN	18° 33'	99° 36'	1735	186.45	1408.4
41. Tehuchuetla	SRH	17° 49'	100° 26'	1000	78.55	1175.8
42. Teloloapan	CFE	18° 22'	99° 52'	1670	155.2	1192.1
43. Tepecoacuilco	SMN	18° 17'	99° 28'	1005	162.7	964.3
44. Tlapa	CFE	17° 33'	98° 35'	1270	112.65	771.1
45. Tonalapa del Sur	SRH	18° 05'	99° 34'	800	139.5	1105.3
46. Valerio Trujano	SRH	18° 25'	99° 30'	1000	164.4	951.4
47. Xochipala	SMN	17° 52'	99° 38'	1100	105.85	744.0
48. Zacatula	CFE	18° 00'	102° 09'	176	9.45	1212.2
49. Zapotitlán Tablas	SMN	17° 25'	98° 47'	1900	94.9	929.1
50. Zirándaro	SRH	18° 28'	100° 59'	193	109.25	874.9
51. Zumpango	SMN	17° 38'	99° 32'	970	94.55	738.8

\* Calculado a partir de los mapas de Isotermas

GION HIDROLOGICA DEL BALSAS

Longitud W	Altitud en m	Distancia al mar en Km	Precipitación Media Anual mm	Años de observación	Temperatura Media Anual °C	Años de observación	Indice de Aridez P/T	Clima según Köppen
99° 55'	1400	155.75	1163.7	11	25.0*		46.54	
99° 39'	1100	162.15	955.8	15	25.5	15	37.54	Awg
98° 28'	1200	88.05	844.5	48	20.4	48	41.4	Awg
99° 19'	1065	113.5	921.1	17	24.7	17	37.35	Cwag
101° 24'	164	79.05	720.5	20	29.4	20	24.49	Awg
99° 07'	626	161.95	817.4	17	26.3	17	31.05	BSh'wg
98° 36'	2000	87.7	965.0	14	18.6	14	52.02	Awg
99° 25'	1096	183.1	1099.4	26	23.9	25	45.98	CwbLg
99° 40'	750	185.3	1280.4	30	21.5*		59.55	Awg
100° 12'	1800	64.85	1239.2	21	20.1	8	61.8	Awg
99° 56'	1200	179.7	940.6	12	25.6	12	36.74	AwLg
100° 39'	250	118.55	1003.3	21	28.1	21	35.73	Awg
101° 45'	400	45.7	720.9	15	26.9	15	26.81	Awg
99° 03'	1000	155.15	808.9	11	25.5	11	31.71	BSh'wLg
101° 09'	1250	59.85	967.4	12	25.2	12	38.42	Awg
99° 41'	1210	88.05	690.6	17	23.3	19	29.59	BSh'wLg
99° 11'	1300	105.3	831.9	48	18.9	22	43.97	CwbLg
100° 41'	600	148.45	911.3	14	27.7	14	32.89	Awg
100° 59'	1200	77.5	1227.9	11	21.2	10	57.92	Awg
99° 59'	1975	95.35	1114.9	47	21.2	7	52.69	Awg
101° 19'	655	73.65	952.0	20	24.7	20	38.49	AwLg
98° 35'	1125	141.45	747.3	32	26.3	22	28.4	BSh'wLg
99° 21'	900	169.75	1072.6	32	24.7	10	43.48	Awg
99° 34'	635	167.25	1115.6	22	25.9	22	43.04	Awg
98° 33'	334	122.7	759.3	16	24.6	16	30.91	BSh'wg
99° 47'	2000	173.45	1010.4	14	19.7	14	51.19	AwLg
100° 33'	303	141.95	978.2	17	28.3	17	34.62	Awg
100° 47'	1800	66.45	994.8	11	21.6	11	46.06	Awg
99° 36'	416	118.5	761.6	28	28.7	22	26.53	BSh'wg
98° 44'	1500	136.05	1089.4	47	22.3	17	48.94	Awg
100° 17'	600	144.4	1169.5	13	28.1	13	41.68	Awg
100° 54'	700	94.15	1003.9	14	27.7	14	36.24	Awg
100° 31'	700	99.15	1123.7	17	26.9	17	41.80	Awg
100° 27'	381	113.9	1020.5	14	29.0	14	35.16	Awg
99° 31'	510	122.0	662.6	17	29.1	14	22.77	BSh'wg
100° 40'	1000	97.95	1123.5	11	26.4	11	42.51	Awg
100° 53'	2000	68.1	986.1	9	22.8*		43.25	Awg
100° 13'	354	115.5	1055.9	21	28.3	14	37.26	Awg
100° 44'	600	105.4	1024.1	9	27.4*		37.37	Awg
99° 36'	1735	186.45	1408.4	45	21.7	45	65.05	AwLg
100° 26'	1000	78.55	1175.8	11	25.0*		47.03	Awg
99° 52'	1670	155.2	1192.1	16	21.8	17	54.79	AwLg
99° 28'	1005	162.7	964.3	27	26.2	27	36.76	Awg
98° 35'	1270	112.65	771.1	17	25.9	17	29.74	BSh'wg
99° 34'	800	139.5	1105.3	9	27.5*		40.19	Awg
99° 30'	1000	164.4	951.4	15	25.1	15	37.86	Awg
99° 38'	1100	105.85	744.0	47	24.4	32	30.56	BSh'wLg
102° 09'	176	9.45	1212.2	10	27.1	10	44.8	AwLg
98° 47'	1900	94.9	929.1	20	23.0*		40.39	AwLg
100° 59'	193	109.25	874.9	21	28.7	21	30.47	Awg
99° 32'	970	94.55	738.8	28	24.2	14	30.49	BSh'wg

Calculado a partir de los mapas de Isotermas

CUADRO 5 VALORES EXTREMOS EN EL ESTADO DE GUERRERO

Variable	Mínima	Estación	Máxima	Estación
Altitud	3.00m	Acapulco	2200.00m	Sn Antonio Tejas
Precipitación	662.60mm	Sn Jn Tetelcingo	2420.46mm	El Coatepln
Temperatura	18.44°C	Sn Antonio Tejas	29.42°C	Aratichangulo
P/T	22.77	Sn Jn Tetelcingo	112.63	El Coatepln

Para los fines de este estudio, se trabajaron los datos de precipitación y temperatura medias mensuales hasta el año de 1974, para 83 estaciones meteorológicas. En los CUADROS 2, 3 y 4 se presentan agrupadas en su Región Hidrológica correspondiente. (MAPA 3)

#### IV.3 OBTENCION DE LOS DATOS Y PARAMETROS CLIMATICOS

Los diferentes parámetros considerados en los CUADROS anteriores fueron obtenidos de la siguiente manera:

- 1) Fuentes de Información:
 

SRH	Secretaría de Recursos Hidráulicos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
- 2) Altitud: En las estaciones meteorológicas donde faltaron los datos de altitud, se hizo un cálculo aproximado en base a las curvas de nivel en los mapas de la Secretaría de la Defensa, Escala 1:500 000.
- 3) Distancia al mar: Es un promedio de las distancias gráficas medidas sobre los mapas Escala 1:500 000 de la Secretaría de la Defensa, CETENAL y de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.
- 4) Precipitación Media Anual: Suma del promedio de las medias mensuales para cada mes del año, en el transcurso de los años de observación, en mm. Fue calculada para cada estación meteorológica mediante el PROGRAMA 2 para computadora.
- 5) Temperatura Media Anual: Promedio del promedio de las medias mensuales para cada mes del año, en el transcurso de los años de observación, en °C. Fue calculada para cada estación meteorológica mediante el PROGRAMA 3 para computadora.
- 6) Índice de Aridez de Lang:  $I = P/T$ 

I = Índice de Aridez
P = precipitación media anual en mm
T = temperatura media anual en °C

El Índice de aridez es un indicador de las condiciones de humedad en base a una relación entre los dos elementos más importantes del clima.

El Índice de aridez es directamente proporcional a la precipitación e inversamente proporcional a la temperatura. Mientras mayor sea el Índice de aridez mayor es el grado de humedad, y vice versa.

Los rangos del Índice de aridez fueron establecidos para la República Mexicana por Enriqueta García, como se señalan en el CUADRO siguiente:

Clima	Grado de Humedad	Modificación	Índice de Aridez	Descripción
A (cálidos) temperatura media anual ≥ 18°C	húmedos		$P/T \geq 55.3$	
	subhúmedos	Aw <sub>2</sub>	$P/T \geq 55.0$	más húmedo
		Aw <sub>1</sub>	$43.2 \leq P/T \leq 55.0$	intermedio
		Aw <sub>0</sub>	$P/T < 43.2$	más seco
C (templados) temperatura media anual entre 12°C y 18°C	húmedos		$P/T \geq 55.3$	
	subhúmedos	CW <sub>2</sub>	$P/T \geq 55.3$	más húmedo
		CW <sub>1</sub>	$43.2 \leq P/T \leq 55.3$	intermedio
		CW <sub>0</sub>	$P/T < 43.2$	más seco
B (secos)	semihúmedos	BS <sub>1</sub>	$P/T \geq 22.9$	menos seco de BS
	áridos	BS <sub>0</sub>	$P/T < 22.9$	más seco de BS
	muy áridos	BW	$P/T < 22.9$	

7) Cálculo del Clima de las estaciones meteorológicas:  
(Según la Clasificación Climática de Köppen)

El primer paso es clasificarlo en seco o húmedo:

B (seco)                      0

Húmedo

$$p \leq 2(t+14)$$

$$p \geq 2(t+14)$$

p = precipitación media  
anual en cm

t = temperatura media  
anual en °C

<sup>1</sup> basado en: García, E., "Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen", Instituto de Geografía, UNAM, México 1973.

Si resulta B (seco):

Puede ser BW o BS

BW (seco desértico)  
 $p \leq t + 14$

BS (seco estepario)  
 $p > t + 14$

$p$  = precipitación media anual en cm  
 $t$  = temperatura media anual en °C

Régimen Térmico para BW y BS:

Símbolo	Descripción	Régimen Térmico
h'	MUY CALIDO	Temperatura media anual $\geq 18^\circ\text{C}$ , temp. media mensual del mes más frío $\geq 18^\circ\text{C}$
h	CALIDO	Temperatura media anual $\geq 18^\circ\text{C}$ , temp. media mensual del mes más frío $< 18^\circ\text{C}$
k	FRIO	Temperatura media anual $< 18^\circ\text{C}$ , temp. media mensual del mes más cálido $\geq 18^\circ\text{C}$
k'	MUY FRIO	Temperatura media anual $< 18^\circ\text{C}$ , temp. media mensual del mes más cálido $< 18^\circ\text{C}$ .

Si resulta Húmedo:

Puede ser A o C (en el caso de Guerrero)

A	Zona climática TROPICAL	Temp. media mensual del mes más cálido $\geq 18^\circ\text{C}$ temp. media mensual del mes más frío $\geq 18^\circ\text{C}$
C	Zona climática TEMPLADA	Temp. media mensual del mes más cálido $\geq 10^\circ\text{C}$ temp. media mensual del mes más frío entre $18^\circ\text{C}$ y $-3^\circ\text{C}$ .

Para A (TROPICAL):

Altura anual de la lluvia en cm

$\geq 75 \leq 100$   
 $\geq 100 \leq 150$   
 $\geq 150 \leq 200$   
 $\geq 200 \leq 250$   
 $\geq 250$

Altura de la lluvia del mes más seco en cm

$\leq 6$        $\geq 6$   
 $\leq 4$        $\geq 4 \leq 6$        $\geq 6$   
 $\leq 2$        $\geq 2 \leq 4$        $\geq 4$   
 $\leq 0$        $\geq 0 \leq 2$        $\geq 2$   
 $\geq 0$

Tipo de Clima

Aw

Am

Af

Aw: Tropical con lluvias en verano

Am: Tropical de Monzón

Af: Tropical con lluvias abundantes todo el año.

## Para C (TEMPLADO):

Símbolo	Tipo de Clima	Descripción
w	Lluvia en verano con invierno seco	La altura media mensual de la lluvia durante el mes más lluvioso de verano, es 10 veces o mayor que en el mes más seco.
s	Lluvia en invierno con verano seco	La altura media mensual de la lluvia durante el mes más lluvioso de invierno, es 3 veces o mayor que en el mes más seco.
f	Lluvia abundante todo el año	Condiciones intermedias entre w y s.
a	Templado subtropical	Temperatura media mensual de 4 meses o más $>10^{\circ}\text{C}$ , y temperatura media mensual del mes más cálido $>22^{\circ}\text{C}$ .
b	Templado propiamente dicho	Temperatura media mensual de 4 meses o más $>10^{\circ}\text{C}$ , y temperatura media mensual del mes más cálido $<22^{\circ}\text{C}$ .

Para A B y C:

w'	Máximo de lluvia en otoño.
i	Oscilación térmica $\leq 5^{\circ}\text{C}$ entre la temperatura media mensual del mes más cálido y la del mes más frío. Marca la amplitud de la marcha anual de la temperatura.
g	La temperatura media mensual máxima se presenta antes del solsticio de verano (21 de junio en el Hemisferio Norte y 23 de diciembre en el Hemisferio Sur). Marca la marcha anual de la temperatura.
g'	La temperatura media mensual máxima se presenta después del solsticio de verano. Marca la marcha anual de la temperatura.

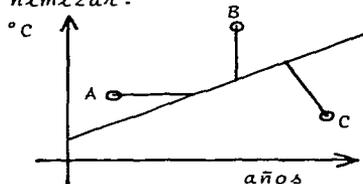
En este capítulo se hace una descripción y aplicación de los métodos cuantitativos de regresión y correlación a elementos climáticos, procesando todos los datos por computadora.

### V.1 ANALISIS DE REGRESION

Los métodos de regresión determinan la mejor relación funcional entre las variables, destacando la tendencia general de los datos. El procedimiento consiste en ajustar una curva apropiada a los datos, minimizando la dispersión a su alrededor.

Para los fines de este estudio se escogió la regresión lineal simple por el llamado Método de los Mínimos Cuadrados, principalmente por la facilidad que presenta a la interpretación, con el fin de analizar la variación temporal de la precipitación y de la temperatura en el estado de Guerrero a través de varias décadas de observación.

Este método consiste en reducir al mínimo la suma del cuadrado de las desviaciones a la recta; se usa el cuadrado de las desviaciones para evitar distancias negativas. El criterio para ajustar la recta depende de la desviación que se desea minimizar:



#### Tipos de Regresión

- A - desviación en años a la recta
- B - desviación en °C a la recta
- C - desviación conjunta de las dos variables, es perpendicular a la recta.

La recta que en este caso nos interesa ajustar es la que haga mínimas las desviaciones de la temperatura, y por tanto sea el mejor estimador de la temperatura para intervalos dados de tiempo. La variable dependiente es la temperatura y la independiente el tiempo, siendo la relación funcional:

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i$$

o

$$y_i = b_0 + b_1 x_i + E$$

$b_0$  = ordenada al origen

$b_1$  = pendiente  
(dato de mayor importancia)

$x_i$  = variable independiente

$y_i$  = variable dependiente

$\hat{y}_i$  = valor esperado para  $y_i$

$E = (\hat{y}_i - y_i)$

$b_0$  y  $b_1$  se calculan a partir de los datos observados;  $E$  es la desviación que queremos minimizar por un método de cálculo diferencial que encuentre: tipo B de regresión

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2 = \text{MINIMO} \quad (1)$$

En la ecuación (1) se substituye  $\hat{y}_i$  por  $(b_0 + b_1 x_i)$  y se deriva parcialmente con respecto a  $b_0$  y a  $b_1$ , igualando las ecuaciones resultantes a cero (condición de mínimo). Así se obtienen las siguientes ecuaciones normales<sup>1</sup>:

$$\begin{aligned} \sum y &= b_0 n + b_1 \sum x && (\text{todas las sumas van de } i \text{ hasta } n) \\ \sum xy &= b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 \end{aligned}$$

Despejando:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{\sum y - b_1 \sum x}{n} \\ b_1 &= \frac{n \sum xy - (\sum x \sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \end{aligned}$$

El objeto de aplicar la regresión, es determinar si se pueden detectar por dicho método variaciones de largo período en la precipitación y temperatura, y si es afirmativo qué interpretación y posibles causas se podrán dar a estos cambios. En el CAPITULO VI se analizan los resultados de regresión.

