

## ASPECTOS DE LA CLIMATOLOGÍA DEL ESTADO DE MÉXICO

Por *Ernesto Jáuregui Ostos\** y  
*Juan Vidal Bello\*\**

### RESUMEN

Se hace una descripción de los principales parámetros meteorológicos observados en el Estado de México, con particular atención a aquellos factores que se relacionan con la agricultura. Después de examinar los sistemas de tiempo que afectan al área en estudio se abordan los diversos aspectos de precipitación, temperatura, insolación, humedad relativa, evaporación, así como la frecuencia de heladas, tormentas eléctricas y granizo.

### SUMMARY

The weather systems affecting the State of Mexico are discussed. The main climatological variables are examined for this State located in central Mexico especially those affecting crops grown in this part of Mexico, such as precipitation variability, temperature, frequency of hail, thunder storms, freezing temperatures etc.

### 1. INTRODUCCIÓN

Es bien conocida la influencia que tienen las condiciones meteorológicas de un lugar, sobre las plantas. Los principales factores climáticos que afectan la vida de las plantas son la temperatura y la humedad ambiente. En el presente trabajo se intenta hacer una descripción de éstos y otros parámetros que caracterizan el clima del Estado de México, con vistas a que esta información pueda ser de utilidad en la planificación agrícola de la entidad.

\* Investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

\*\* Ayudante de investigador del Instituto de Geografía de la UNAM.

### 2. FISIOGRAFÍA Y TIERRAS AGRÍCOLAS

El Estado de México se localiza en el centro del país y envuelve, excepto por el sur, al Distrito Federal. Su ubicación en la vecindad de la faja neovolcánica determina la presencia en toda su extensión, de parajes altos y montañosos, generalmente arriba de los 2 000 m (Fig. 1). La porción norte y centro es parte de la altiplanicie meridional, mientras que la parte oriental se extiende en la cuenca de México; la porción suroeste, que es la más baja (de 500 a 2 000 m), queda comprendida dentro de la cuenca del río Balsas; aquí el terreno desciende bruscamente hasta llegar al río.

En el borde oriental de la entidad se localiza la Sierra Nevada, con elevaciones (el Popocatepetl) de más de 5 000 m. Al sur se encuentran la Sierra de Zacoalpan, la Sierra del Ajusco, etc.

Hidrográficamente, el Estado está dividido en las cuencas de los ríos: Lerma, Balsas y Moctezuma-Pánuco.

El área agrícola del Estado representa el 36% del área total, y la población dedicada a esta actividad es el 45% de la económicamente activa (IEPES, 1976). Es uno de los principales productores agrícolas del país.

Las áreas principales dedicadas a la agricultura están en los valles de Toluca-Lerma y Bravo, en la cuenca de México, en Tenancingo y en Acambay; en menor grado en Temascaltepec y Sultepec. Se dedica a la agricultura un total de 791 302 Ha de las cuales 12 145 Ha son de riego (menos del 2%) y el resto de temporal.

El maíz, base de la agricultura del Estado, ocupa el 81% de la tierra cultivada, gracias a su adaptabilidad climática; el segundo lugar lo ocupa el trigo que se siembra en los valles altos; otros cultivos de tierras templadas son la alfalfa, el haba, la papa y frutales. La producción agrícola es, pues, variada debido a la diversidad de tipos climáticos que imprime la accidentada topografía de la entidad.

Dentro de las variaciones temporales de la temperatura y la humedad se encuentran los valores críticos para las plantas, relativas a la duración de los fenómenos, su intensidad y límites; estos valores climáticos son decisivos en el crecimiento de los cultivos.

El relieve montañoso y los altos valles de la porción centro y norte de la entidad imprimen características peculiares al clima, tales como las heladas y las tormentas de granizo que producen en ocasiones pérdidas considerables en las cosechas, como se verá más adelante. En cambio, en la porción de tierras más bajas del suroeste, donde se localiza la región agrícola de Sultepec, los rasgos del clima son favorables para los cultivos tropicales y subtropicales, por la ausencia de heladas.

### 3. LA RED METEOROLÓGICA ESTATAL

Las primeras observaciones meteorológicas

datan de 1877, año en que se inauguró el observatorio meteorológico central del Estado, en Toluca. Ya para finales del siglo funcionaban 14 estaciones meteorológicas en la entidad (Fig. 2). Infortunadamente, desde entonces hasta el comienzo de la década de los años veinte hubo numerosas interrupciones en las observaciones, originadas por el movimiento armado de 1910-20.

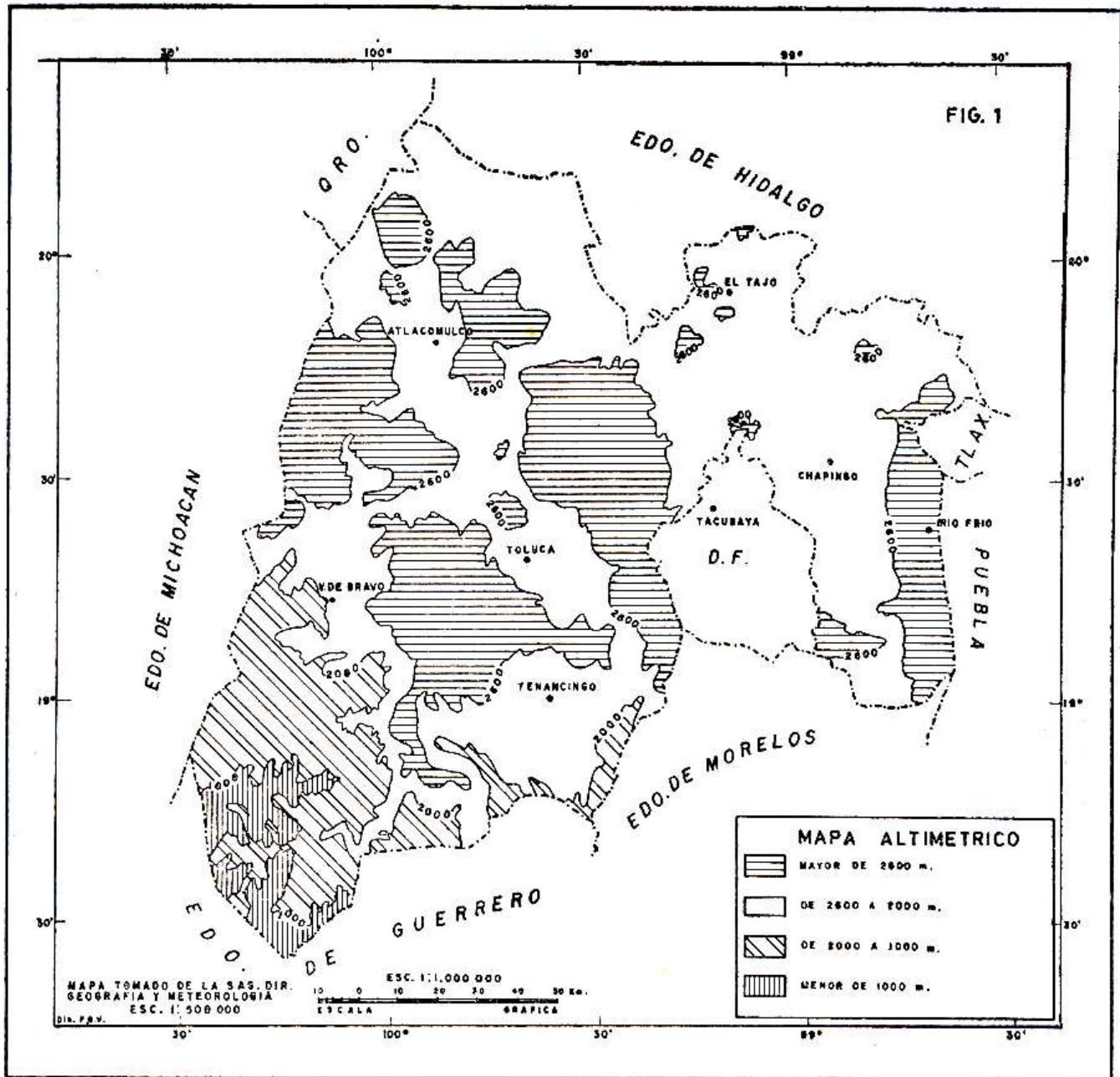
En la actualidad la red estatal cuenta con unas 148 estaciones termopluiométricas (66% de la S. R. H., 26% del S. M. N. y 18% de la C. F. E.) y 2 observatorios (Toluca y Chapingo) (Fig. 3).