Es arriesgado predecir valores de "y" para intervalos de "x" que queden fuera del rango de observaciones usadas en la obtención de la regresión. No se debe extrapolar a menos que se pueda decir con certeza que la función es constante para un rango de valores de "x" más amplio del que se tiene en la muestra. Por ejemplo, las pendientes de precipitación en las líneas de regresión para la estación meteorológica de Chilapa:

Década	Pendiente
1930-39	12.20 mm anuales
1940-49	4.56 mm
1950-59	10.50 mm
1960-69	-23.90 mm
1970-74	91.47 mm
48 años de observación	-1.46 mm

<sup>1</sup> Spiegel, Murray, "Estadística", Serie Schaum's.

Si se extrapolaran las pendientes de las diferentes décadas para la estación de Chilapa, con objeto de predecir la precipitación, el error en relación al valor actual observado podría resultar enorme.

La pendiente de una recta es la tangente del ángulo, y tiene las unidades de los ejes; la pendiente para una línea de regresión de precipitación, indica un aumento o disminución en mm de lluvia al año.

Una pendiente positiva indica un incremento constante de una variable con respecto a la otra, y una pendiente negativa indica una disminución. Mientras mayor sea la pendiente en valor absoluto, mayor es el cambio que sufre la variable dependiente al variar la independiente.

Para cada Región Hidrológica se calculó por décadas la pendiente promedio ( $m$ ) y la desviación standard ( $\sigma$ ). Para que la pendiente promedio sea estadísticamente significativa de un aumento o disminución en el fenómeno dentro de la Región, debe ser mayor en valor absoluto que  $\sigma$ . Si la pendiente no es mayor que  $\sigma$ , en promedio se mantiene igual, pues la desviación incluye el origen y por lo tanto no hay forma de saber si el fenómeno va en aumento o disminución. Mientras más se acerca el valor de la pendiente promedio a  $\sigma$ , se va excluyendo el origen y la desviación queda hacia el lado positivo o negativo aclarando la tendencia.

Supongamos que los datos tienen una distribución Gaussiana, por ser la forma a la que tenderá cualquier distribución si tuviera un número infinito de observaciones. La  $\sigma$  da la amplitud de la campana de distribución y la pendiente promedio  $\pm \sigma$  da los rangos en que con un 68% de probabilidad se encontrará la pendiente de regresión para cualquier lugar en la Región Hidrológica.

A continuación se presentan las líneas de regresión para precipitación y temperatura, por décadas y por Regiones Hidrológicas, calculadas e impresas por los PROGRAMAS 4 y 5 para computadora, respectivamente.

$N$  = número de años de observación considerados  
para el cálculo

$m$  = pendiente promedio para la Región Hidrológica

$\sigma$  = desviación standard

## CUADRO 7

## LINEAS DE REGRESION PARA PRECIPITACION

## REGRESION PARA PRECIPITACIONES 1930-1939

Acapulco	N=10	y=1692.35	+	-49.25x	
Atoyac de Alvarez	N=10	y=1018.22	+	-5.49x	
Alcozauca	N=10	y=851.62	+	-1.91x	
Chilapa	N=10	y=781.32	+	-12.20x	
Gral. Heliodoro Castillo	N=10	y=1261.80	+	-12.33x	m=17.68
Olinald	N=10	y=1042.33	+	7.03x	σ=24.54
Taxco	N=10	y=1326.07	+	36.95x	
Xochipala	N=10	y=467.64	+	32.23x	
Zapotitlán Tablas	N=10	y=692.68	+	55.59x	

## REGRESION PARA PRECIPITACIONES 1940-1949

Acapulco	N=10	y=1078.85	+	19.46x	
Atoyac de Alvarez	N=10	y=909.90	+	-4.35x	m=40.95
Coyuca de Benitez	N=5	y=887.75	+	-110.29x	σ=44.95
Icacos	N=6	y=772.49	+	20.23x	
Petatlán	N=8	y=791.19	+	59.14x	
Alcozauca	N=10	y=1002.50	+	-23.03x	
Buenavista de Cuéllar	N=8	y=1088.13	+	-18.82x	
Cacaloxtenango	N=6	y=1070.27	+	33.65x	
Campo Morado	N=6	y=1228.10	+	-22.48x	
Chilapa	N=10	y=803.07	+	4.56x	
Gral. Heliodoro Castillo	N=10	y=1007.20	+	61.85x	m=15.75
Huamuxtitlán	N=8	y=712.93	+	15.96x	σ=26.60
Huitzoco	N=7	y=956.15	+	25.18x	
Olinald	N=10	y=1020.79	+	21.29x	
Taxco	N=10	y=1189.53	+	19.08x	
Tepecoacuilco	N=5	y=771.60	+	43.44x	
Xochipala	N=10	y=785.50	+	2.25x	
Zapotitlán Tablas	N=7	y=632.99	+	41.85x	

## REGRESION PARA PRECIPITACIONES 1950-1959

Colotliapa	N=9	y=1357.10	+	-4.04x	
Chilpancingo	N=7	y=887.02	+	10.93x	
Acapulco	N=10	y=1484.33	+	8.09x	
Atoyac de Alvarez	N=10	y=996.50	+	5.42x	
Carrera Larga	N=7	y=1179.94	+	-29.18x	
Coyuca de Benitez	N=10	y=1424.82	+	-22.58x	m=-42.19
Coyuquilla	N=7	y=1020.41	+	2.52x	σ=63.88
La Unión	N=6	y=1461.20	+	-127.11x	
Petatlán	N=10	y=1038.97	+	-16.88x	
San Luis y San Pedro	N=6	y=1576.13	+	-157.81x	
Alcozauca	N=10	y=738.53	+	24.02x	
Aratichangulo	N=5	y=1011.26	+	-53.93x	
Atenango del Río	N=7	y=811.44	+	28.54x	
Buenavista de Cuéllar	N=10	y=1018.26	+	38.99x	
Cacaloxtenango	N=10	y=1258.19	+	34.56x	
Campo Morado	N=10	y=1235.34	+	11.44x	
Cd. Altamirano	N=6	y=1168.45	+	-43.13x	
Chilapa	N=10	y=794.50	+	10.50x	
Gral. Heliodoro Castillo	N=10	y=1556.94	+	-92.79x	m=8.32
Guayameo	N=5	y=1298.06	+	-98.47x	σ=41.79

Huamuxtitlán	N=10	y= 733.70	+	10.48x
Huitzuco	N=10	y=1030.14	+	30.26x
Iguala	N= 7	y=1033.92	+	21.05x
Ixtapilla	N= 7	y= 883.13	+	47.02x
Mezcala	N=10	y= 662.51	+	35.39x
Olinalá	N=10	y=1061.53	+	31.79x
Santo Tomás	N= 7	y= 981.10	+	33.23x
Taxco	N=10	y=1375.13	+	36.70x
Tepecoacuilco	N=10	y= 904.35	+	25.41x
Xochipala	N=10	y= 818.63	+	3.28x
Zirándaro	N= 5	y=1007.00	+	17.83x
Zumpango	N=10	y= 694.67	+	37.40x

## REGRESION PARA PRECIPITACIONES 1960-1969

Copala	N= 9	y=1185.15	+	22.27x
Chilpancingo	N=10	y= 778.94	+	4.91x
El Coatepín	N= 7	y=2060.14	+	99.02x
Jalcaca de Catalán	N= 9	y=1912.49	+	-16.48x
La Parota	N= 8	y=1011.57	+	6.38x
Las Juntas	N= 9	y=1393.72	+	-7.17x
Quetzala	N=10	y=1107.70	+	-14.30x
San Luis Acatlán	N= 8	y=1172.32	+	-8.25x
San Marcos	N= 9	y=1273.39	+	-22.55x
Santa Bárbara	N= 7	y=1860.90	+	34.68x
Acapulco	N=10	y=1499.76	+	-15.02x
Arroyo Frío	N= 5	y=1200.19	+	64.40x
Atoyac de Alvarez	N=10	y= 879.40	+	-5.51x
Carrera Larga	N=10	y= 832.13	+	41.66x
Coyuca de Benítez	N=10	y=1219.55	+	-24.11x
Coyuquilla	N=10	y= 918.58	+	-20.92x
El Camalote	N= 7	y=1450.78	+	-8.31x
El Porvenir	N= 6	y= 659.76	+	126.42x
Gloria Escondida	N= 5	y=1731.44	+	-2.35x
La Unión	N=10	y= 666.65	+	49.72x
Petatlán	N=10	y= 832.49	+	16.72x
San Antonio Tejas	N= 8	y=1477.31	+	-45.60x
San Jeronimito	N= 9	y= 843.53	+	-9.72x
San Jerónimo	N= 9	y= 747.09	+	-39.48x
San Luis y San Pedro	N=10	y=1012.10	+	-15.61x
Tepetitxtla	N= 7	y=1212.58	+	27.60x
Zihuatanejo	N= 6	y= 620.12	+	153.73x
Acapetlahuaya	N= 6	y=1380.69	+	-114.75x
Ahuehuepan	N=10	y= 915.10	+	9.01x
Alcozauca	N=10	y= 784.53	+	2.57x
Apango	N=10	y= 977.01	+	-17.37x
Aratichanguilo	N=10	y= 638.41	+	17.42x
Atenango del Río	N=10	y= 745.74	+	3.54x
Atlamajalcingo	N= 9	y= 939.24	+	7.71x
Buenavista de Cuellar	N= 8	y= 974.81	+	23.90x
Cacaloxtenango	N=10	y=1207.80	+	7.54x
Campo Morado	N= 5	y=1026.30	+	99.17x
Ciridón Grande	N= 7	y= 876.91	+	34.64x
Cd. Altamirano	N=10	y= 788.73	+	57.30x
Coahuayutla	N=10	y= 692.20	+	0.37x
Copalillo	N= 6	y=1073.84	+	-102.94x
Cundancito	N= 7	y= 902.34	+	31.13x
Chichihualco	N=10	y= 707.66	+	-0.88x
Chilapa	N=10	y=1003.99	+	-23.90x

 $m=11.19$   
 $\sigma=35.59$ 
 $m=21.92$   
 $\sigma=53.72$ 
 $m=5.56$   
 $\sigma=36.20$

El Gallo	N= 9	y= 948.41 +	- 6.49x
El Manchón	N= 6	y= 1301.17 +	20.75x
Gral. Heliodoro Castillo	N= 10	y= 442.47 +	51.76x
Guayameo	N= 10	y= 745.61 +	39.89x
Huamuxtitlán	N= 10	y= 652.66 +	9.10x
Huitzuco	N= 10	y= 1048.75 +	- 1.67x
Iguala	N= 10	y= 941.06 +	15.12x
Ixcateopan	N= 10	y= 732.18 +	- 1.31x
Ixcateopan de Cuauhtémoc	N= 9	y= 964.88 +	16.81x
Ixtapilla	N= 10	y= 881.87 +	14.26x
Los Tlaxiúches	N= 6	y= 1006.80 +	- 24.87x
Mezcala	N= 10	y= 734.16 +	- 0.54x
Ollinalá	N= 10	y= 1034.10 +	- 6.67x
Palos Altos	N= 8	y= 1221.11 +	- 0.24x
Placeres del Oro	N= 9	y= 950.33 +	21.00x
San Andrés	N= 10	y= 1085.45 +	8.11x
San Cristóbal Ajuchitlán	N= 9	y= 1062.47 +	8.23x
San Juan Tetelcingo	N= 10	y= 524.51 +	22.35x
Santa Fé	N= 6	y= 1217.53 +	- 34.71x
Santo Tomás	N= 10	y= 962.49 +	24.78x
Taxco	N= 10	y= 992.71 +	62.07x
Tehuahueta	N= 5	y= 1510.83 +	- 67.43x
Teloloapan	N= 10	y= 1127.73 +	1.47x
Tepecoacuilco	N= 10	y= 946.98 +	8.17x
Tlapa	N= 10	y= 691.43 +	2.13x
Valerio Trujano	N= 10	y= 957.02 +	- 5.23x
Xochipala	N= 10	y= 694.01 +	2.09x
Zacatula	N= 9	y= 998.13 +	50.15x
Zirándaro	N= 10	y= 752.19 +	16.14x
Zumpango	N= 10	y= 736.62 +	- 18.44x

## REGRESION PARA PRECIPITACIONES 1970-1974

Copala	N= 5	y= 687.89 +	235.51x
Chilpancingo	N= 6	y= 688.45 +	72.28x
El Coatepín	N= 5	y= 2642.34 +	- 66.66x
Jaleaca de Catalán	N= 5	y= 1668.01 +	18.69x
La Parota	N= 5	y= 1050.68 +	28.99x
Quetzala	N= 5	y= 848.50 +	64.17x
San Luis Acatlán	N= 6	y= 757.55 +	82.33x
San Marcos	N= 5	y= 765.30 +	192.82x
Santa Bárbara	N= 5	y= 2051.85 +	- 23.69x
Arroyo Frío	N= 5	y= 1299.18 +	59.72x
Atoyac de Alvarez	N= 5	y= 798.04 +	1.66x
Carrera Larga	N= 5	y= 727.66 +	138.64x
Coyuca de Benítez	N= 5	y= 1206.99 +	- 58.01x
Coyuquilla	N= 5	y= 679.62 +	96.98x
El Camalote	N= 5	y= 1947.44 +	- 15.54x
El Porvenir	N= 5	y= 831.94 +	89.87x
Gloria Escondida	N= 5	y= 614.54 +	277.80x
La Unión	N= 5	y= 761.78 +	40.28x
San Antonio Tejas	N= 5	y= 1403.34 +	57.93x
San Jeronimito	N= 5	y= 762.74 +	74.49x
San Jerónimo	N= 5	y= 651.82 +	84.00x
San Juan de las Flores	N= 5	y= 1656.16 +	- 82.26x
San Luis y San Pedro	N= 5	y= 697.92 +	125.87x
Tepetitla	N= 5	y= 1197.77 +	83.89x

 $m = 67.16$   
 $\sigma = 96.41$ 
 $m = 65.88$   
 $\sigma = 83.68$

Zihuatanejo	N= 5	y= 902.32 +	78.74x
Acapetlahuaya	N= 5	y= 1122.72 +	62.40x
Ahuehuepan	N= 5	y= 801.42 +	77.39x
Alcozauca	N= 5	y= 874.38 +	-32.62x
Apango	N= 5	y= 977.12 +	-43.87x
Araticanguilo	N= 5	y= 530.49 +	7.18x
Atlamajalcíngo	N= 5	y= 831.55 +	62.19x
Ciridán Grande	N= 5	y= 749.08 +	67.63x
Cd. Altamirano	N= 5	y= 911.76 +	-31.88x
Coahuayutla	N= 5	y= 459.96 +	157.59x
Copalillo	N= 5	y= 1075.56 +	-137.87x
Cundancito	N= 5	y= 996.78 +	-34.54x
Chilapa	N= 5	y= 468.81 +	91.47x
El Gallo	N= 5	y= 943.24 +	-25.97x
El Manchón	N= 5	y= 1242.16 +	-82.21x
Guayameo	N= 5	y= 926.60 +	-35.05x
Huitzucó	N= 5	y= 881.52 +	61.91x
Iguala	N= 5	y= 1040.18 +	157.24x
Ixcateopan	N= 5	y= 770.27 +	7.94x
Ixcateopan de Cuauhtémoc	N= 5	y= 996.14 +	-12.38x
Los Ticuiches	N= 5	y= 1131.72 +	-38.37x
Mezcala	N= 5	y= 703.67 +	6.16x
Palos Altos	N= 5	y= 1076.48 +	5.94x
Placeres del Oro	N= 5	y= 971.42 +	-11.17x
San Andrés	N= 5	y= 1177.12 +	-41.54x
San Cristóbal Ajuchitlán	N= 5	y= 833.38 +	26.08x
San Juan Tetelcingo	N= 5	y= 694.60 +	- 2.54x
Santa Fé	N= 5	y= 1093.40 +	10.69x
Santa Rita	N= 5	y= 854.44 +	20.51x
Tarctaro	N= 5	y= 1177.50 +	-95.50x
Tehuahueta	N= 6	y= 929.13 +	31.95x
Tlapa	N= 5	y= 749.69 +	14.84x
Tonalapa del Sur	N= 5	y= 840.50 +	70.64x
Valerio Trufano	N= 5	y= 878.80 +	54.21x
Zirándaro	N= 6	y= 850.45 +	-12.76x

$$m=10.46$$

$$C=63.38$$

CUADRO 8 LINEAS DE REGRESION PARA TEMPERATURA

REGRESION PARA TEMPERATURAS		1930-1939	
Acapulco	N= 10	y= 27.26 +	0.02x
Atoyac de Alvarez	N= 10	y= 29.56 +	- 0.12x
Alcozauca	N= 10	y= 21.34 +	- 0.13x
Taxco	N= 10	y= 21.24 +	0.04x
REGRESION PARA TEMPERATURAS		1940-1949	
Colotlilpa	N= 9	y= 24.20 +	0.00x
Acapulco	N= 10	y= 27.58 +	0.06x
Atoyac de Alvarez	N= 10	y= 28.56 +	- 0.07x
Icacos	N= 6	y= 26.57 +	0.23x
Petatlán	N= 8	y= 27.59 +	- 0.04x

Alcozauca	N=10	y=19.88	+	0.00x	
Buenavista de Cuéllar	N=7	y=24.39	+	0.03x	m=0.18
Taxco	N=10	y=22.40	+	-0.08x	C=0.27
Tepecoacuilco	N=5	y=26.02	+	0.41x	
Xochipala	N=8	y=21.81	+	0.52x	

## REGRESION PARA TEMPERATURAS 1950-1959

Cotolilpa	N=10	y=23.71	+	0.07x	
Chilpancingo	N=7	y=20.94	+	0.06x	
Acapulco	N=10	y=27.98	+	-0.03x	
Atoyac de Alvarez	N=10	y=28.68	+	0.03x	
Carrera Larga	N=7	y=27.01	+	-0.08x	m=0.04
Coyuquilla	N=7	y=26.43	+	0.12x	C=0.10
La Unión	N=6	y=27.36	+	0.19x	
Petatlán	N=10	y=27.32	+	0.00x	
Alcozauca	N=10	y=19.42	+	0.15x	
Aratichangulo	N=5	y=29.11	+	0.14x	
Atenango del Rio	N=7	y=26.23	+	-0.03x	
Buenavista de Cuéllar	N=10	y=24.10	+	-0.06x	
Cd. Altamirano	N=6	y=27.48	+	0.21x	
Chilapa	N=7	y=20.04	+	0.14x	
Guayameo	N=5	y=24.57	+	0.07x	m=0.03
Huamuxtitlán	N=7	y=25.50	+	-0.08x	C=0.10
Iguala	N=7	y=26.03	+	0.14x	
Ixtapilla	N=7	y=28.34	+	-0.09x	
Mezcala	N=7	y=27.59	+	0.03x	
Taxco	N=10	y=21.13	+	0.03x	
Tepecoacuilco	N=10	y=26.39	+	-0.02x	
Xochipala	N=10	y=24.16	+	-0.07x	
Zirándaro	N=5	y=28.98	+	-0.17x	

## REGRESION PARA TEMPERATURAS 1960-1969

Copala	N=9	y=25.31	+	0.03x	
Chilpancingo	N=10	y=22.29	+	-0.04x	
El Coatepec	N=7	y=19.34	+	0.51x	
Jaleaca de Catalán	N=9	y=25.26	+	0.02x	
La Parota	N=8	y=27.39	+	-0.03x	m=0.01
Las Juntas	N=9	y=27.42	+	-0.06x	C=0.19
Quetzala	N=10	y=28.00	+	-0.05x	
San Luis Acatlán	N=8	y=25.80	+	-0.14x	
San Marcos	N=9	y=26.63	+	0.05x	
Santa Bárbara	N=7	y=22.75	+	-0.15x	
Acapulco	N=10	y=27.98	+	-0.07x	
Arroyo Frío	N=5	y=25.44	+	-0.09x	
Atoyac de Alvarez	N=10	y=29.31	+	-0.15x	
Carrera Larga	N=10	y=26.67	+	-0.06x	
Coyuquilla	N=10	y=26.89	+	-0.04x	
El Camalote	N=7	y=24.91	+	-0.06x	
El Porvenir	N=6	y=26.00	+	-0.18x	
La Unión	N=10	y=27.39	+	-0.06x	m=-0.03
Petatlán	N=10	y=27.20	+	-0.05x	C=0.10
San Antonio Tejas	N=8	y=17.52	+	-0.05x	
San Jeronimito	N=9	y=26.68	+	-0.19x	
San Jerónimo	N=9	y=27.31	+	0.05x	
San Luis y San Pedro	N=10	y=26.75	+	0.07x	
Santa Rosa	N=6	y=25.02	+	0.10x	
Santo Domingo	N=8	y=22.92	+	0.11x	

Tepetitxtla	N= 7	y= 25.28	+	0.18x
Ahuehuepan	N=10	y= 25.36	+	0.00x
Alcozauca	N=10	y= 20.30	+	0.01x
Apango	N=10	y= 24.49	+	0.06x
Aratichanguilo	N=10	y= 29.68	+	-0.06x
Atenango del Rlo	N=10	y= 26.23	+	0.05x
Atlamajalcíngo	N= 9	y= 18.72	+	-0.03x
Buenavista de Cuéllar	N= 8	y= 23.85	+	-0.09x
Campo Morado	N= 5	y= 19.11	+	0.97x
Cirián Grande	N= 7	y= 25.38	+	0.09x
Cd. Altamirano	N=10	y= 28.64	+	-0.02x
Coahuayutla	N=10	y= 27.15	+	-0.05x
Copalillo	N= 6	y= 25.38	+	0.02x
Cundancito	N= 7	y= 23.08	+	0.34x
Chichihualco	N=10	y= 24.18	+	-0.16x
Chilapa	N=10	y= 19.33	+	-0.36x
El Gallo	N= 9	y= 28.12	+	-0.00x
El Manchón	N= 5	y= 21.49	+	-0.00x
Guayameo	N=10	y= 24.67	+	0.00x
Huamuxtítlan	N=10	y= 24.82	+	0.34x
Huitzuc	N= 5	y= 24.26	+	0.19x
Iguala	N=10	y= 26.78	+	-0.18x
Ixcateopan	N=10	y= 24.44	+	0.03x
Ixcateopan de Cuauhtémoc	N= 9	y= 19.96	+	-0.03x
Ixtapilla	N=10	y= 28.40	+	0.00x
Los Ticuiches	N= 6	y= 21.24	+	0.05x
Mezcala	N=10	y= 28.32	+	0.10x
Olinala	N=10	y= 21.65	+	0.08x
Palos Altos	N= 8	y= 27.93	+	0.04x
Placeres del Oro	N= 9	y= 27.53	+	0.05x
San Andrés	N=10	y= 26.87	+	0.00x
San Cristóbal Ajuchitlán	N= 9	y= 29.50	+	-0.14x
San Juan Tetelcingo	N= 9	y= 28.57	+	0.10x
Santa Fe	N= 6	y= 26.47	+	0.02x
Santo Tomás	N= 9	y= 28.10	+	0.00x
Taxco	N=10	y= 22.16	+	-0.09x
Teloloapan	N=10	y= 21.76	+	-0.03x
Tepecoacuilco	N=10	y= 26.38	+	-0.07x
Tlapa	N=10	y= 25.53	+	0.12x
Valerio Trujano	N=10	y= 25.28	+	-0.03x
Xochipala	N=10	y= 24.51	+	0.06x
Zacatula	N= 9	y= 27.04	+	0.01x
Zirándaro	N=10	y= 28.51	+	0.04x
Zumpango	N= 9	y= 24.64	+	-0.08x

m=0.03  
C=0.19

REGRESION PARA TEMPERATURAS 1970-1974

Copala	N= 5	y= 26.09	+	-0.51x
Chilpancingo	N= 6	y= 22.05	+	-0.07x
El Coatepín	N= 5	y= 22.12	+	0.11x
Jaleaca de Catalán	N= 5	y= 25.28	+	-0.01x
La Parota	N= 5	y= 26.94	+	-0.14x
Quetzala	N= 5	y= 26.94	+	-0.02x
San Luis Acatlán	N= 6	y= 25.84	+	-0.29x
San Marcos	N= 5	y= 26.39	+	0.12x
Santa Bárbara	N= 5	y= 20.13	+	0.84x

m=0.00  
C=0.37

Arroyo Frío	N= 5	y=25.09	+	0.11x
Atoyac de Alvarez	N= 5	y=28.16	+	0.02x
Carrera Larga	N= 5	y=24.29	+	0.38x
Coyuquilla	N= 5	y=26.10	+	0.03x
El Camalote	N= 5	y=25.11	+	-0.45x
El Porvenir	N= 5	y=24.92	+	0.08x
La Unión	N= 5	y=26.70	+	0.04x
Petatlán	N= 5	y=26.91	+	0.00x
San Antonio Tejas	N= 5	y=18.49	+	0.85x
San Jeronimito	N= 5	y=25.12	+	-0.02x
San Jerónimo	N= 5	y=27.18	+	0.09x
San Luis y San Pedro	N= 5	y=25.42	+	0.08x
Santa Rosa	N= 5	y=25.35	+	-0.08x
Santo Domingo	N= 5	y=24.07	+	-0.06x
Tepetitla	N= 5	y=24.96	+	0.32x
Zihuatanejo	N= 5	y=26.21	+	-0.19x
Ahuehuepan	N= 5	y=24.10	+	0.78x
Alcozauca	N= 5	y=20.70	+	-0.09x
Apango	N= 5	y=25.37	+	-0.24x
Aratichangulo	N= 5	y=29.38	+	0.07x
Atlamajalcingo	N= 5	y=18.03	+	0.22x
Ciridn Grande	N= 5	y=25.81	+	-0.13x
Cd. Altamirano	N= 5	y=26.39	+	0.42x
Coahuayutla	N= 5	y=27.22	+	-0.23x
Copalillo	N= 5	y=25.17	+	0.22x
Cundancito	N= 5	y=24.42	+	1.13x
Chichihualco	N= 5	y=23.30	+	-0.03x
Chilapa	N= 5	y=18.44	+	0.38x
El Gallo	N= 5	y=26.14	+	0.44x
El Manchón	N= 5	y=21.71	+	-0.40x
Gral. Heliodoro Castillo	N= 5	y=21.24	+	-0.09x
Guayameo	N= 5	y=25.17	+	-0.09x
Huamuxtítlan	N= 5	y=27.99	+	-0.12x
Huitzucó	N= 5	y=24.84	+	-0.07x
Iguala	N= 5	y=24.63	+	0.24x
Ixcateopan	N= 5	y=24.75	+	-0.06x
Ixcateopan de Cuauhtémoc	N= 5	y=19.82	+	-0.13x
Los Tlucichés	N= 5	y=21.63	+	0.13x
Mezcala	N= 5	y=30.06	+	-0.05x
Olinald	N= 5	y=23.10	+	-0.15x
Palos Altos	N= 5	y=28.24	+	-0.10x
Placeres del Oro	N= 5	y=27.64	+	0.00x
San Andrés	N= 5	y=26.60	+	0.11x
San Cristóbal Ajuchitlán	N= 5	y=29.21	+	-0.01x
San Juan Tetelcingo	N= 5	y=29.30	+	0.01x
Santa Fe	N= 5	y=26.25	+	0.03x
Santo Tomás	N= 5	y=28.44	+	0.17x
Teloloapan	N= 5	y=21.91	+	0.05x
Tlapa	N= 5	y=25.88	+	-0.01x
Valerio Trujano	N= 5	y=24.87	+	0.11x
Zirándaro	N= 6	y=28.47	+	0.09x
Zumpango	N= 5	y=24.16	+	-0.02x

$$m=0.08$$

$$C=0.28$$

$$m=0.07$$

$$C=0.29$$

## V.2 ANALISIS DE CORRELACION

Los métodos de correlación se utilizan para medir el grado de asociación de las distintas variables. La medida de correlación lineal se llama coeficiente de correlación ( $r$ ) y da la dispersión de los puntos alrededor de la línea de regresión.

El valor absoluto del coeficiente de correlación es mayor mientras el grado de asociación es alto y menor si es bajo, además es independiente de las unidades de las variables. Su valor se encuentra entre  $-1$  y  $+1$ , donde  $-1$  representa una asociación lineal negativa perfecta,  $0$  indica que no existe una relación lineal entre las variables, y  $+1$  representa una asociación lineal positiva perfecta.

El signo del coeficiente de correlación es igual al signo de la pendiente en la línea de regresión. Si el signo es positivo la relación entre las variables es directa, o sea que al aumentar una aumenta la otra y vice versa; si es negativo representa una relación inversa, donde al aumentar una disminuye la otra.

Usando el algoritmo de correlación de Pearson, se alimentaron a un programa para computadora siete datos para cada estación meteorológica, primero agrupadas en sus Regiones Hidrológicas correspondientes y al último juntas para el estado completo. Los siete datos son: latitud, longitud, altitud, distancia al mar, precipitación y temperatura medias anuales e Índice de aridez.

No vale la pena analizar las correlaciones de las cuatro primeras variables entre sí, puesto que las estaciones representan puntos tomados al azar y no siempre son válidas las relaciones. Por ejemplo, la correlación de longitud con altitud para el estado completo es de  $0.72$ , pero solamente significa que las estaciones de mayor altitud tienden a estar hacia el oeste. En otros casos señalan la posición de la Región Hidrológica, como la correlación a mayor latitud mayor longitud ( $0.89$ ) de Costa Grande que tiene una forma alargada de SE a NW. En la Región de Costa Chica-Río Verde, a mayor latitud mayor altitud ( $0.72$ ) y mayor distancia al mar ( $0.83$ ) debido a que la Región se dispone casi de E a W y a que la Sierra Madre del Sur la recorre paralelamente a la costa dejando una amplia llanura costera.

A continuación se presentan los cuadros de correlaciones para cada Región Hidrológica y para el estado de Guerrero completo:

- 1 - Latitud
- 2 - Longitud
- 3 - Altitud
- 4 - Distancia al mar
- 5 - Precipitación Media Anual
- 6 - Temperatura Media Anual
- 7 - Índice de Aridez = P/T

CUADRO 9

Correlaciones  
Región Hidrológica Costa Chica - Rlo Verde

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.68	0.72	0.83	0.44	-0.79	0.53
2	0.68	1.00	0.40	0.18	0.53	-0.59	0.59
3	0.72	0.40	1.00	0.66	0.40	-0.71	0.50
4	0.83	0.18	0.66	1.00	0.20	-0.57	0.26
5	0.44	0.53	0.40	0.20	1.00	-0.50	0.98
6	-0.79	-0.59	-0.71	-0.57	-0.50	1.00	-0.64
7	0.53	0.59	0.50	0.26	0.98	-0.64	1.00

CUADRO 10

Correlaciones  
Región Hidrológica de Costa Grande

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.89	0.29	0.43	0.07	-0.35	0.18
2	0.89	1.00	0.05	0.02	-0.21	-0.16	-0.10
3	0.29	0.05	1.00	0.75	0.48	-0.90	0.73
4	0.43	0.02	0.75	1.00	0.63	-0.67	0.74
5	0.07	-0.21	0.48	0.63	1.00	-0.49	0.93
6	-0.35	-0.16	-0.90	-0.67	-0.49	1.00	-0.78
7	0.18	-0.10	0.73	0.74	0.93	-0.78	1.00

CUADRO 11

Correlaciones  
Región Hidrológica del Balsas

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	-0.11	-0.36	0.29	0.14	0.15	-0.01
2	-0.11	1.00	0.20	-0.96	0.60	-1.00	0.22
3	-0.36	0.20	1.00	-0.21	0.31	-0.25	0.60
4	0.29	-0.96	-0.21	1.00	-0.52	0.95	-0.18
5	0.14	0.60	0.31	-0.52	1.00	-0.59	0.81
6	0.15	-1.00	-0.25	0.95	-0.59	1.00	-0.24
7	-0.01	0.22	0.60	-0.18	0.81	-0.24	1.00

CUADRO 12

Correlaciones  
Estado de Guerrero

	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00	0.71	0.39	-0.56	0.71	-0.69	0.49
2	0.71	1.00	0.72	-0.77	0.95	-0.98	0.68
3	0.39	0.72	1.00	-0.56	0.74	-0.71	0.78
4	-0.56	-0.77	-0.56	1.00	-0.73	0.78	-0.61
5	0.71	0.95	0.74	-0.73	1.00	-0.93	0.84
6	-0.69	-0.98	-0.71	0.78	-0.93	1.00	-0.68
7	0.49	0.68	0.78	-0.61	0.84	-0.68	1.00

CUADRO 13

Niveles de Confianza  
para el Coeficiente de Correlación  $r$ . de Pearson

No. de Datos	Niveles de Confianza			
	90%	95%	98%	99%
11	.5214	.6021	.6851	.7348
21	.3687	.4329	.5034	.5487
51	.2306	.2732	.3218	.3541
83	.1829	.2172	.2565	.2830

El nivel de confianza indica el porcentaje de seguridad, donde si se repite el experimento varias veces, el 90%, 95%, 98% o 99% de las veces saldrá el mismo resultado.