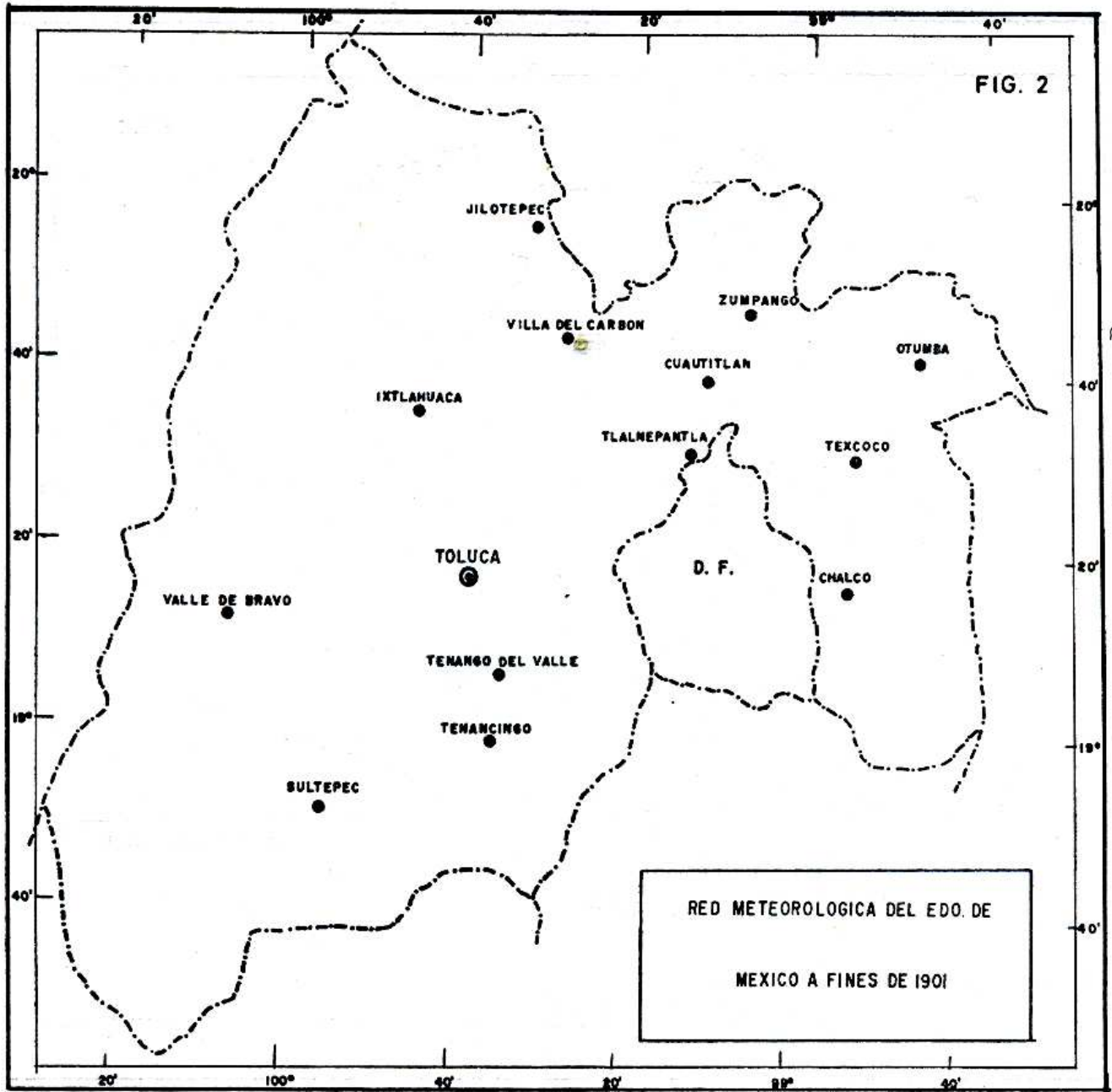
### 4. LOS DATOS

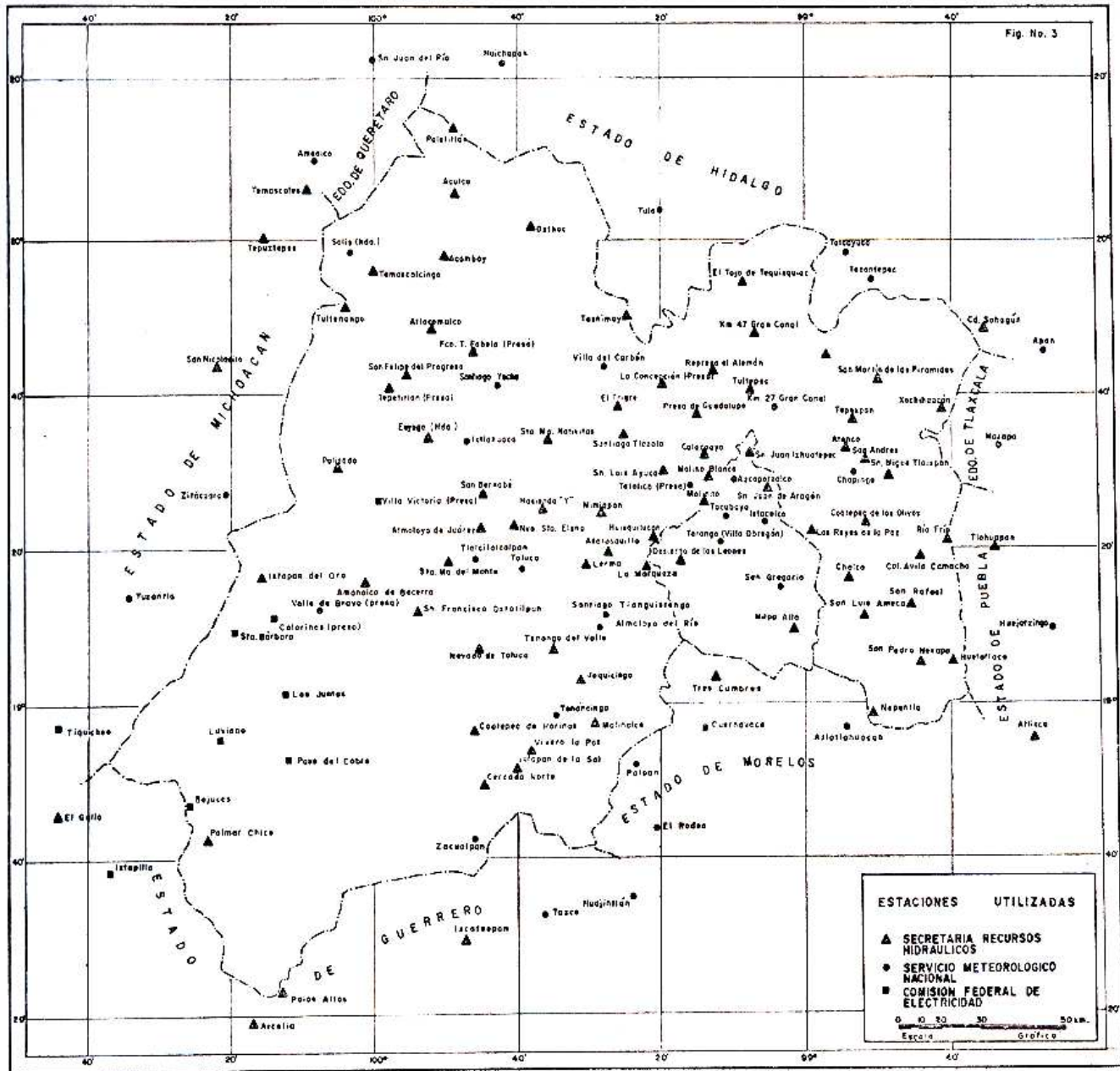
La información meteorológica utilizada en el presente estudio fue recopilada, en parte, en los archivos del Servicio Meteorológico Nacional. También se recurrió a los boletines 1 y 4 del Plan Lerma Asistencia Técnica (1965, 1968) publicados por la Secretaría de Recursos Hidráulicos. Se seleccionaron, además de los observatorios de Toluca y Chapingo, 87 estaciones termopluiométricas y otras 37 ubicadas en la periferia de la entidad. Los periodos de registro son variables, en general abarcan de 1941-73.

### 5. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Es muy variado el mosaico de climas en el Estado de México; desde el frío permanente en las altas montañas de la Sierra Nevada, el Nevado de Toluca, etc., hasta las cálidas tierras en Tlatlaya, en el suroeste de la entidad; pero, en general, el clima dominante que cubre mayor extensión es el templado (a veces húmedo o subhúmedo, a veces seco o semisecho) correspondiente a las llanuras y planicies que se encuentran a unos 2 000-2 700 m s n m. En la figura 4 aparece la distribución de los climas en la entidad, según la clasificación de Koeppen. Como señalamos, el clima prevaleciente es el templado subhúmedo, Cwb, con temperatura media del mes más cálido inferior a 22°. La precipitación en las áreas con este clima varía en el Estado, desde algo más de 600 mm en el este y norte del valle de







México, hasta cerca de 1 200 mm en la Serranía de Las Cruces y del Ajusco y en el suroeste del Estado. En esta última región el clima templado pasa por una transición (Cwa) al aumentar por arriba de 22° la temperatura del mes más cálido, a medida que el terreno desciende y el clima se convierte en cálido y húmedo (Awi) por un aumento, también, en la precipitación que en este rincón suroeste de la entidad es mayor de 1 200 mm.

Hacia el rincón noreste del valle de México el clima Cwb vuelve a pasar por una transición transformándose en semiseco, BSkw, debido a la disminución, ahí, de la precipitación por debajo de los 600 mm anuales. Finalmente, en las cimas más altas (arriba de unos 4 500 m) y ocupando áreas nevadas relativamente pequeñas, se presenta el clima frío cuya temperatura media de todos los meses es inferior a 10°C.

## 6. LOS SISTEMAS DE TIEMPO

Por su latitud (entre 18° y 20°N), el clima del Estado tendría que ser tropical (como ocurre en las tierras bajas del suroeste de la entidad), pero la gran altitud de valles y montañas en la mayor parte del Estado determina que prevalezca el clima templado.

a) *Época de secas.* En las tierras altas, durante el semestre invernal penetra la corriente de los vientos del oeste que en esa época fluye por encima de los alisios que tienen, entonces, una profundidad reducida a las latitudes en que se localiza el Estado. En estos meses la corriente de vientos fríos del oeste invade gran parte del país, y las perturbaciones que en ella viajan producen ligeras lluvias invernales y durante la primavera. El frente frío que en la planicie costera del Golfo de México viene acompañado por vientos violentos del norte y lluvia o llovizna pertinaz, en los niveles a que se encuentra el Estado de México se manifiesta como el paso de una vaguada en la altura, con descenso de temperatura, un aumento de nubosidad y, en ocasiones, algunas lluvias ligeras, y si el descenso térmico es considerable, pueden presentarse algunas nevadas en las cimas de las serranías más altas (como en la Sierra de Las Cruces, en la del Ajusco, el Nevado de Toluca, y Sierra Nevada). Estas nevadas en

realidad son poco frecuentes (una vez cada 10 años aproximadamente) y la escasa precipitación se funde en un par de días. En otras ocasiones, el paso por la entidad, de estas vaguadas en la altura, sólo se manifiesta por un descenso de temperatura y vientos violentos que después de un día o dos subsiden dejando brillantes cielos despejados. En estas condiciones de aire en calma el enfriamiento nocturno hacia cielos despejados puede hacer descender la temperatura por debajo de los cero grados tanto en el fondo de los altos valles como en las cimas de las montañas; esto lo veremos al examinar el mapa de heladas.

b) *Época de lluvias.* A partir del mes de abril la corriente de vientos del oeste comienza a emigrar hacia latitudes más boreales, al mismo tiempo que la corriente tropical de los alisios húmedos avanza en su penetración del territorio nacional alcanzando cada vez mayor profundidad, de modo que ya para finales de mayo esta corriente prevalece sobre México formalizándose la estación de lluvias que continúa hasta mediados de octubre.

Los sistemas productores de lluvia en esta época en el Estado de México son, por una parte, las perturbaciones que viajan en la corriente húmeda de los alisios, tales como las ondas del este que en su etapa de disipación atraviesan el Estado. La proximidad de la Zona Intertropical de Convergencia, frente a las costas de Guerrero y Michoacán, induce también inestabilidad convectiva que ocasiona chubascos. También se presentan lluvias generalizadas en el Estado cuando un ciclón tropical viaja muy cerca de las costas del Pacífico y finalmente penetra a tierra. Asimismo, las precipitaciones en la entidad pueden tener su origen, por el lado del Golfo de México, si un ciclón ha tocado tierra en las costas de Tamaulipas o norte de Veracruz. Así, los ciclones Beulah e Hilda, que en 1967 y 1955, respectivamente, afectaron Tamaulipas, produjeron lluvias extraordinarias en la entidad, según se aprecia en la tabla No. 1.