Mientras más datos se trabajen para cada variable, menor es la correlación necesaria para ser significativo a un nivel determinado de confianza, pues va siendo más difícil pasar una recta que ajuste perfectamente a tantos puntos.

Por ejemplo a un nivel de confianza fijo del 90%, una correlación de 0.18 para 83 datos ya es significativo de una relación entre las variables, pero comparada a una correlación de 0.70 es menos importante; sin embargo, para ser una relación significativa con 11 datos debe ser mayor a 0.52. En el CAPITULO VI se analizan los resultados de correlación.

### V.3 PROGRAMAS PARA COMPUTADORA Y SUS DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación se presentan los programas para computadora en lenguaje ALGOL, con que se calcularon las precipitaciones y temperaturas medias anuales y líneas de regresión por décadas para todas las estaciones meteorológicas; así como sus diagramas de flujo, que son esquemas simplificados de los programas. Los programas se corrieron en la Burroughs B-6700 del Centro de Servicios de Cómputo, UNAM.

DIAGRAMA DE FLUJO I  
 "PRECIPITACION Y TEMPERATURA MEDIAS ANUALES"

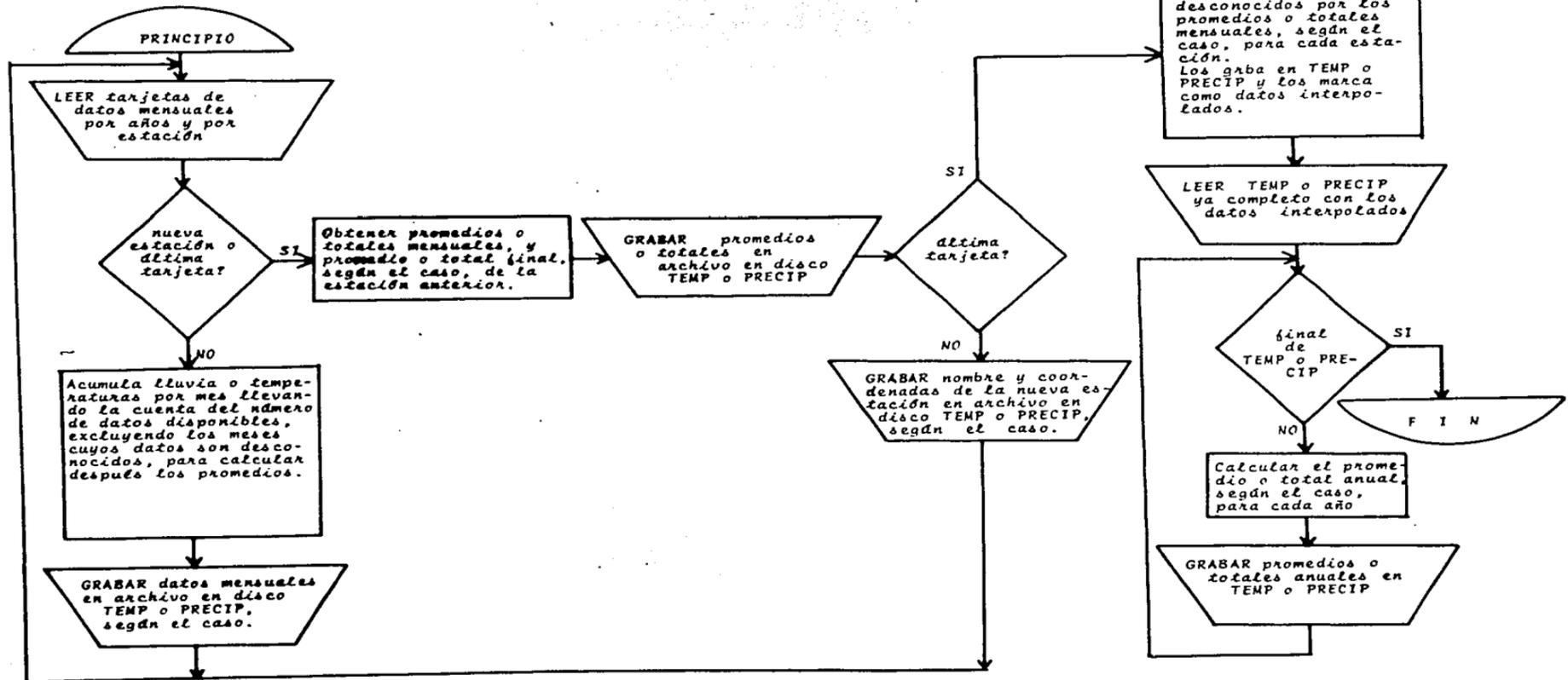
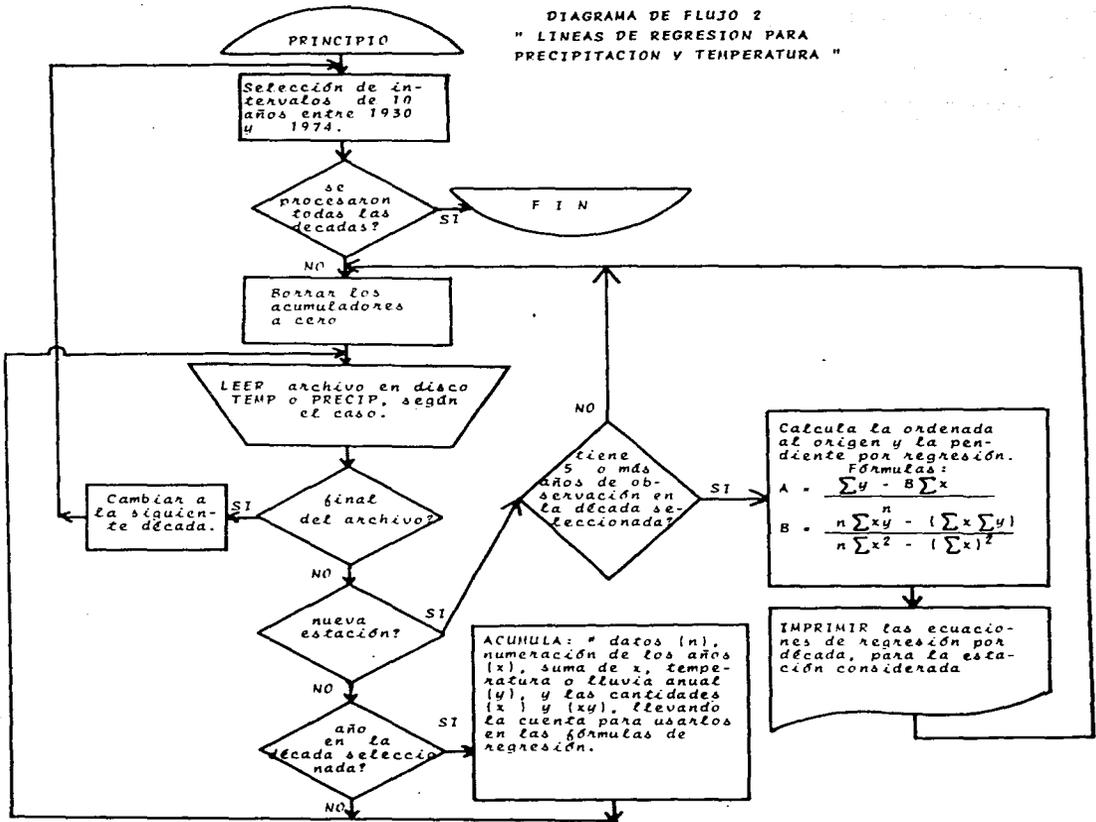








DIAGRAMA DE FLUJO 2  
 " LINEAS DE REGRESION PARA  
 PRECIPITACION Y TEMPERATURA "







### VI.1 LOS SISTEMAS DE TIEMPO QUE DETERMINAN EL CLIMA EN EL ESTADO DE GUERRERO

Por el calentamiento desigual del Sol sobre la Tierra, se pone en movimiento el aire con una circulación primaria N-S. La rotación de la Tierra rompe esta circulación desviando los vientos del Hemisferio Norte a la derecha y los vientos del Hemisferio Sur a la izquierda. Además por efecto de la rotación, se forman las llamadas corrientes planetarias o vientos prevalecientes que son: en los trópicos los vientos alisios del Este, y en las latitudes medias (30° a 60°) los vientos del Oeste.

Entre estas dos corrientes se encuentra la región de celdas semipermanentes de alta presión o anticiclónicas subtropicales. Debido al diferente calentamiento del mar y la tierra, no se forma un cinturón subtropical continuo, sino que se rompe para formar centros de alta y baja presión. Son dos los anticiclones que afectan a Norteamérica: en el Atlántico Norte el anticiclón de Bermudas-Azores y en el oeste el anticiclón del Pacífico.

El clima del estado de Guerrero está determinado por su posición geográfica con litoral al Pacífico en la zona tropical, y en menor grado por sus características topográficas que sólo afectan la circulación local.

Para Guerrero, y en general para la zona tropical, sería más correcto hablar de una estación seca y otra lluviosa por estar claramente definidas por los sistemas de tiempo que la afectan:

- 1.- El semestre de invierno se caracteriza por la penetración de ondas frías extratropicales, que son los vientos del Oeste, y que resultan en la estación seca.
- 2.- El semestre de verano se caracteriza por la llegada de la corriente tropical húmeda de los alisios, provocando la lluvia más abundante del año.

#### a) SISTEMAS DE TIEMPO EN EL VERANO

Vientos alisios o del Este se llama al flujo con dirección E-W de la masa de aire tropical húmeda homogénea que cubre miles de kilómetros de mar. Esta circulación que prevalece en la zona tropical, tanto del Hemisferio Norte como Sur, converge en la llamada Zona Intertropical de Convergencia (ITC o ZIC). Aquí se lleva a cabo un movimiento ascendente de las masas húmedas, que se condensan y dan origen a la franja de mayor precipitación de la Tierra.

En el Hemisferio Norte domina la superficie continental sobre la oceánica, lo contrario que en el Hemisferio Sur. En verano, la tierra se calienta más que el mar provocando que todo el Sistema de Circulación de la Atmósfera se desplace hacia

el norte. La ZIC, que normalmente se encuentra al oeste de Centroamérica, alcanza su máxima latitud llegando hasta las costas de Oaxaca y Chiapas<sup>1</sup>. Este hecho viene a contribuir enormemente a la precipitación de verano del estado de Guerrero.

Junto con el desplazamiento general, el anticiclón de Bermudas-Azores también se desplaza hacia el norte desde abril, llegando a su latitud máxima entre julio y principios de agosto. Esto permite la entrada de los alisios húmedos del NE, al Golfo de México, marcando el comienzo de la estación lluviosa que va de mayo a octubre. Una característica de la invasión de los alisios son los aguaceros casi diarios y a la misma hora.

Los vientos húmedos al entrar a tierra se encuentran con la Sierra Madre Oriental, precipitando considerablemente en la región del Istmo de Tehuantepec. Los estados de Tabasco, Veracruz y Chiapas tienen precipitaciones mayores a 2500mm anuales, mientras que en los valles de la Sierra Madre del Sur y en el litoral del Pacífico la precipitación es mucho menor. Esto lo vienen a corroborar los datos del estado de Guerrero, donde la única precipitación casi tan elevada es en El Coatepec con 2420mm, pero el resto en promedio está entre 660 y 1700mm anuales.

En la corriente de los alisios se forman varios tipos de perturbaciones, como son las ondas del Este, las tormentas tropicales y los ciclones o huracanes.

#### CICLONES TROPICALES -

La mayoría de los ciclones tropicales se desarrollan en perturbaciones en el seno de la masa de aire tropical. Si un vórtice anticiclónico en los niveles altos de la atmósfera pasa sobre una perturbación, provoca un efecto de bombeo de aire hacia afuera dejando en los niveles bajos un centro de baja presión. El aire fluye al centro de baja presión, y por efecto de la rotación de la Tierra adquiere un movimiento envolvente en sentido contrario a las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte, formando el vórtice. La fuente de energía proviene de la evaporación del agua en los mares tropicales y su posterior condensación.

Si el núcleo del sistema es frío da lugar a las tormentas tropicales, si es caliente puede resultar un ciclón maduro<sup>2</sup>. Una tormenta tropical origina fuertes aguaceros y tormentas eléctricas, debido a las nubes de desarrollo vertical cumulonimbus que llegan hasta la Tropopausa. Estas tormentas son más frecuentes que los ciclones.

El núcleo del ciclón maduro se desarrolla en latitudes cercanas al Ecuador, donde el mar alcanza temperaturas mayores a 26°C y el aire del núcleo llega a ser 4 a 6°C más caliente que el de la periferia. Este valor es necesario para mantener un gradiente profundo en la Tropósfera y por ello una circulación ascendente vertical. El núcleo cálido se produce por la liberación del calor latente de vaporización al condensarse el aire húmedo ascen-

<sup>1</sup> Jáuregui, 1975, op. cit., pg. 28.

<sup>2</sup> Jáuregui, 1967, op. cit.

dente. El ciclón se intensifica si llega a cruzar aguas más tibias de alguna corriente marina cálida. La baja presión en los niveles superficiales acelera los vientos, dando fuerza para el movimiento de traslación que sigue la dirección que tiene el flujo en la Tropósfera media.

La temporada de ciclones se inicia en mayo hasta noviembre tanto en el Atlántico como en el Pacífico, pero es más intensa a fines del verano y principios de otoño, manifestando una máxima de lluvia en septiembre. Los ciclones que afectan al estado de Guerrero se originan ya sea en la ZIC o pueden proceder del Caribe a partir de la última semana de mayo, y rara vez llegan más al norte que los 30° de latitud por encontrarse con la corriente marítima fría de California. Los primeros ciclones avanzan hacia el W u WNW alejándose de las costas mexicanas, pero llegando a afectar a los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima y Jalisco. Los ciclones que se forman a partir de julio, se desvían al norte siguiendo de cerca la forma del litoral, afectando sobre todo a los estados de Nayarit, Sinaloa, Sonora y el extremo sur de la Península de Baja California<sup>1</sup>.

Las costas más afectadas por los ciclones son las del NW (sur de la Península de Baja California, Sonora y Sinaloa), que en el período de 1947-61 registraron el 68% de los ciclones que entraron a tierra. Para el mismo período, Nayarit, Jalisco, Colima y Michoacán registraron el 22.7%; Guerrero el 4.5%; Chiapas el 4.5% y Oaxaca ninguno<sup>2</sup>.

Los ciclones que afectan a Guerrero llegan a las costas del estado con una dirección S y SE, contribuyendo a las precipitaciones de verano y sobre todo a las altas registradas en el fin de verano y principio de otoño.

#### ONDAS DEL ESTE -

Son perturbaciones ondulatorias en el flujo intenso de los alisios con dirección E-W, se originan desde el Atlántico donde se desplazan a unos 20 o 25 Km/hr.<sup>3</sup>. El eje se localiza por cambios de dirección en los vientos de 5 a 10 Km de altura, y en superficie se manifiesta por abundantes lluvias principalmente en agosto y septiembre, aunque la segunda alta sucede en junio y julio.

La onda del Este tiene dos partes diferentes: La parte delantera presenta cielos despejados debido a una inversión de temperatura, impidiendo el ascenso del aire húmedo más allá de su base a 2 o 3 Km de altura y por ello la ausencia de grandes nubes. Predominan los vientos de 15 a 25 Km/hr del ENE o NE. En la parte posterior desaparece la inversión de temperatura y se desarrollan las nubes hasta la Tropopausa. Se extiende el mal tiempo y abundante precipitación por una zona de 300 Km detrás

<sup>1</sup> Bauza Luna, César, op. cit.

<sup>2</sup> Jáuregui, 1967, op. cit.

<sup>3</sup> Jáuregui, 1969, op. cit., pg. 232.

del eje, predominando los vientos del SE o ESE en superficie<sup>1, 2</sup>.

Las ondas del Este entran por el Mar Caribe al Golfo de México, pero su dirección E forma una componente con el borde SW del anticiclón del Atlántico. Decece la humedad por la entrada de aire más seco proveniente del centro de México. La onda entra al país por la Península de Yucatán, pasa por la zona montañosa del Istmo donde se distorsiona, pero sigue en su trayecto al oeste llevando lluvias abundantes a la zona entre Oaxaca y Jalisco.