Finalmente, en gran medida, las precipitaciones en esta área pueden ser de origen orográfico-convectivo cuando la capa atmosférica es condicionalmente inestable; es decir, que un ascenso del aire, producido ya sea por levantamiento orográfico o por calentamiento convectivo (o ambos), origina un movimiento ver-

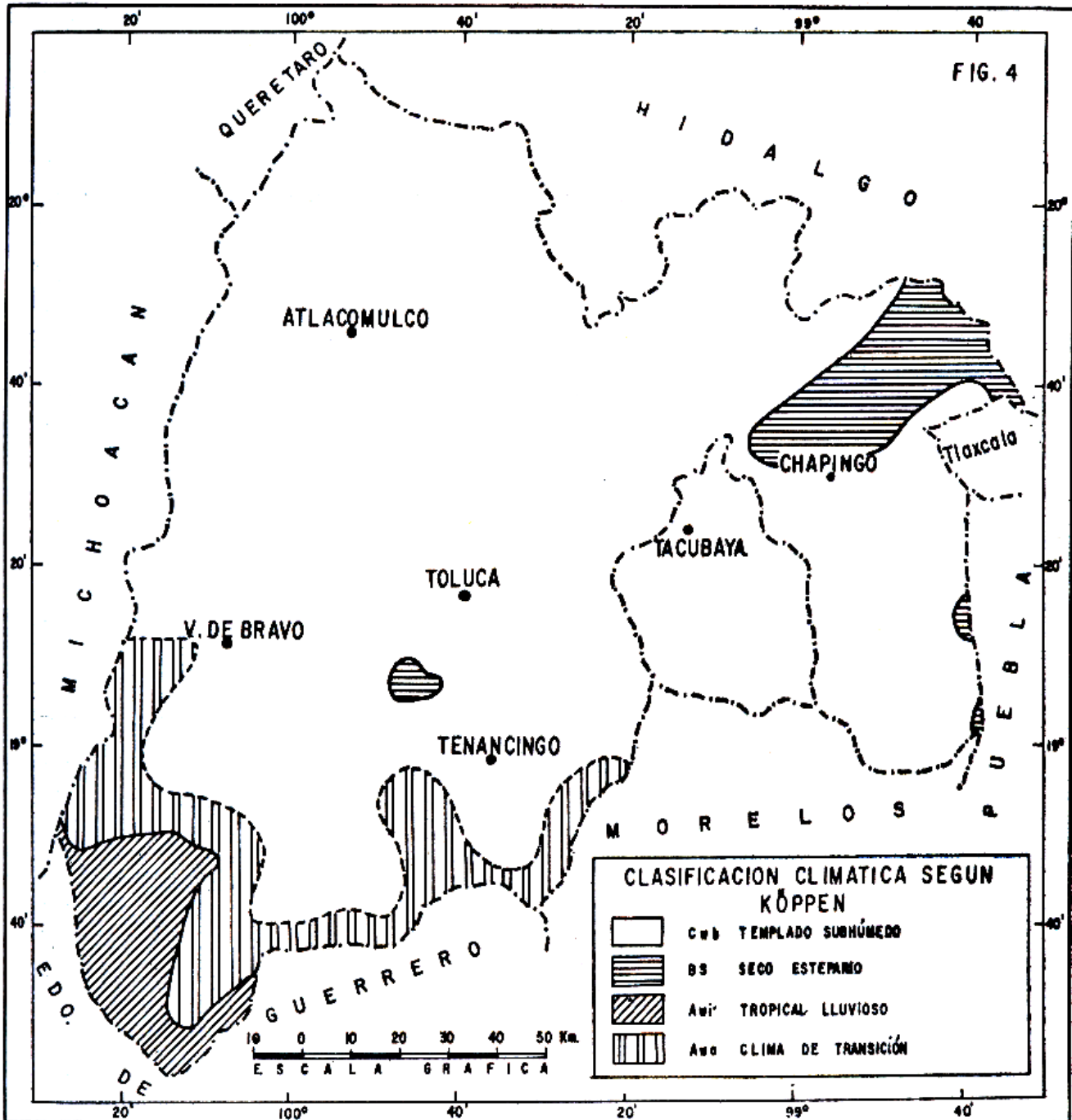


TABLA No. 1

*Tanto por ciento respecto a la normal de la precipitación de septiembre de 1955 (Ciclón Hilda) y de septiembre 1967 (Ciclón Beulah) en diversas estaciones del Estado de México.*

<i>Estaciones</i>	<i>Precip. normal de Sept.</i>	<i>Precip. Sept. de 1955</i>	<i>% de la normal</i>	<i>Precip. Sept. de 1967</i>	<i>% de la normal</i>
ALMOLOYA DEL RIO	141.4	218.0	154	229.8	163
ATLACOMULCO	130.3	177.2	136	136.0	104
BEJUCOS	223.9	353.2	158	241.1	108
COLORINES, PRESA	188.9	345.8	183	297.8	158
CONCEPCION, PRESA	116.4	152.0	131	200.5	172
EMBAJOMUY, PRESA	141.4	152.9	108	129.2	91
ENYEGE	125.6	145.5	116	173.1	138
EL TAJO	99.8	140.0	140	118.5	119
GUADALUPE, PRESA	121.8	221.4	182	217.1	178
HACIENDA DE LA "Y"	131.7	167.4	127	161.3	122
IXTLAHUACA	128.5	143.3	112	149.9	117
LERMA	134.5	214.1	159	205.0	152
MALINALCO	233.3	—	—	388.3	166
MOLINO BLANCO	125.4	193.3	154	276.2	220
NEPANTLA	196.7	611.0	311	393.0	200
RIO FRIO	204.9	244.0	199	—	—
SAN FELIPE DEL P.	127.4	202.5	160	243.4	191
SAN JUAN IXHUATEPEC	99.9	157.3	157	180.4	181
SAN RAFAEL	180.5	—	—	228.4	126
SULTEPEC	291.0	556.0	191	376.9	130
TEJUPILCO	347.5	386.0	111	392.0	112
TENANCINGO	248.8	404.7	163	374.4	150
TEPEXPAN	97.1	175.3	181	189.5	195
TEXCOCO	106.7	143.0	134	134.8	126
TOLUCA	126.9	154.4	122	168.0	132
VALLE DE BRAVO	209.5	242.7	116	263.5	126
VILLA DEL CARBON	212.4	504.0	237	338.0	159
VILLA VICTORIA	131.4	185.0	141	166.2	127
ZACUALPAN	237.4	298.5	126	317.0	134



tical que es capaz de automantenerse por liberación de calor latente, como resultado de la condensación del aire húmedo de la corriente alisia; este es un proceso que ocurre con frecuencia en la entidad (y en todo el país) durante la estación lluviosa.

## 7. LA PRECIPITACIÓN

Las nubes más comunes en el área en estudio, durante la estación húmeda, son las de desarrollo vertical denominadas cúmulos, cúmulos potentes y cúmulonimbos; estas últimas son las que se precipitan en forma de aguaceros que en ocasiones producen granizadas por alcanzar niveles que se encuentran por arriba de la temperatura de congelación (que en el verano está, ahí, a unos 5 km s n m). Los cúmulonimbos son también las nubes que desencadenan las descargas eléctricas que con tanta frecuencia se observan en las cimas de las montañas o tierras altas del Estado.

En la figura 5 aparece la distribución de la precipitación media anual en el Estado de México. Las áreas más lluviosas son las altas sierras (Nevada y de Las Cruces); orientadas transversalmente a la corriente del alisio del este interceptan la humedad al forzar al flujo atmosférico a ascender y luego precipitarse; en estos parajes la lluvia es superior a los 1 000 mm.

Otra área de lluvia abundante es la del rincón suroeste del Estado. Aquí, la fuente de humedad proviene en parte del Pacífico, y el flujo del sur o sureste es obligado a ascender por la abrupta pendiente que tiene aquí la cuenca del río Balsas. Las lluvias en esta región se intensifican por el efecto de la circulación local en el valle del Balsas, que fomenta el ascenso (y formación de nubes de lluvia) cuesta arriba de la cuenca, en dirección de los límites con Guerrero, hacia Valle de Bravo y Tenancingo. Las abundantes lluvias en las tierras bajas de la entidad son, pues, principalmente de origen orográfico.

Las áreas de menor lluvia se localizan en una faja que va del centro del valle de México en dirección noreste, hasta los límites con el Estado de Hidalgo. Ahí la lluvia es menor de 600 mm, lo que determina el carácter semiárido del clima de esa región. La precipitación

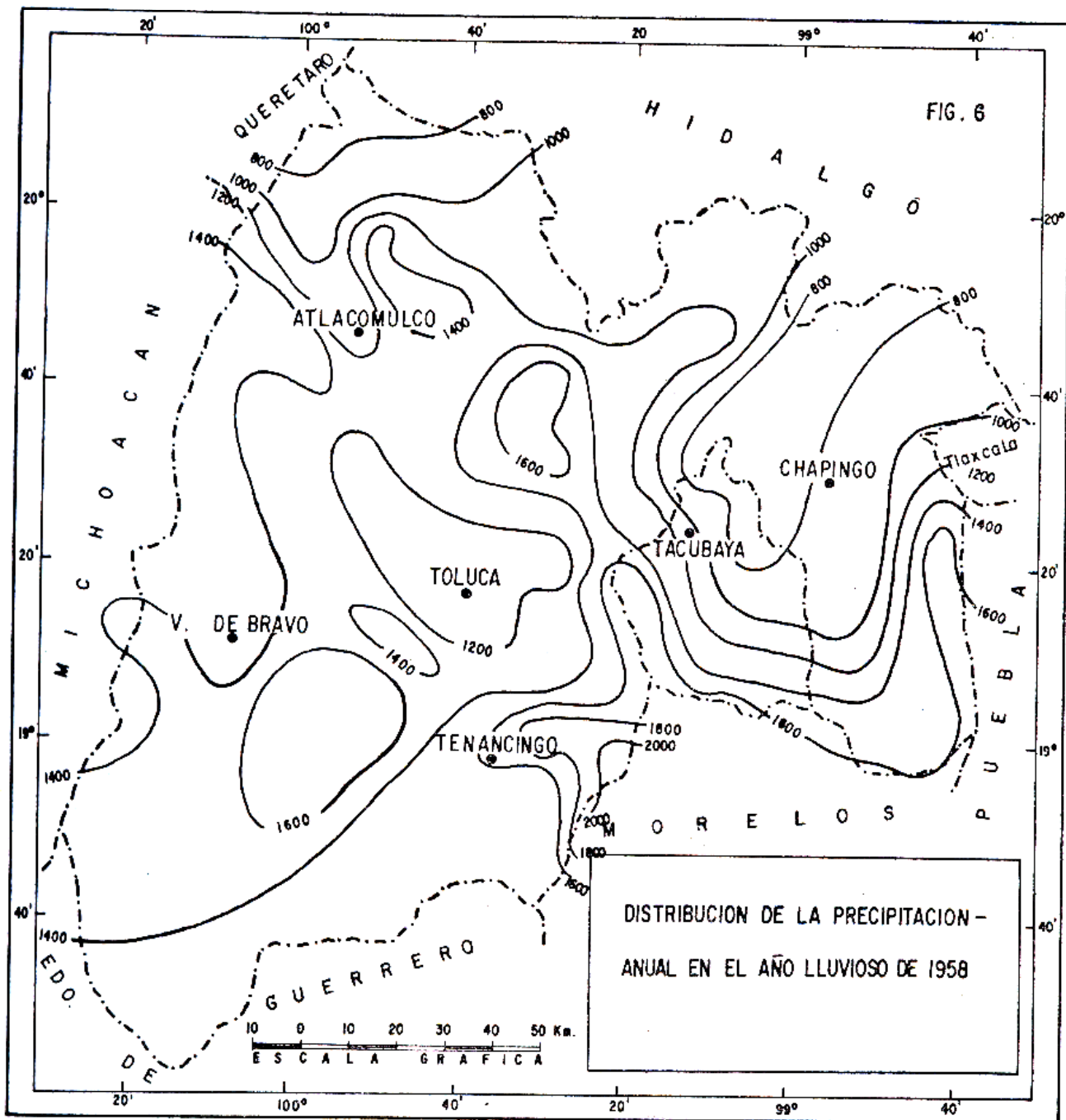
decrece también un poco (a 800 mm) hacia la región central del valle de Toluca; aquí, como en el fondo del valle de México, los movimientos descendentes del aire, debidos a la circulación local, inhiben en parte el desarrollo de las nubes de lluvia (los vientos del valle que durante el día soplan cuesta arriba de las laderas que rodean al valle, generan una subsidencia en el área central).

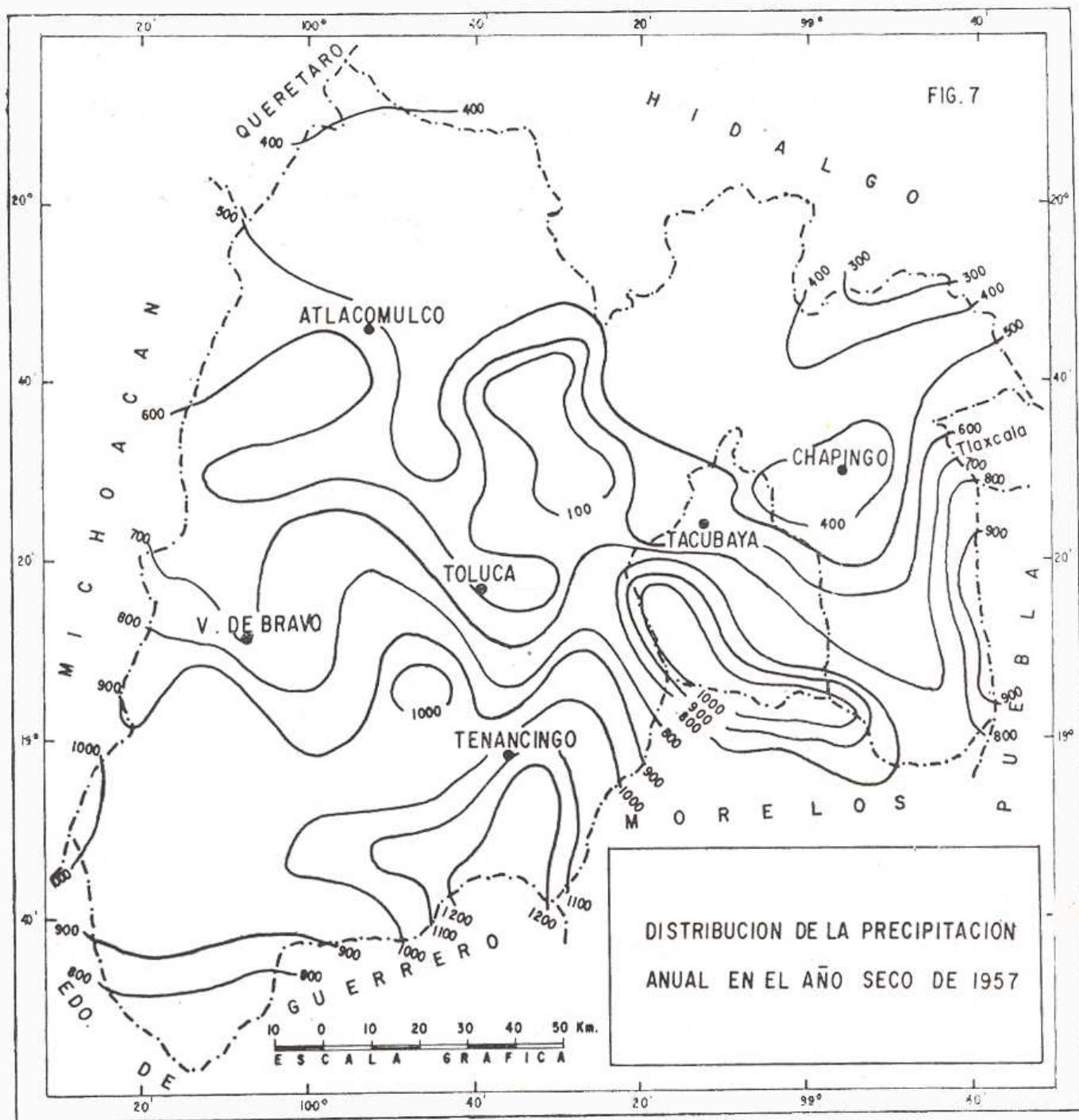
En general, al examinar el mapa de precipitación se ve que, exceptuando el extremo noreste y el borde norte, la entidad recibe cantidades de lluvia superiores a los 700 mm anuales. Si se trata de un año lluvioso, como 1958, que se caracterizó por baja incidencia de ciclones en las cercanías de nuestras costas, perturbaciones menores y la cercanía de la Zona Intertropical de Convergencia (frente a Guerrero) determinaron la abundancia de lluvias en la entidad.