#### b) SISTEMAS DE TIEMPO EN EL INVIERNO

En el invierno, todo el Sistema de Circulación de la Atmósfera se desplaza hacia el sur, y con él los anticiclones semipermanentes de Bermudas-Azores y del Pacífico. El cinturón de vientos del Oeste se ensancha, cubriendo prácticamente toda la República Mexicana y el Golfo de México; se pone de manifiesto durante el invierno y la primavera como invasiones de aire polar y lluvias escasas de origen frontal, pues los ciclones extratropicales descienden en latitud con frecuencia llegando a Centroamérica.

En el invierno, México queda comprendido entre dos zonas anticiclónicas: por un lado el anticiclón del Pacífico, y por el otro el de Bermudas-Azores que no permite ya la entrada de los alisios húmedos al Golfo de México. La circulación anticiclónica es divergente (en sentido de las manecillas del reloj) y por lo tanto el aire se vuelve descendente sobre la República Mexicana trayendo los cielos despejados característicos del invierno.

Los vientos de gradiente que afectan en invierno al estado de Guerrero corresponden a la periferia del anticiclón del Pacífico, éstos se suman a las brisas de mar locales que teóricamente son perpendiculares a la costa, y la resultante es un viento con dirección W y SW.

Las invasiones de aire polar proveniente de Norteamérica y que afectan la vertiente del Golfo de México, se llaman comúnmente "nortes". Recorren el Golfo recogiendo humedad y producen las lluvias de origen frontal. Esta lluvia invernal representa hasta el 18% de la precipitación anual en las costas del Golfo y laderas boreales del Istmo, que son las zonas más expuestas a los "nortes". El estado de Guerrero rara vez se ve afectado por ellos, por ser detenidos en las barreras montañosas de la Sierra Madre Oriental y del Istmo.

#### c) CIRCULACION LOCAL

En cuanto a la circulación local, la presencia de la Sierra Madre del Sur es determinante al clima del estado de Guerrero, actuando como barrera al flujo del aire superficial. Duran-

<sup>1</sup>Jauregui, 1969, op. cit., pg. 232.

<sup>2</sup>Jauregui, 1967, op. cit.

te el día, la tierra se calienta más que el mar formándose una área de menor presión, y se origina una circulación local de masas de aire húmedo hacia la tierra. Este aire húmedo se encuentra con una barrera montañosa (las estribaciones de la Sierra Madre del Sur) que lo obliga a subir bruscamente. Al ascender, se expande enfriándose adiabáticamente hasta llegar al nivel de condensación.

Al condensarse el vapor de agua para formar las nubes, libera el calor latente de vaporización, que es el calor o energía que toman las moléculas para evaporarse y que vuelven a liberar al momento de la condensación. A esta liberación de calor se debe que el gradiente térmico vertical adiabático húmedo sea menor que el seco. La masa de aire húmedo sigue ascendiendo hasta que eventualmente sucede la lluvia orográfica, dejando gran parte de la humedad de un lado y cruzando la barrera como aire relativamente seco. Esto depende de la altura de la barrera orográfica, pues si no es muy alta alcanza a pasar parte del aire húmedo, y por el contrario, si es extremadamente alta la lluvia sucede a la mitad de la Sierra y no en las partes más altas, a este caso pertenece la Región Hidrológica de Costa Grande.

El aire seco que cruza la barrera tiene un gradiente térmico vertical adiabático seco de  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 100m que desciende, contiene menos humedad y es la razón por la cual las zonas del otro lado tienen características semidrido-calientes, como sucede con la Depresión del Balsas. Este aire seco se calienta por descenso y va evaporando la poca humedad que contiene.

Para el análisis climático del estado de Guerrero, las estaciones meteorológicas se han agrupado en sus Regiones Hidrológicas correspondientes, puesto que cada Región presenta condiciones muy particulares a los elementos climáticos según su posición con respecto al mar y sobre todo con respecto a la Sierra Madre del Sur.

A continuación se hace un análisis detallado de las condiciones climatológicas para cada Región Hidrológica, en base a los mapas, cuadros, correlaciones y regresiones correspondientes de este estudio.

## VI.2 ANALISIS DEL CLIMA EN LA REGION HIDROLOGICA DE COSTA CHICA - RIO VERDE

Para esta Región Hidrológica sólo se tienen datos de 11 estaciones meteorológicas (MAPA 3), por lo cual no queda bien cubierta la zona y las conclusiones que se puedan sacar no son totalmente confiables, pero sí servirán el propósito de dar una idea general.

La Región de Costa Chica-Río Verde tiene una disposición casi de E a W, y la Sierra Madre del Sur la atraviesa parale-

la a la costa, dejando una llanura costera más amplia que en la Región de Costa Grande. El límite físico entre las dos Regiones Hidrológicas costeras es la Sierra de Campo Morado.

El clima de la Región de Costa Chica-Río Verde es Awig con la excepción de la zona de El Coateplán al NW que tiene un clima Amíg. (MAPA 14)

## VI.2.1 PRECIPITACION

La distribución de la precipitación no presenta ningún patrón en especial, exceptuando al extremo NW alrededor de las estaciones de El Coateplán con 2420.5mm, Jaleaca de Catalán con 1796.2mm y Santa Bárbara con 1981.4mm, que forman la zona de más alta precipitación de todo el estado y de ahí la zona más húmeda, con índices de aridez de 112, 70 y 89 respectivamente. Este hecho salta a la vista en los MAPAS 4, 5 y 6; la distribución irregular de la precipitación y la zona de influencia de las tres estaciones, se puede ver en los mapas de Polígonos de Thiessen 10 y 11.

Una explicación para la alta precipitación en la zona de El Coateplán podría ser su localización al final de una especie de corredor formado por la curva de nivel de 1000m y con la parte más alta de la Sierra de Campo Morado directamente atrás, provocando el efecto de barrera física al flujo del aire. En las isoyetas de los MAPAS 4 y 5, y en los polígonos de los MAPAS 10 y 11 se ve una tendencia del SE; es muy probable, puesto que los ciclones tocan la costa con una dirección SE o S. Parte de esta humedad alcanza a cruzar la Sierra hacia las otras dos Regiones Hidrológicas, alrededor de Campo Morado y San Juan de las Flores.

Hay otra precipitación relativamente alta en comparación a los otros valores, hacia el SE en Las Juntas, observable en los MAPAS 10 y 11.

La menor precipitación de la Región se presenta en Chilpancingo con 854.9mm. La interpolación del MAPA 4 la incluye dentro de la zona árida del Cañón del Zopilote, los MAPAS 5 y 6 la excluyen por tener señalada la barrera. Su baja precipitación se puede deber a que está enclavada en el centro del Valle de Chilpancingo.

El rango de precipitación en la Región va de 854.9mm en Chilpancingo a 2420.5mm en El Coateplán. En promedio, la Región de Costa Chica-Río Verde tiene una precipitación mayor y una temperatura menor que la Región de Costa Grande; se puede deber a que los ciclones y tormentas tropicales provienen del SE y S, pasando primero por ella.

La precipitación aumenta notablemente a partir del mes de junio, crece en julio y agosto hasta llegar a septiembre en que invariablemente se presenta la precipitación más alta; decrece inmediatamente en el mes de octubre. En promedio, la segunda precipitación alta del año sucede en julio, mientras que en la Región de Costa Grande ésta sucede en promedio en junio.

Para las estaciones que se encuentran sobre la Sierra Madre del Sur y para las estaciones al extremo SE, la segunda alta precipitación del año se presenta en julio. Para las estaciones sobre la costa, ésta se presenta en junio.

#### VI.2.2 TEMPERATURA

La distribución de la temperatura sigue un patrón regular disminuyendo gradualmente hacia la Sierra Madre del Sur, es observable en los MAPAS 7 y 8. Las isotermas siguen un patrón mas o menos paralelo a la costa, cosa que no sucede con las isoyetas.

Las temperaturas más altas se presentan en la costa de 25°C a 27.5°C, y las menores hacia la Sierra hasta 21.5°C. Esto salta a la vista en los MAPAS 12 y 13. El MAPA 7, por considerar plano el terreno, extiende la zona caliente de la costa hasta lo que corresponde a la cima de la Sierra, por lo cual es preferible analizar los MAPAS 8 y 9, donde no sucede por introducir las barreras.

La menor precipitación de la Región se registró en Chilpancingo, sin embargo su temperatura es baja por estar a 1360m sobre el nivel del mar.

#### VI.2.3 CORRELACIONES

Por tener datos de 11 estaciones meteorológicas para cada variable, y para estar en el 90% de nivel de confianza, se tomaron en cuenta las correlaciones mayores a 0.52 del CUADRO 9, según el CUADRO 13 de Niveles de Confianza para el Coeficiente de Correlación  $r$ . de Pearson.

Las correlaciones para la precipitación indican que a mayor longitud mayor precipitación (0.53), se debe a la abundante precipitación al NW en la zona de El Coateplán, sin embargo la correlación no es tan alta como debiera por la influencia en el cálculo de la zona relativamente árida de Chilpancingo que también está al NW.

En general las correlaciones de la precipitación son débiles debido a que no presenta un patrón de distribución regular en la Región. Por ejemplo, las correlaciones de la precipitación con la latitud (0.44), altitud (0.40), y distancia al mar (0.20), son bajas, sin embargo por ser todas positivas indican que sí existe una pequeña tendencia de mayor precipitación hacia la Sierra, pero no es muy importante.

Las correlaciones de la temperatura son más significativas: a mayor latitud menor temperatura (-0.79), a mayor distancia al mar menor temperatura (-0.57) y a mayor altitud menor temperatura (-0.71); están indicando directa o indirectamente la disminución de la temperatura con la altura sobre el nivel del mar. La correlación con la precipitación (-0.50) está demostrando su influencia para bajar la temperatura, aunque definitivamente es más determinante la altitud. La correlación de la temperatura con

la longitud (-0.59) está indicando la menor temperatura de las estaciones al NW, pero se debe solamente a que están a mayor altitud que el resto.

El índice de aridez es directamente proporcional a la precipitación e inversamente proporcional a la temperatura, como lo hacen notar las correlaciones: a mayor precipitación mayor P/T (0.98), a mayor latitud mayor P/T (0.53) y a mayor temperatura menor P/T (-0.64). La correlación de la longitud y P/T (0.59) señala la zona de gran humedad al NW.

#### VI.2.4 PENDIENTES DE REGRESION

Analizando las líneas de regresión para precipitación, parecen indicar que el Valle de Chilpancingo desde 1950 está recibiendo más lluvia por las pendientes positivas: de 1950-59 un aumento de 10.93mm al año, 1960-69 de 4.91mm y la tendencia de esta década 1970-75 de 72.28mm.

El Coatepén y Santa Bárbara en la década 1960-69 tuvieron un incremento de precipitación, pero la tendencia de 1970-74 es de disminución. Para Jaleaca de Catalán, que está muy cerca a las otras dos, sucede lo contrario, pues disminuye en la década de 1960-69 y aumenta en 1970-74.

Las estaciones costeras para 1960-69 presentan pendientes tanto positivas como negativas no muy importantes, pero para 1970-74 existe una tendencia fuerte de aumento en la precipitación.

Analizando las pendientes promedio para toda la Región:

década	pendiente	desviación	
1960-69	11.29mm	$\sigma = 35.59$	La pendiente es el incremento anual en mm.
1970-74	67.16mm	$\sigma = 96.41$	

La desviación standard señala que el aumento no es muy significativo, sin embargo existen fuertes indicios para pensar que la precipitación va en aumento puesto que el promedio y la desviación standard están hacia el lado positivo. Se podría asegurar con un 68% de probabilidad que la pendiente de cualquier lugar en la Región quedará para 1960-69 entre -24.30 y 46.88mm, y para 1970-74 en el rango de -29.25 y 163.57mm.

En cuanto a las líneas de regresión para temperatura, indican que desde 1960 las temperaturas de la costa están disminuyendo.

La temperatura de El Coatepén aumenta desde 1960, contrario a lo que sucede en la costa. La temperatura de Chilpancingo aumentó .06°C al año en la década 1950-59 pero a partir de 1960 está bajando -.04°C de 1960-69 y -.07°C de 1970-75.

Las mayores pendientes positivas se registraron: para 1960-69 en El Coatepén con .51°C y para 1970-74 en Santa Bárbara con .84°C. Las menores pendientes negativas se registraron

para 1960-69 en Santa Bárbara con  $- .15^{\circ}\text{C}$  y para 1970-74 en Copala con  $- .51^{\circ}\text{C}$ . Las pendientes extremas positivas en valor absoluto son mayores a las negativas, sin embargo analizando las pendientes promedio de la Región:

década	pendiente	desviación	
1960-69	$.01^{\circ}\text{C}$	$\sigma = .19$	la pendiente es el incremento anual en $^{\circ}\text{C}$ .
1970-74	$.0^{\circ}\text{C}$	$\sigma = .37$	

No se puede asegurar ni que aumenta ni que disminuye la temperatura, puesto que con el 68% de seguridad cualquier pendiente de la Región de 1960-69 podría quedar entre  $- .18^{\circ}\text{C}$  y  $.2^{\circ}\text{C}$ , y para 1970-74 entre  $- .37^{\circ}\text{C}$  y  $.37^{\circ}\text{C}$ .

### VI.3 ANALISIS DEL CLIMA EN LA REGION HIDROLOGIA DE COSTA GRANDE

La Región de Costa Grande tiene una orientación SE-NW; la Sierra Madre del Sur corre paralela a la costa dejando una estrecha llanura, y adquiere rápidamente grandes alturas.

El clima predominante de la Región es Awig, excepto por tres estaciones meteorológicas que tienen un clima Awg que son Coyuca de Benítez, Gloria Escondida y San Juan de las Flores. Al centro de la Región y sobre la Sierra, se presenta una zona de clima Cwbig alrededor de la estación meteorológica de San Antonio Tejas, que es la estación de mayor altitud (2200m) y de menor temperatura ( $18.44^{\circ}\text{C}$ ) de todo el estado de Guerrero. (MAPA 14)

#### VI.3.1 PRECIPITACIÓN

La precipitación aumenta hacia la Sierra, y es observable en los MAPAS 4 y 5. Hay indicios para pensar que el nivel de condensación sucede antes de llegar a la cima de la Sierra; se puede ver comparando el límite de la Región en el MAPA 3 con las isoyetas de los MAPAS 4 y 5, y además observando los valores registrados en las estaciones a diferentes alturas, por ejemplo: la precipitación más alta de la Región se registra en El Camalote a 700m de altura con 1630.2mm anuales, Gloria Escondida a 300m con 1448.2mm y San Juan de las Flores a 500m con 1440.8mm, contra San Antonio Tejas a 2200m con 1395.2mm.

Además de aumentar la precipitación hacia la Sierra, en los MAPAS 10 y 11 se nota claramente una tendencia de aumento de lluvia hacia el oeste. El polígono directamente detrás de la Sierra de Campo Morado tiene menos precipitación que el que le sigue al oeste, y éste a su vez también tiene menos precipitación que el contiguo al poniente. La explicación podría ser por los ciclones y tormentas tropicales que llegan con una dirección S y SE dejando gran parte de la humedad primero en la Región de Costa Chica y luego avanzando hacia Costa Grande, a esto se une el efecto de la barrera física de Campo Morado que no deja pasar libremente

la precipitación al otro lado, deteniéndola en la zona de El Coateplán, además en esta porción, la Sierra Madre del Sur alcanza sus mayores alturas deteniendo la humedad que alcance a llegar de los alisios húmedos en su vertiente interior.

Las menores precipitaciones se presentan en la costa: Icacos con 839mm, San Jeronimito con 842.9mm y en San Jerónimo con 874.6mm. Al extremo oeste de la Región aparece una disminución en la precipitación, observable en los MAPAS 10, 11, 4 y 5, y que corresponde a la zona de La Unión.

El rango de precipitación para la Región va de 838mm en Santa Rosa a 1630.2mm en El Camalote.

La lluvia empieza a partir del mes de junio, llegando a un máximo en septiembre y decreciendo rápidamente en octubre. La máxima precipitación se presenta invariablemente en septiembre y la segunda máxima principalmente en junio, a diferencia de la Región de Costa Rica en que la segunda máxima del año se presentaba en julio. Todas las estaciones del extremo SE de Costa Grande presentan su segunda máxima anual de precipitación en junio. Es notable la influencia ciclónica aunque llueve menos que en la Región de Costa Rica.