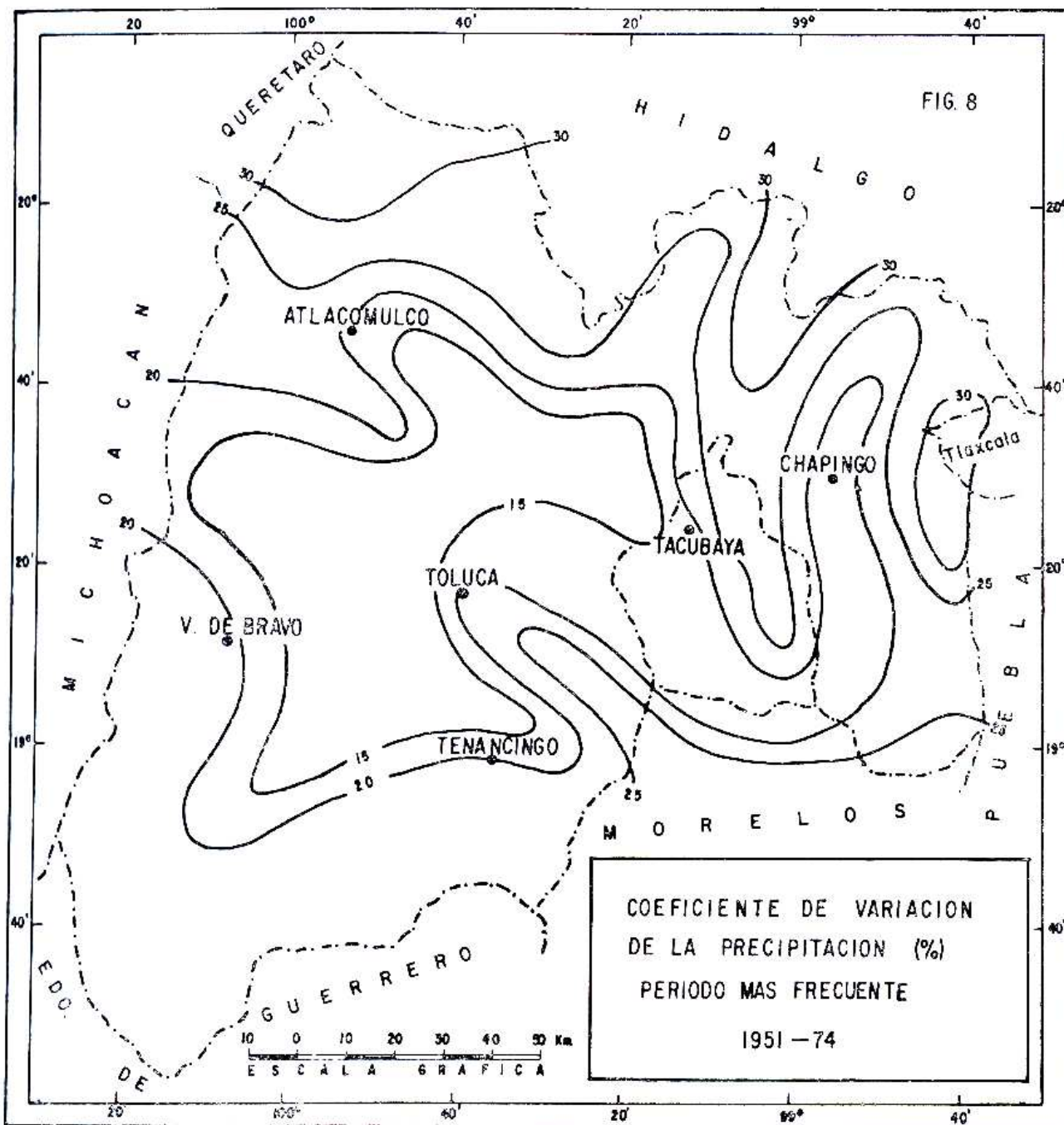
El año de 1957 fue particularmente escaso en lluvias en casi todo el país, sobre todo en el norte y noreste. En el Estado de México las precipitaciones fueron también, en general, de un 20-30% bajo lo normal (Fig. 7). Las precipitaciones menores de 600 mm prevalecieron en todo el norte de la entidad, y las condiciones propias de un clima seco (BS) se observaron en gran parte de los valles de México y Toluca, mientras que la precipitación mayor de 1 000 mm sólo se observó en áreas limitadas a las altas montañas.

### a) *Variabilidad de la precipitación*

Los años 1957 (seco) y 1958 (húmedo) dan idea de lo que puede oscilar la precipitación en el Estado, de un año al siguiente. Esta variabilidad no es uniforme en toda la entidad, como puede apreciarse en la figura 8. En general, la variabilidad de la precipitación es mayor (hasta 30% del promedio) en el norte y noreste del Estado, donde la precipitación anual acusa los valores más bajos. En el resto de la entidad la lluvia varía de 15 a 20%, que son los valores más bajos que se observan en el país. Lo anterior significa que, exceptuando el borde norte y noreste, las fluctuaciones de la precipitación son pequeñas y se puede confiar en su constancia relativa para las actividades agrícolas.







### b) *Tendencia de la precipitación*

Las curvas de promedios quinquenales para 3 estaciones (Fig. 9) muestran que en el periodo 1926-45 las lluvias en el Estado fueron, en general, más abundantes que las de los años 50 a los 70, acusando una declinación que en el suroeste de la entidad (Sultepec) es muy marcada después de los años cincuenta. Curiosamente, otras estaciones en el oriente del Estado exhiben una curva de precipitaciones crecientes a partir de los años cincuenta (como es el caso de Molino Blanco y San Rafael).

El observatorio de Tacubaya, que aunque fuera del Estado se ubica en su porción oriente, muestra también una tendencia creciente de la lluvia a partir de los años cuarenta, hasta 1970, para comenzar a decrecer en el primer quinquenio de la presente década (ver Jáuregui, 1977). En su conjunto, las tendencias de la lluvia en algunas estaciones no son extensivas a todo el Estado; esto quizá es el resultado de la gran influencia que la accidentada topografía tiene sobre las lluvias.

En resumen, lo que puede manifestarse es que en el Estado de México los años treinta fueron lluviosos; los cuarenta, hasta mediados de los cincuenta resultaron secos, mientras que los sesenta volvieron a ser húmedos, acusándose en la primera mitad de los años setenta una tendencia de las precipitaciones a decrecer.

### c) *Intensidad de la lluvia*

Las lluvias más intensas se observan en las regiones más lluviosas de la entidad, es decir, las sierras Nevada, de Las Cruces y Ajusco (Fig. 10) donde la cantidad que cae en 24 h es en promedio de 50 a 60 mm; excepcionalmente se observan aquí intensidades de 100-120 mm en 24 h. Es muy probable que estas cantidades de lluvia caigan en 2 o 3 horas que es la duración normal de una tormenta.

En los valles elevados la intensidad de la precipitación decrece, sobre todo hacia la mitad norte de la entidad donde normalmente se recogen 40-50 mm en 24 h.

### d) *El granizo*

El granizo se forma en las nubes cúmulo-nimbos; las vigorosas corrientes dentro de la

nube mantienen al granizo hasta que éste llega a alcanzar tamaños considerables. Este fenómeno se presenta con más frecuencia en las áreas montañosas más prominentes de la entidad (Fig. 11), como la Sierra Nevada, Ajusco y de Las Cruces, donde la nube no necesita crecer mucho para alcanzar el nivel de cero grados. Las granizadas también ocurren en las planicies del Estado y es ahí donde pueden causar destrozos en los campos de cultivo.

### e) *Las tormentas eléctricas*

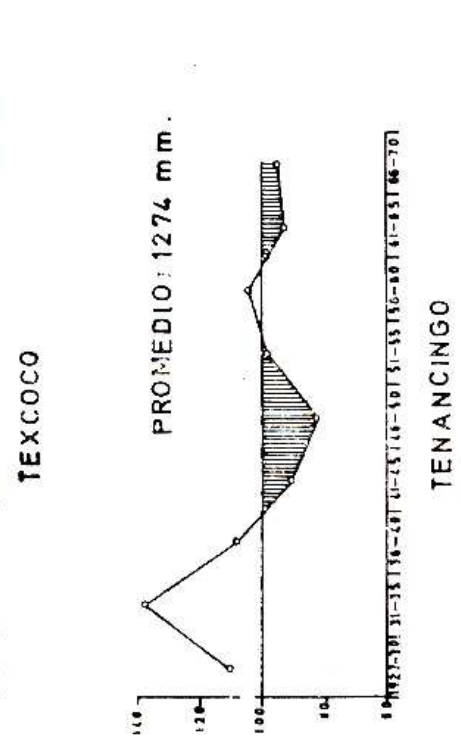
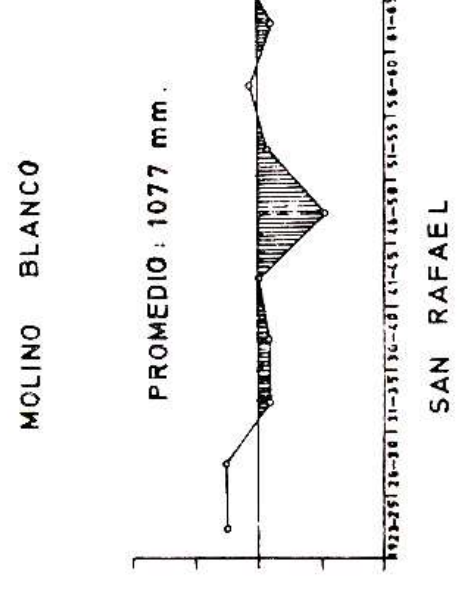
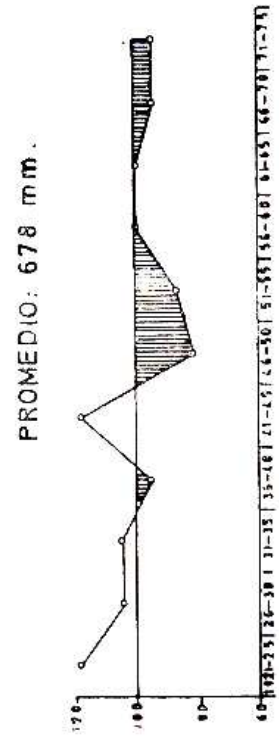
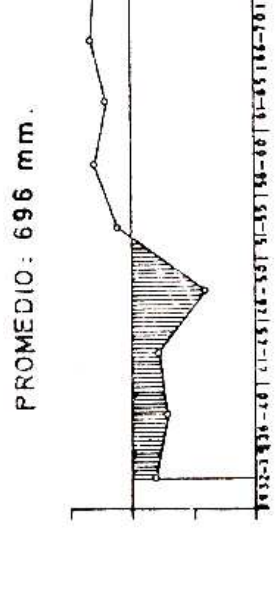
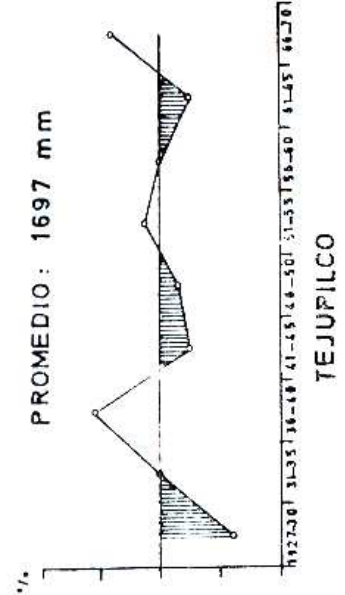
Los lugares donde la lluvia es más intensa y donde cae más frecuentemente granizo, no sólo son los más lluviosos del Estado, sino también son los más tempestuosos; como era de esperarse allí se desencadenan las más violentas tormentas eléctricas. En la figura 12 puede apreciarse que la frecuencia mayor de rayos ocurre en las sierras Nevada, del Ajusco y de Las Cruces, en donde se observa un promedio de 20 a 60 por año. En los valles la frecuencia de tormentas de rayos es menor de 20 al año.