#### VI. 3. 2 TEMPERATURA

La distribución de la temperatura se ve claramente analizando los mapas de polígonos 12 y 13, es mayor en la costa y menor en la Sierra. En los MAPAS 7 y 8 se aprecia la disminución gradual de la temperatura hacia la Sierra mediante el patrón casi paralelo de las isoterma con la costa. Las temperaturas de la costa están entre 25.3°C y 28.8°C, donde Atoyac de Alvarez con 28.8°C representa la mayor temperatura registrada en la Región. La menor temperatura corresponde a San Antonio Tejas con 18.44°C, que es la menor registrada en todo el estado de Guerrero debido a su altitud de 2200m.

Las temperaturas van aumentando desde fines del invierno hasta llegar a las máximas de verano, generalmente decrecen otra vez a partir de septiembre.

#### VI. 3. 3 CORRELACIONES

Para la Región de Costa Grande se tienen datos de 21 estaciones meteorológicas para cada variable considerada en las correlaciones, y para estar en el 90% de nivel de confianza se tomaron en cuenta las correlaciones mayores a 0.36 del CUADRO 10, según el CUADRO 13 de Niveles de Confianza.

Para la precipitación, las correlaciones señalan que a mayor altitud mayor precipitación (0.48), la correlación no es tan alta como se pensaría pues la mayor precipitación no se presenta en la cima de la Sierra. A mayor distancia al mar mayor pre-

precipitación (0.63), como se habla recalado antes la mayor precipitación no está en la costa.

En cuanto a la temperatura, las correlaciones indican que a mayor latitud (-0.35), a mayor distancia al mar (-0.67) y a mayor altitud (-0.90), la temperatura es menor. Se debe a que la Sierra Madre del Sur está en la parte posterior de la Región. La correlación con la altitud está señalando claramente la variación de la temperatura con la altitud. La correlación de la temperatura con la precipitación es de (-0.49), indicando la existencia de una relación inversa, pero es menor a la importancia de la altitud y la distancia al mar.

En la Región de Costa Chica-Río Verde la temperatura tuvo una correlación de (-0.71) con la altitud y de (-0.50) con la precipitación. Mientras que en esta Región de Costa Grande es mayor la correlación con la altitud (-0.90) y casi igual con la precipitación (-0.49), significando que la altura es más determinante a la temperatura en esta Región que en la otra.

Para el Índice de aridez, a mayor precipitación mayor grado de humedad (0.93) y a mayor temperatura menor humedad (-0.78), era evidente por la forma de calcular el Índice. A mayor altitud mayor humedad (0.73) y a mayor distancia al mar mayor humedad (0.74), es el efecto de la barrera pues si hacia la Sierra llueve más y la temperatura es menor, la humedad será mayor hacia la Sierra también.

Como conclusión se pueden unir las correlaciones de la forma siguiente: a mayor latitud, mayor distancia al mar, mayor altitud, mayor precipitación, menor temperatura y mayor humedad. Esto es en pocas palabras el efecto de una barrera montañosa orientada como lo está la Sierra Madre del Sur.

#### VI.3.4 PENDIENTES DE REGRESION

Analizando las líneas de regresión para precipitación, se ve un incremento de lluvia para la década de 1940-49, después una disminución notable para 1950-59, pero en 1960-69 se registra un aumento, y finalmente la tendencia en la presente década es a seguir aumentando. En general las pendientes positivas son mucho más fuertes que las negativas en todas las décadas del estudio, excepto para 1950-59.

Analizando las pendientes promedio para toda la Región:

década	pendiente	desviación	
1940-49	40.95mm	$\sigma = 44.95$	
1950-59	-42.19mm	$\sigma = 63.88$	la pendiente es el
1960-69	21.92mm	$\sigma = 53.72$	aumento en mm anua-
1970-74	65.88mm	$\sigma = 83.68$	les, por década.

Con un 68% de seguridad se podría decir que cualquier pendiente de la Región quedará en los siguientes rangos según la década:

década	dispersión	
1940-49	- 4.00	a 85.90 mm
1950-59	-106.07	21.69 mm
1960-69	-51.80	75.64 mm
1970-74	-17.80	149.56 mm

La desviación standard señala que no hay un aumento muy significativo, sin embargo hay indicios de que la precipitación va en aumento a partir de 1960, pues el promedio y la desviación standard se cargan al lado positivo, esto se nota en las dispersiones correspondientes. Lo que sí es muy significativo es la disminución de la lluvia en la década de 1950-59.

Sobre el MAPA 11, se había mencionado que los polígonos denotaban un aumento de precipitación de E a W sobre la Sierra. Ahora, analizando los mismos tres polígonos con las pendientes de regresión vemos que la precipitación va en aumento en dos de ellos. De E a W en el primer polígono está Tepetitxtla con un aumento de 27.60mm anuales para la década de 1960-69 y de 83.89mm de tendencia para la presente; en el siguiente polígono están San Juan de las Flores con una disminución de 82.26mm al año para la década de 1970-74, pero las demás estaciones aumentan: Arroyo Frío tiene un aumento de 64.40mm en 1960-69 y de 59.72mm para 1970-74, San Antonio Tejas con -45.60mm para 1960-69 y 57.93mm para 1970-74, Gloria Escondida tiene una pendiente de -2.35mm para 1960-69 y de 277.80 para 1970-74; en el tercer polígono está El Camalote, que registra la mayor precipitación de la Región, pero que según sus regresiones está disminuyendo -8.31mm en 1960-69 y -15.54mm para 1970-74.

La precipitación de Zihuatanejo viene aumentando notablemente desde 1960 con 153.73mm al año y para la presente década tiene una pendiente de 78.74mm por año.

Para Coyuca de Benítez viene disminuyendo constantemente la precipitación desde 1950 con las siguientes pendientes: 1950-59 -22.58mm anuales, 1960-69 -24.11mm anuales y para 1970-74 -58.01mm anuales.

La precipitación de la zona relativamente seca de la Unión tuvo una disminución de -127.11mm anuales en la década de 1950-59, pero a partir de 1960 va en aumento con 49.72mm anuales para 1960-69 y 40.28mm al año para 1970-74.

Las líneas de regresión para temperatura indican una disminución en la década de 1960-69 y una tendencia a aumentar para la presente década.

En la costa hay una tendencia a la disminución de la temperatura en 1960-69, teniendo la mayor pendiente negativa San Jeronimito con  $-0.19^{\circ}\text{C}$  al año. Para la presente década se nota una tendencia positiva, siendo la mayor pendiente de Carrera Larga con un aumento de  $0.38^{\circ}\text{C}$  al año.

Analizando las pendientes promedio de toda la Región:

década	pendiente	desviación	
1950-59	-.04 °C	$\sigma = .10$	la pendiente indica un cambio en °C anuales
1960-69	-.03 °C	$\sigma = .10$	
1970-74	-.08 °C	$\sigma = .28$	

Con un 68% de seguridad, si la distribución es Gaussiana, se podría decir que cualquier pendiente de la Región quedará comprendida entre los siguientes rangos según la década:

década	dispersión	
1950-59	-.06 a	.14 °C
1960-69	-.13	.07 °C
1970-74	-.20	.36 °C

Para las primeras dos décadas, y en base a la dispersión, la desviación standard señala que no es muy significativo sacar conclusiones; para la tercera década está un poco más clara la tendencia hacia el lado positivo, indicando un aumento.

#### VI.4 ANALISIS DEL CLIMA EN LA REGION HIDROLOGICA DEL BALSAS

El clima predominante en la Región Hidrológica del Balsas es Awg con algunas estaciones de Awig. Además se presentan en ella las únicas tres zonas de clima BSh'wg, con algunas estaciones de BSh'wig, del estado; y hacia el E sobre la Sierra Madre del Sur hay una zona de clima Cwag y dos de Cwbig. (MAPA 14)

Todas las estaciones que en su clasificación climática son isotermales (i), se encuentran al E de la Región del Balsas, excepto Guayameo y Coahuayutla al W, y Zacatula en la costa del Pacífico.

El clima Cwag se presenta alrededor de la estación meteorológica de Alcozauca en la Mixteca Guerrerense, por estar a 1200m sobre el nivel del mar con una temperatura media anual de 20.4 °C y una precipitación de 844.5mm anuales.

El clima Cwbig se encuentra alrededor de dos estaciones meteorológicas, Atlamajalcingo y Chilapa. El clima Cwbig se caracteriza por temperaturas menores a las de Cwag; comparando Atlamajalcingo del primer caso con Alcozauca del segundo, ambas en la Sierra de Malinaltepec, Atlamajalcingo se encuentra a 2000m de altura con una temperatura de 18.6 °C y tiene una precipitación mayor de 965mm al año, volviéndola más húmeda y menos caliente que Alcozauca. Ahora comparando Chilapa con Alcozauca: Chilapa está dentro del Valle de Chilapa aproximándose a la zona árida del Cañón del Zopilote y Valle de Chilpancingo, tiene una altura de 1300m que es semejante a la de Alcozauca, pero su temperatura es menor 18.9 °C y su precipitación también ligeramente menor con 831.9mm, convirtiéndola en una zona más árida pero menos caliente que Alcozauca. En el MAPA 7 se ve clarísima la diferencia entre

el clima de Alcozauca y Atlamajalcingo.

#### VI.4.1 ZONAS ARIDAS DEL ESTADO DE GUERRERO

El estado de Guerrero tiene tres zonas áridas, y todas están en la Región del Balsas. (MAPAS 5, 11 y 14)

1) La primera zona árida empezando por el E, tiene el clima BSh'wg y BSh'wig abarcando 3 estaciones meteorológicas que son Huamuxtillán, Ixcateopan y Tlapa.

Huamuxtillán está más al norte, a una altura de 1125m, con 26.3°C y 747.3mm anuales de precipitación. Tlapa se encuentra a una altitud de 1270m, con 25.9°C y 771.1mm de lluvia al año. Ixcateopan está a 334m de altura, con 24.6°C (la menor temperatura de las tres aún cuando es la de menor altitud) y 759.3mm de lluvia al año. Por el índice de aridez de las tres estaciones (28.4, 29.7 y 30.9 respectivamente) se ve que esta zona es de las menos áridas del clima BS, según el CUADRO 6 de Rangos del Índice de Aridez, y es la menos árida de las tres zonas áridas de Guerrero.

2) La siguiente zona de clima BSh'wg y BSh'wig comprende la zona del Valle de Chilpancingo y Cañón del Zopilote. Quedan incluidas las siguientes estaciones: Chichihualco, Zumpango, Xochipala, Mezcala y San Juan Tetelcingo. Chilpancingo no se considera parte de esta zona árida por quedar del otro lado de la línea divisoria de las aguas de la Sierra Madre del Sur, y por tener un clima Awig, baja temperatura (21.7°C debido a su altitud 1360m) y ligeramente más alta precipitación (854.9mm anuales).

estación	altitud	temp.	precip.	P/T
Chichihualco	1210 m	23.3°C	690.6mm	29.6
Zumpango	970 m	24.2°C	738.8mm	30.5
Xochipala	1100 m	24.4°C	744.0mm	30.6
Mezcala	416 m	28.7°C	761.6mm	26.5
Sn Jn Tetelcingo	510 m	29.1°C	662.6mm	22.8

Chichihualco es la estación más alta; próximas al Cañón del Zopilote están Zumpango y Xochipala, y al fondo del Cañón y ya en la Depresión del Balsas están Mezcala y San Juan Tetelcingo. San Juan Tetelcingo registra la menor precipitación, la mayor aridez y la segunda temperatura más alta del estado.

Por el índice de aridez de las cinco estaciones, esta zona es de las menos áridas del clima BS según el CUADRO 6, pero es la zona más árida de las tres zonas áridas de Guerrero.

De la Depresión del Balsas hacia las alturas de la Sierra Madre del Sur, quedan más o menos alineadas a lo largo del Cañón del Zopilote, Mezcala-Xochipala-Zumpango (sobrepone el MAPA 3 sobre el MAPA 1). Estas tres estaciones tienen la mayor precipitación de las cinco de esta zona árida, y además sus valores disminuyen hacia la Sierra (761.6, 744.0 y 738.8 mm respectivamente), como si soplara por el Cañón un aire ligeramente húmedo proveniente del Balsas.

3) La tercera zona árida del estado se encuentra al extremo NW de la Región Hidrológica del Balsas. El clima es BSh'wg y se presenta alrededor de dos estaciones meteorológicas de la llanura del Balsas, pero una en la vertiente interior de la Sierra Madre del Sur (Aratichangulo), y la otra en la vertiente exterior (Coahuayutla), comparar los MAPAS 1 y 3.

estación	altitud	temp.	precip.	P/T
Aratichangulo	164 m	29.4°C	720.5mm	24.49
Coahuayutla	400 m	26.9°C	720.9mm	26.8

Aratichangulo representa la mayor temperatura del estado de Guerrero. Por sus índices de aridez, esta zona también es de las menos áridas del clima BS según el CUADRO 6, y es la zona intermedia entre las otras dos áridas de Guerrero.

En los MAPAS 10 y 11 se ven claramente las tres zonas áridas, aunque en el 11 quedaron casi unidas las dos zonas del E. En los MAPAS 12 y 13 se marcan las altas temperaturas y sus zonas de influencia por los polígonos de Thiessen; también se señalan las diferentes temperaturas de las estaciones comprendidas en cada zona árida. El gradiente térmico tan fuerte entre Chilpancingo y San Juan Tetelcingo se ve claramente marcado en los MAPAS 7 y 8.

#### VI.4.2 EL CLIMA EN EL TRAYECTO DEL BALSAS

El curso del Rlo Balsas, con dirección E-W, se puede ir siguiendo con las estaciones meteorológicas a lo largo de la Depresión, para ir viendo los cambios en el clima.

De E a W van alineadas a lo largo del Rlo: (MAPA 3)

Atenango del Rlo	626 m de altura
Copalillo	1000 m
Tonalapa del Sur	800 m
San Juan Tetelcingo	510 m
Mezcala	416 m

Todas se caracterizan por su baja precipitación que va disminuyendo hacia San Juan Tetelcingo, y por su alta temperatura que va aumentando hacia San Juan Tetelcingo. Se nota perfectamente este trayecto árido en los MAPAS 4, 5 y 6. El aumento de la temperatura hacia San Juan Tetelcingo se nota clarísimo en los MAPAS 7, 8, 12 y 13. Pasando San Juan Tetelcingo hay una disminución notable de la temperatura y luego aumenta otra vez siguiendo el trayecto hacia Santo Tomás.

Hasta aquí el trayecto del Rlo Balsas ha sido árido y caliente, pero a partir de Santo Tomás se abre la llanura del Balsas y aumenta considerablemente la precipitación (MAPA 1). De Santo Tomás hasta Zirándaro, las estaciones meteorológicas registran precipitaciones alrededor de los 1100mm anuales y el clima cambia a Awg, manteniéndose alta la temperatura. Esta zona húmeda en el recorrido del Balsas se ve en los MAPAS 4, 5, 6, 10 y 11. En los MAPAS 12 y 13, la zona llamada Tierra Caliente, el "granero" del estado, queda comprendida en dos grandes polígonos.

NOTA: el valor de la precipitación para la estación meteorológica de Palos Altos fue mal alimentado a la computadora, pues en vez de darle su valor de 1169.5mm se le dio 1669.5mm. Esto explica la alta precipitación que el programa señala a su alrededor. La interpretación correcta es que tiene un valor muy semejante a sus estaciones vecinas y deberla aparecer como parte de la zona húmeda uniforme, en los MAPAS 4, 5 y 6 con símbolos "+", y en los MAPAS 10 y 11 con símbolos "=".

A partir de Zirándaro las temperaturas siguen siendo elevadas y la precipitación disminuye hasta llegar a ser una zona árida otra vez, (MAPAS 4, 5, 6, 10 y 11). Finalmente desemboca el Balsas al Pacífico en Zacatula, con una de las precipitaciones más altas de la costa.

En los MAPAS 7, 8 y 9 se puede seguir el trayecto de la Depresión del Balsas por las temperaturas más altas.

#### VI.4.3 EL CLIMA SOBRE LA VERTIENTE INTERIOR DE LA SIERRA MADRE DEL SUR

Empezando por el E, se encuentran dos de las zonas áridas de Guerrero analizadas anteriormente; quedan representadas por signos "+" en el MAPA 11. Comparando los valores registrados por las estaciones del Valle de Chilpancingo contra los de las estaciones directamente opuestas sobre la Sierra Volcánica Transversal, se ve una marcada diferencia, pues mientras que en la Sierra Madre del Sur el clima es BS, sobre la Sierra Volcánica aumenta considerablemente la precipitación y el clima cambia a un Awg (MAPA 14).

La precipitación de las zonas áridas sobre la Sierra Madre del Sur está por los 700mm anuales, y en la zona directamente enfrente sobre la Sierra Volcánica y mas o menos a la misma altura, la precipitación está entre 950 y 1400mm anuales, registrando las más altas Cacaloxtenango y Taxco.

La humedad en la Sierra Volcánica se debe en parte a los alisios húmedos del Golfo de México que alcanzan a librar las montañas del Istmo, o que penetran al continente por Centroamérica cruzando hasta el Pacífico. Otra fuente de humedad es la ZIC que en verano afecta a Guerrero; y otra es la proveniente del Pacífico.

Analizando los MAPAS 5 y 6 se ve un patrón de la siguiente manera: el aire húmedo del mar asciende por la Sierra Madre del Sur en la Región de Costa Chica, se enfría adiabáticamente y precipita. El aire cruza la Sierra relativamente seco y al descender hacia la Depresión del Balsas se calienta adiabáticamente, provocando las zonas áridas del Valle de Chilpancingo y Cañón del Zopilote. Al otro lado, el aire asciende por las estribaciones de la Sierra Volcánica Transversal, se enfría al expanderse

y precipita, aunque en promedio 1000mm anuales, que no se comparan con la precipitación de la costa.

Los Valles de Chilapa y Chilpancingo están a la misma altura (1400 m) sobre el nivel del mar, con la misma orientación y del otro lado de la línea divisoria de las aguas de la Sierra Madre del Sur. Lo único que los separa es una elevación alargada de 1800m de altura. Sin embargo el Valle de Chilapa registra una mayor precipitación y menor temperatura que el de Chilpancingo. [Comparar el MAPA 1 con los MAPAS 5 y 13]. El fuerte gradiente térmico entre los dos valles se aprecia claramente en el MAPA 7. Es probable que el Valle de Chilapa sea más húmedo que el de Chilpancingo porque las curvas de nivel en dirección al Pacífico están más espaciadas dejando una apertura mayor, permitiendo con más facilidad la entrada del aire húmedo que logra pasar las alturas de la Sierra.

Lo anterior fue un análisis de la zona oriental; ahora siguiendo el recorrido al oeste sobre la vertiente interior de la Sierra Madre del Sur, se encuentra una zona Awg (MAPA 14). A partir de la estación de Gral. Heliodoro Castillo se registra un considerable aumento de precipitación, dándose una zona relativamente húmeda uniforme con 1100mm de lluvia anuales en promedio. (MAPAS 5 y 6)

Finalmente, hacia el extremo oeste empieza a decrecer la precipitación hasta llegar otra vez a un clima BS. (MAPAS 5 y 14).

#### VI.4.4 PRECIPITACION

El rango de precipitación en la Región Hidrológica del Balsas va desde 662.2mm en San Juan Tetelcingo (la precipitación menor de todo el estado), hasta 1408.4mm en Taxco. La precipitación es definitivamente menor a la de las Regiones Hidrológicas costeras.

En las dos zonas áridas del E, la máxima precipitación se presenta en agosto o en septiembre, y la segunda alta precipitación del año se presenta en julio. Pero en la zona árida del NW, sucede lo contrario, pues la máxima se presenta en julio y la segunda en agosto.

En general para el E de la Región del Balsas, la máxima precipitación se presenta en julio tanto como en agosto o septiembre, y la segunda máxima del año indistintamente en el verano.

En la zona húmeda de las partes altas de la Sierra Madre del Sur, que en los MAPAS 10 y 11 aparece con signos "=" y "<", presenta la mayor precipitación en septiembre y la segunda alta del año en julio. En cambio en la zona húmeda de las llanuras del Balsas, alrededor de Tierra Caliente, la máxima se da en julio y la segunda alta del año en agosto.

En general para las estaciones al oeste de la Región del Balsas, la máxima precipitación se da en julio y una segunda máxima en agosto.

No se puede hablar del mes más lluvioso del año para toda la Región Hidrológica del Balsas, pues éste se presenta en forma muy distinta a través del verano en las estaciones meteorológicas. Es un problema definirlo pues la mayor parte de las estaciones no presenta un mes en especial con una máxima de precipitación, sino que se distribuye casi pareja por tres de ellos (julio, agosto y septiembre). La falta de una máxima de precipitación definida en una parte del verano se debe a que esta zona del estado de Guerrero no es afectada directamente por las tormentas tropicales y ciclones.

#### VI.4.5. TEMPERATURA

En cuanto a la distribución de la temperatura en la Región Hidrológica del Balsas, las mayores temperaturas están en la Depresión del Balsas y las menores en las alturas de las dos Sierras (MAPAS 12 y 13). El gradiente térmico de la Sierra Madre del Sur a la Depresión, y con la disminución gradual otra vez hacia la Sierra Volcánica Transversal, se nota clarísimo en los MAPAS 7 y 8.

Las temperaturas de las estaciones sobre la Sierra Volcánica al E de la Región Hidrológica, son mayores que sus correspondientes sobre la Sierra Madre del Sur, aún estando a alturas semejantes, y lo sorprendente es que las de la Sierra Madre del Sur pertenecen a la zona árida, (Comparar los MAPAS 12 y 13).

Bajando por la Sierra Madre y subiendo por la Sierra Volcánica, en la misma dirección, compare los siguientes valores: (Consultar el MAPA 3 para la localización de las estaciones)

estación	altitud	temperatura
Chichihualco	1210 m	23.3°C
Zumpango	970 m	24.2°C
Xochipala	1100 m	24.4°C
Mezcala	416 m	28.7°C
San Juan Tetelcingo	510 m	29.1°C
Tonalapa del Sur	800 m	27.5°C
Tepecoacuilco	1005 m	26.2°C
Valerio Trujano	1000 m	25.1°C
Ahuehuepan	1100 m	25.5°C

El rango de temperatura en la Región del Balsas va desde Aratichangulo con 29.4°C (la más alta del estado) hasta 18.6°C en Atlamajalcingo.

## VI.4.6 CORRELACIONES

En la Región Hidrológica del Balsas se tienen datos de 51 estaciones meteorológicas para cada variable considerada en las correlaciones. Para estar en el 90% de nivel de confianza según el CUADRO 13 de Niveles de Confianza de Pearson, se tomaron en cuenta todas las correlaciones mayores a 0.23 del CUADRO 11.

La precipitación depende de la longitud (0.60), de la distancia al mar (-0.52) y de la altitud (0.31). La correlación con la longitud indica que la zona más lluviosa está hacia el oeste; es posible pues en dirección contraria están las zonas más áridas de la Región, aunque sería más correcto decir que la zona más lluviosa está al centro-oeste alrededor de las llanuras fértiles del Balsas.

A mayor distancia al mar menor precipitación - es cierto pues las mayores distancias horizontales al mar se encuentran al E y es la zona más seca de la Región. A mayor altitud mayor precipitación, señala que llueve más en la Sierra y la Sierra Volcánica que en la Depresión del Balsas; la correlación no es muy alta porque en las llanuras del Balsas también llueve.

Con la temperatura hay dos correlaciones para las que no existe una explicación satisfactoria para aceptarlas: a mayor longitud menor temperatura (-1.0, que es una correlación inversa perfecta), y a mayor distancia al mar mayor temperatura (0.95).

A mayor precipitación menor temperatura (-0.59) y a mayor altitud menor temperatura (-0.25), es un caso raro que la temperatura dependa más de la precipitación que de la altura; es posible que la correlación indique esto debido a que las zonas áridas del E están en las partes altas de la Sierra Madre del Sur.

Para el Índice de aridez, la correlación más alta fue con la precipitación (0.81). Le sigue la correlación con la altitud (0.60), debido a que a mayor altura es menor la temperatura y mayor la precipitación.

El Índice de aridez con la temperatura no tuvo una correlación muy importante (-0.24), por la gran diversidad de temperaturas con respecto a la precipitación, por ejemplo en el Valle de Chilpancingo árido pero de temperatura relativamente baja, en contraste a las llanuras del Balsas de mayor precipitación y temperaturas mucho más altas.

La correlación de mayor longitud mayor humedad (0.22) señala la zona fértil alrededor de Cd. Altamirano igual que la señaló la correlación de la longitud con la precipitación (0.60).

En conclusión, se pueden agrupar las correlaciones de la Región Hidrológica del Balsas de la siguiente manera: a mayor longitud, menor distancia al mar, mayor altitud, mayor precipitación, menor temperatura y mayor humedad. Puesto que se pudieron unir así todas las correlaciones, significa que están muy relacionadas unas con otras. Señalan sobre todo la Depresión del Balsas, las zonas áridas del E y la zona fértil al W.

## VI.4.7

## PENDIENTES DE REGRESION

Analizando la pendiente promedio y la desviación standard para cada década, desde 1940 hasta la fecha hay indicios de que la precipitación y la temperatura vienen en aumento. Se debe a que tanto las pendientes como las desviaciones son todas positivas, y a que siempre queda del lado positivo la mayor parte de las dispersiones. Sin embargo, ningún aumento es estadísticamente significativo debido a la gran amplitud de la dispersión:

	incremento anual	desviación standard	dispersión		
<b>Precipitación</b>					
1930-39	17.68 mm	24.54	- 6.86	a	42.22
1940-49	15.75 mm	26.60	-10.85		42.35
1950-59	8.32 mm	41.79	-33.47		50.11
1960-69	5.56 mm	36.20	-30.64		41.76
1970-74	10.46 mm	63.38	-52.92		73.84
<b>Temperatura</b>					
1940-49	.18 °C	.27	.09		.45
1950-59	.03 °C	.10	-.07		.13
1960-69	.03 °C	.19	-.16		.22
1970-74	.07 °C	.29	-.22		.36

Para precipitación la dispersión se amplió desde 1950, sobre todo hacia el lado negativo, sin embargo siempre predomina el lado positivo. Igual sucedió para la temperatura pero a partir de 1960.

La zona árida del extremo E presenta pendientes positivas desde 1940, indicando un aumento constante de la precipitación. Las temperaturas subieron en promedio .16°C al año en la década de 1960-69, pero la tendencia para la presente década es a disminuir .06°C en promedio al año.

Para el Valle de Chilapa, la precipitación vino en aumento de 1930 a 1960, pero en la década de los 60s tuvo una disminución de 23.9mm anuales. La tendencia actual es otra vez a aumentar. Su temperatura en promedio se ha mantenido igual.

Para el Valle de Chilpancingo y Cañón del Zopilote, en promedio la temperatura se mantiene igual desde los 50s, y la precipitación aumenta.

En las estaciones que se encuentran sobre las estratificaciones meridionales de la Sierra Volcánica Transversal, las pendientes de regresión para precipitación indican un aumento constante desde 1940 hasta la fecha. Por ejemplo, la precipitación de Taxco viene aumentando en promedio 35mm anuales desde 1930. Las pendientes de regresión para temperatura indican que en promedio se mantiene igual, excepto por una ligera disminución en los 60s.

Para el resto de la Región del Balsas, la precipitación y la temperatura se han mantenido relativamente constantes.

## VI.5 CONCLUSIONES PARA EL ANALISIS CLIMATICO FINAL DEL ESTADO DE GUERRERO

### VI.5.1 PRECIPITACION

Las precipitaciones registradas en el estado de Guerrero provienen principalmente del Pacífico. Su origen se debe al desplazamiento de la Zona Intertropical de Convergencia hacia el norte en verano, y a los ciclones y tormentas tropicales que surgen en su seno.

La influencia de los ciclones y tormentas tropicales toca principalmente a las Regiones Hidrológicas costeras, y en menor grado a la Región del Balsas. Esto se comprueba porque las máximas precipitaciones de las zonas costeras suceden invariablemente en septiembre, en cambio en la Región del Balsas son totalmente variables y generalmente no existe una máxima definida en un solo mes sino distribuidas por los meses de verano, señalando probablemente la influencia de los alisios del Golfo de México hacia el norte del estado.

En la Región del Balsas, la zona oeste de llanuras aluviales es relativamente húmeda. En esta zona la Sierra Madre del Sur alcanza sus mayores alturas, provocando que en la zona costera la precipitación no suceda en la cima sino a menor altura, y de ahí que no sea fácil el paso de la humedad del Pacífico. La humedad proviene de la Zona Intertropical de Convergencia, de los alisios que alcanzan a pasar las montañas o que penetran por Centroamérica, y tal vez porque se introduce por el Balsas algo de humedad del Pacífico.

El patrón geométrico de las isollneas es importante por demostrar la dinámica del fenómeno sobre la zona y el gradiente de la variable. En el caso de Guerrero, el patrón de las isoyetas fue muy irregular. En las Regiones Hidrológicas costeras, la precipitación aumenta hacia la Sierra al mismo tiempo que la temperatura disminuye (comparar MAPAS 11 y 13); del otro lado de la Sierra, la precipitación disminuye para aumentar después hacia la Sierra Volcánica y la temperatura al revés.

Comparando las dos vertientes de la Sierra Madre del Sur, encontramos que llueve más del lado de la costa que del interior. La comparación se hará entre dos estaciones de la misma longitud pero de un y otro lado de la cresta o línea divisoria de las aguas (MAPA 3 para la localización de las estaciones):

Colotlipa	1337.2 mm	con	Chilapa	831.9 mm
Chilpancingo	854.9 mm		Zumpango	738.8 mm
El Coatepén	2420.5 mm		Campo Morado	1239.2 mm
Santo Domingo	1375.0 mm		Campo Morado	1239.2 mm
Sn Ant. Tejas	1395.2 mm		Los Ticuiches	994.8 mm
El Camalote	1630.2 mm		Cundancito	967.4 mm
Sta. Rosa	1075.0 mm		Coahuayutla	720.9 mm
La Unión	951.3 mm		Coahuayutla	720.9 mm

Entre el NW de la Región de Costa Chica-Río Verde y el NE de la Región de Costa Grande, también existe una gran diferencia, por el efecto de la Sierra de Campo Morado que las separa y que detiene parte de la lluvia proveniente del SE y S por ciclones y tormentas tropicales. Siguiendo el mismo sistema de comparación:

El Coatepec	2420.5mm con Santo Domingo	1375.0mm
Jaleaca de Catalán	1796.2mm Santo Domingo	1375.0mm
Santa Bárbara	1981.4mm Sn Jn de las Flores	1440.8mm
Santa Bárbara	1981.4mm Tepetitla	1324.6mm

La precipitación de la Región de Costa Chica, en promedio, es mayor a la de Costa Grande. (MAPA 11)

#### VI.5.2 TEMPERATURA

Las isotermas describen un patrón más uniforme que las isoyetas, y tienden a ser paralelas a la costa y a la Sierra Madre del Sur. (Comparar MAPAS 4 con 7, y 5 con 8)

Las estaciones meteorológicas de la costa son isotermales (con i en su clasificación climática), a excepción de tres en la Región de Costa Grande\*. Es la marcada influencia del mar para mantener más uniforme la temperatura durante el año. La mayor parte de las estaciones al E de la Región del Balsas también son isotermales. \*faltaron datos de temperatura

Las mayores temperaturas se registran en la costa y en la Depresión del Balsas (MAPAS 12 y 13), siendo más altas las de la Depresión del Balsas (MAPAS 7, 8 y 9).

Las menores temperaturas, y de ahí los climas templados, se encuentran todos en lo alto de la Sierra Madre del Sur. En las alturas de la Sierra Volcánica Transversal también se encuentran algunas estaciones de baja temperatura pero no de clima templado. (MAPAS 7, 8, 9, 12 y 13)

#### VI.5.3 CORRELACIONES

Uniendo los datos para todas las estaciones meteorológicas del estado, se aplicó el algoritmo de correlación de Pearson, y se obtuvo el CUADRO 12. Para estar en el 90% de nivel de confianza, se tomaron en cuenta todas las correlaciones mayores a 0.18, por tener 83 datos para cada variable, según el CUADRO 13.

La distribución de la precipitación según las correlaciones, en orden de importancia, depende de: a mayor longitud mayor precipitación (0.95), puesto que al E están las mayores zonas secas. A mayor altitud mayor precipitación (0.74), señala la lluvia orográfica donde al ascender el aire húmedo por la Sierra Madre del Sur o por la Sierra Volcánica, se enfría, condensa y precipita. A mayor distancia al mar menor precipitación (-0.73), demuestra que el grueso de la humedad se queda del lado del Océano Pacífico. A mayor latitud mayor precipitación (0.71), en las

mayores latitudes, debido a la forma y orientación del estado, quedan: la zona húmeda de la Sierra Volcánica Transversal, la zona húmeda de las llanuras del Balsas, y la zona húmeda de la Región Hidrológica de Costa Grande.

Según su posición con respecto a la Sierra Madre del Sur y a la costa, los factores que determinan la precipitación en cada Región Hidrológica son diferentes: En la Región de Costa Chica, la precipitación depende de la longitud (0.53) y de la latitud (0.44). En la Región de Costa Grande, la precipitación depende de la distancia al mar (0.63) y de la altitud (0.48). En la Región del Balsas depende de la longitud (0.60) y de la distancia al mar (-0.52).

La temperatura depende de los siguientes factores según las correlaciones, en orden de importancia: a mayor longitud menor temperatura (-0.98), aparentemente no hay ninguna razón para sostenerlo (MAPAS 12 y 13). A mayor precipitación menor temperatura (-0.93), apoya la noción de que al evaporarse el agua de lluvia baja la temperatura, además de que en el estado de Guerrero llueve más en las Sierras donde de por sí debido a la altura es menor la temperatura. A mayor distancia al mar mayor temperatura (0.78), las mayores distancias al mar están al E donde se encuentran las zonas áridas, además la Depresión del Balsas está alejada del mar y registra las temperaturas más altas del estado. A mayor altitud menor temperatura (-0.71), era de esperarse puesto que la temperatura decrece con la altitud. A mayor latitud menor temperatura (-0.69), no hay ninguna razón satisfactoria que lo apoye porque al ir subiendo en latitud encontramos tanto las bajas temperaturas de la Sierra Madre del Sur como las altas temperaturas del Balsas. (MAPAS 12 y 13)

Casi todos los factores que determinan la temperatura en las Regiones Hidrológicas, se refieren directa o indirectamente a la altura, excepto para la Región del Balsas donde sucede por causas geográficas. En la Región de Costa Chica, la temperatura depende de la latitud (-0.79) y de la altitud (-0.71). En la Región de Costa Grande, depende de la altitud (-0.90) y de la distancia al mar (-0.67). En la Región del Balsas, depende de la distancia al mar (0.95) y de la precipitación (-0.59). Esto es sin hacer mención de la correlación (-1.00) con la longitud, que no presenta una explicación satisfactoria.

La distribución del Índice de aridez depende de: a mayor precipitación mayor humedad (0.84), por ser calculado el Índice directamente proporcional a la precipitación. A mayor altitud mayor humedad (0.78), pues a mayor altitud mayor precipitación y menor temperatura, según lo dicho anteriormente. A mayor temperatura menor humedad (-0.68), por ser el Índice inversamente proporcional a la temperatura. A mayor longitud mayor humedad (0.68), marca las zonas húmedas de El Coatepec, de la Región de Costa Grande en general, y la zona húmeda de las llanuras del Balsas; de ella se deduce también que al E están las zonas áridas. A mayor distancia al mar menor humedad (-0.61), quiere decir que en las zonas costeras se queda la mayor parte de la humedad; como las mayores distancias horizontales al mar están al E, ahí se encuentran las zonas áridas. A mayor latitud mayor humedad (0.49), es una corre-

lación relativamente baja y no tiene una explicación obvia.

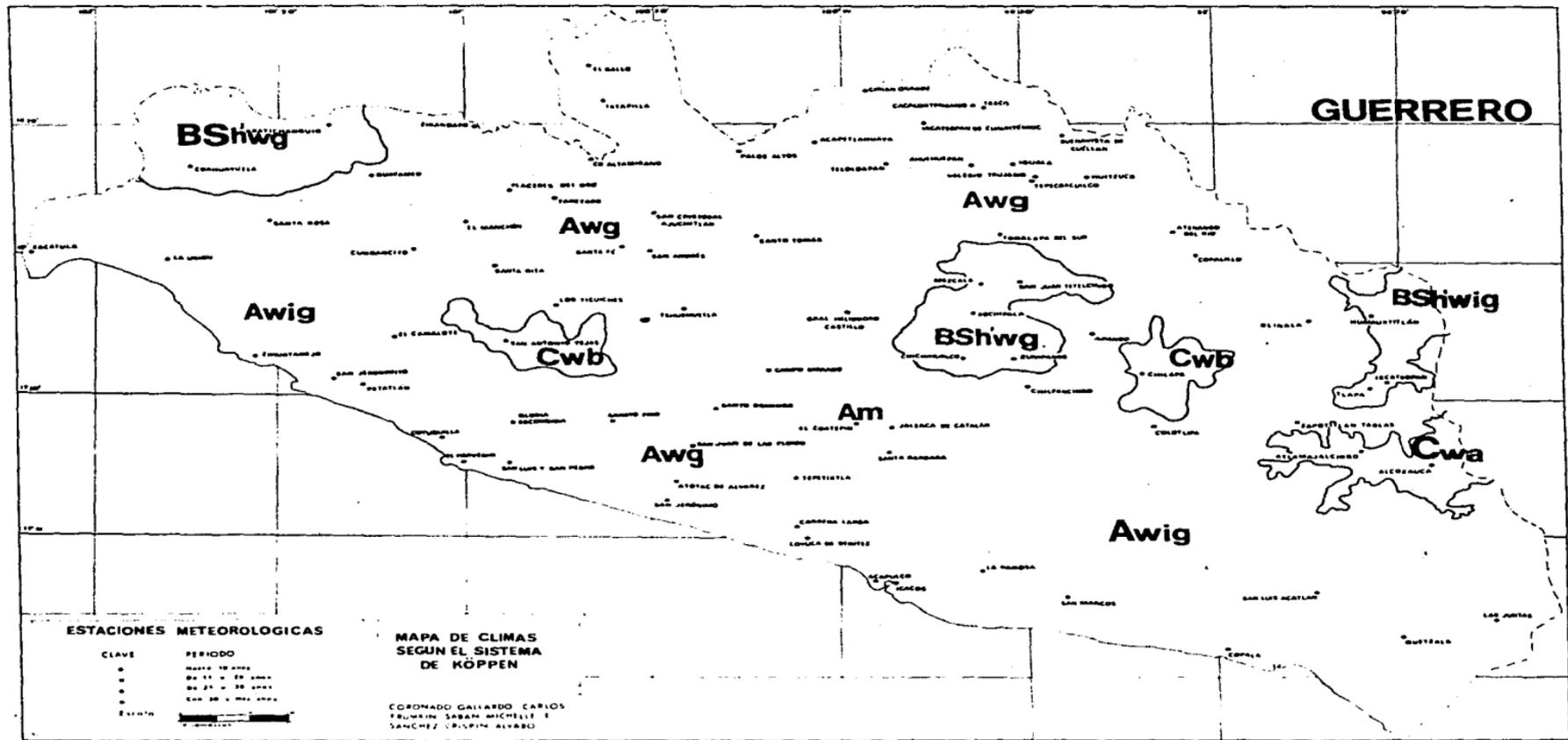
Para las tres Regiones Hidrológicas, la humedad depende de la precipitación y de la temperatura, debido a la forma en que se calcula el Índice. Además de estas dos variables, en las Regiones de Costa Grande y Balsas depende de la altitud, y en la de Costa Chica de la longitud por condiciones geográficas.

#### VI.5.4 REGRESIONES

Estadísticamente hablando, ningún aumento o disminución en la precipitación y temperatura salió significativo; la desviación standard siempre fue mayor a la pendiente promedio, dando dispersiones muy amplias a ambos lados del origen, y haciendo imposible asegurar de qué lado queda el fenómeno. Sin embargo las pendientes y la desviación standard, tanto para precipitación como para temperatura, excepto por dos casos, siempre fueron positivas. La mayor parte de la dispersión también quedó cargada hacia el lado positivo, dando lugar a pensar que ambos fenómenos vienen en aumento.

La Región del Balsas, desde 1930 a la fecha, presenta para precipitación una pendiente y desviación standard positivas, casi constantes a lo largo de cinco décadas. En cambio su temperatura se presenta más variable, pero también en aumento constante, sobre todo para la década de los 40s. Para las pendientes promedio y desviaciones standard, ver los CUADROS 7 y 8.

Las Regiones costeras tuvieron dispersiones más irregulares: para precipitación, en la década 1940-49 se registra un aumento considerable; en la década 1950-59 se registra una disminución muy importante, y a partir de los 60s existe una fuerte tendencia al aumento. La temperatura de estas Regiones, en la década 1960-69 parece haber disminuido, y actualmente sube otra vez.



MAPA 14

## CONCLUSIONES

Hacer directamente el programa para un mapa por computadora no es fácil, se necesita saber programación a un alto nivel y estar corriendo el programa repetidas veces para arreglar detalle por detalle. Por ejemplo, el PROGRAMA para la elaboración del MAPA 2 por graficador, es relativamente sencillo pues el único cálculo es el de la línea punteada, el resto son órdenes de dibujo, sin embargo requirió de muchas pruebas antes de obtener el resultado deseado.

En cambio un programa para mapas isopléticos por graficador, además de las órdenes de dibujo, necesitaría los algoritmos para los cálculos de interpolación; y si este programa tiene salida por la impresora, en vez de órdenes de dibujo, llevaría formatos complicadísimos para la impresión de caracteres. De aquí la ventaja de usar paquetes ya diseñados, probados y bien documentados, como SYMAP.

No todos los paquetes sirven todos los propósitos; es necesario estudiarlos bien primero para saber si se ajustan a nuestras necesidades. Una vez escogido el paquete adecuado, es necesario hacer muchas pruebas para agarrarle el modo, jugando con las opciones y analizando los cambios y efectos que se pueden obtener. Una vez logrado esto, se continúa haciendo pruebas y jugando con combinaciones diferentes para ver lo que más conviene a las necesidades específicas del estudio al que se piensa aplicar. Tantas pruebas y errores que se pueden cometer por no conocer bien el paquete, aumentan el tiempo de máquina y el costo hasta el triple.

SYMAP es un paquete bien documentado y por lo tanto bastante sencillo de emplear. Lo pueden usar desde personas que no saben programación hasta personas que lo alterarían según sus necesidades, por ejemplo cambiándole el formato de datos de entrada, o cambiando el algoritmo del cálculo de barreras (que resulta poco eficiente y sube mucho el tiempo de máquina, y de ahí el costo). Los mapas de este estudio hechos por SYMAP, tomaron entre 4 y 18 minutos de la computadora cada uno, sin contar aquí las innumerables pruebas que se tuvieron que hacer antes.

Es muy fácil cometer errores en estos paquetes, puesto que el formato para los datos de entrada es riguroso. La omisión de un punto decimal de una cifra, la convierte de un valor pequeño a un valor de miles y millones. El omitir una tarjeta provoca cambios inimaginables. El perforar mal un dato causa cambios en la interpolación, y de ahí

errores a la hora del análisis, y por ello conclusiones equivocadas. Es muy importante trabajar estos paquetes con orden, limpieza y paciencia.

Cuando se han vencido los problemas anteriores, es notable la rapidez con que se puede producir un mapa atrás de otro a partir del mapa base. Esto es una gran ayuda para actualizar mapas de fenómenos que cambian constantemente, por ejemplo los fenómenos meteorológicos y los datos de población.

Para los mapas isopléticos de este estudio, hubiera sido conveniente tener algunas estaciones fuera de los límites políticos del estado de Guerrero, para no brincar a conclusiones; por ejemplo en las llanuras del Balsas, en que a Guerrero sólo corresponde una ribera del río por ser este frontera entre Michoacán y Guerrero.

En cuanto a los métodos cuantitativos de regresión y correlación, con la regresión se logra analizar una tendencia temporal de los números en vez de tratar de sacar conclusiones con datos aislados; las correlaciones no indicaron algo que no se pudiera deducir anticipadamente de los datos, pero sirvieron varios propósitos: para defender las teorías que se postulan, servir de guía para saber qué buscar y dónde, y para no dejar fuera algo importante.

La ventaja del manejo de los datos por métodos cuantitativos y SYMAP en este estudio, es que con pocos datos (precipitación y temperatura medias anuales y una localización tridimensional de las 83 estaciones meteorológicas) se logró una gran cantidad de información, aunque se corre el riesgo de caer en el grave error de inventar.

REFERENCIAS

1. Baldor, J.A. (1967) *Geometría Plana y del Espacio*, Cultural Mexicana, S.A., ed. Vasco Americana, S.A., Bilbao, España.
2. Chow, Ven Te (1964) *Handbook of Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill Book Company, U.S.A.
3. Conrad, V. and Pollak, L.W. (1962) *Methods in Climatology*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Massachusetts, U.S.A.
4. Cuenca de los Ríos Atoyac y Mixteco, Región Hidrológica Num. 18 (parcial), Tomo 1, Boletín Hidrológico No. 48, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Dirección de Hidrología, México, D.F., 1971.
5. Cuenca del Medio y Bajo Balsas, Región Hidrológica Num. 18 (parcial), Tomo 1, Boletín Hidrológico No. 49, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Dirección de Hidrología, México, D.F., 1973.
6. Cuenca del Río Amacuzac, Región Hidrológica Num. 18 (parcial), Boletín Hidrológico No. 47, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios, Dirección de Hidrología, México, D.F., 1971.
7. Davis, J.C. (1973) *Statistics and Data Analysis in Geology*, Kansas Geological Survey, John Wiley and Sons, Inc., U.S.A.
8. Dougenik, J.A. and Sheehan, D.E. (Sept. 1975) *SYMAP User's Reference Manual, Edition 5.0, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Graduate School of Design, Harvard University, Cambridge, Mass., U.S.A.*
9. García, E. (1967) *Apuntes de Climatología (según el programa vigente de la carrera de Biología, UNAM, y de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del I.P.N.)*.
10. García, E. y Falcón, Z. (1972) *Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana*, ed. Porrúa, S.A., México, D.F.
11. García, E. (1973) *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
12. Jáuregui Ostos, E. (1967) "Las Ondas del Este y los Ciclones Tropicales en México", *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XXI, Num. 3, México, D.F.
13. Jáuregui Ostos, E. (1969) "Algunos Conceptos Modernos Sobre la Circulación General de la Atmósfera", *Boletín del Instituto de Geografía*, Vol. II, pg. 209-236, UNAM, México.

14. Jáuregui Ostos, E. (1975) "Los Sistemas de Tiempo en el Golfo de México y su Vecindad", Boletín del Instituto de Geografía, Vol. VI, pg. 7-36, UNAM, México.
15. Jáuregui Ostos, E. y Soto Mora, C. (1975) "La Vertiente del Golfo de México. Algunos aspectos fisiográficos y climáticos", Boletín del Instituto de Geografía, Vol. VI, pg. 37-45, UNAM, México.
16. Luna Bauza, C., Huracanes en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico, Centro de Previsión del Golfo de México, Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Secretaría de la Presidencia.
17. Ostle, B. (1970) Estadística Aplicada, Editorial Limusa-Wiley, S.A., México.
18. Peucker, T.K. (1972) Computer Cartography, Commission on College Geography, Resource Paper No. 17, Association of American Geographers, Washington, D.C., U.S.A.
19. Saucier, W.J. (1955) Principles of Meteorological Analysis, The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.
20. Shepard, D.S. (April 1970) "Report L: SYMAP Interpolation Characteristics", Computer Mapping as an Aid in Air Pollution Studies, Volume Two: Individual Reports, Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis, Graduate School of Design, Harvard Univ., Cambridge, Massachusetts, U.S.A.
21. Tamayo, J.L. (1962) Geografía General de México, Tomo I: Geografía Física, Instituto Mexicano de Investigaciones Económicas, México.
22. Wentworth, J. y Smith, D.E. (1915) Geometría Plana y del Espacio, Ginn y Co., E.U.A.
23. Zona de las Costas de Guerrero y Oaxaca, Regiones Hidrológicas Nums. 19, 20, 21 y 22, Tomo I, Boletín Hidrológico No. 31, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de Irrigación y Control de Ríos, Dirección de Hidrología, México, D.F., 1970.

MAPAS DE REFERENCIA

1. CETENAL e Instituto de Geografía, Carta de Climas  
Esc 1:500 000, enero 1970.

Colima	13Q-VI	Zacatula	13Q-VIII
México	14Q-V		
Veracruz	14Q-VI		
Acapulco	14Q-VII		
San Pedro Pochutla	14P-(II)	Oaxaca	14Q-VIII

2. Comisión Intersectorial Coordinadora del Levantamiento  
de la Carta Geográfica de la República Mexicana,  
Esc 1:500 000.

México	14Q-V
Acapulco	14Q-VII
Oaxaca	14Q-VIII

3. Secretaría de Recursos Hidráulicos, Subsecretaría de  
Planeación - Dirección General de Estudios, Dirección  
de Hidrología - Dept. de Estudios Hidrológicos,  
Esc 1:500 000.

Regiones Hidrológicas Nos. 17, 18 y 19  
(estaciones climatológicas)