## 8. LA TEMPERATURA

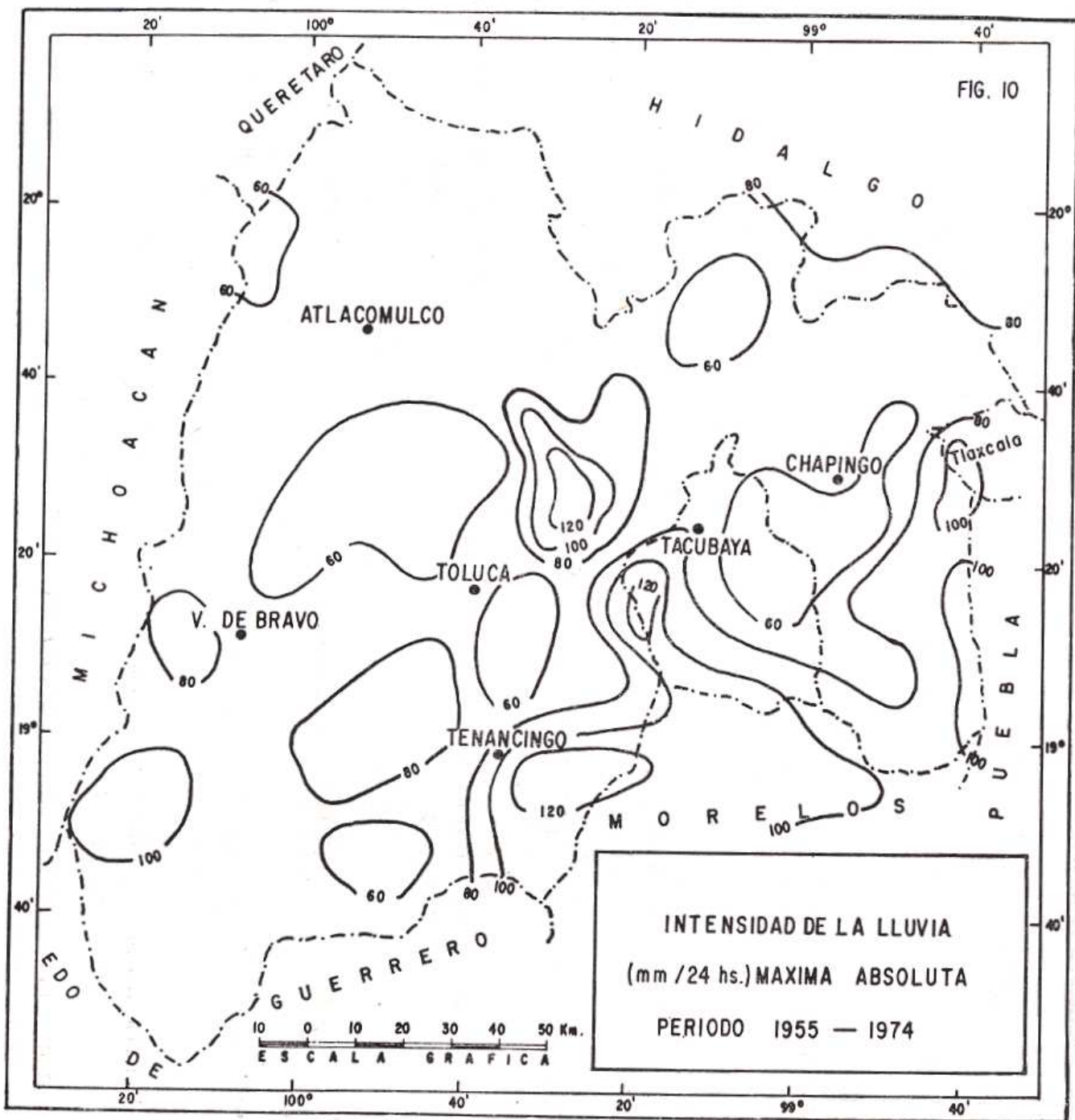
La temperatura del aire es, con la humedad, el otro factor importante para las plantas. Las necesidades térmicas de los cultivos son complejas. Por una parte existen umbrales por debajo de los cuales las plantas mueren o, bien, su desarrollo se estanca o sufre perjuicios. La sensibilidad de algunos cultivos al frío es variable; así, el umbral crítico para el maíz es de  $-3^{\circ}\text{C}$ ; en cambio el trigo soporta hasta  $-18^{\circ}$  (Durand-Dastes, 1972), temperatura que no se ha observado en las planicies donde esta planta se cultiva en el Estado. Por otra parte, cada periodo crítico de las plantas puede tener un umbral térmico propio. Si este umbral no se alcanza la planta sobrevive, pero alguna de sus fases de desarrollo resulta perjudicada.

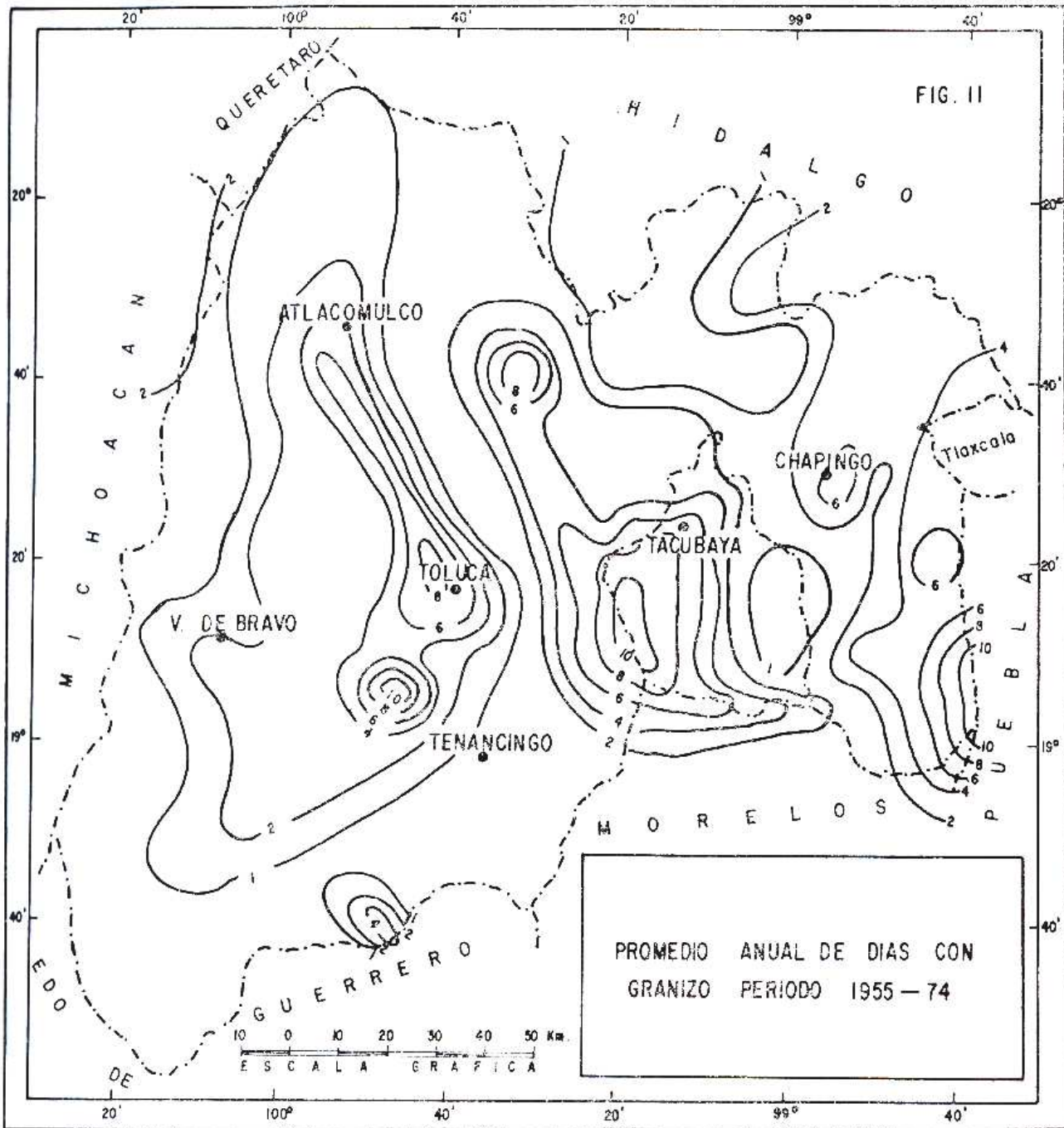
Pero no basta que ciertos valores límites sean alcanzados o no; las plantas requieren también de determinada cantidad global de calor que se mide por la suma de temperaturas (medias mensuales) arriba de un valor base (que usualmente es de  $12^{\circ}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ , que se conocen como "días calor").

FIG. 9

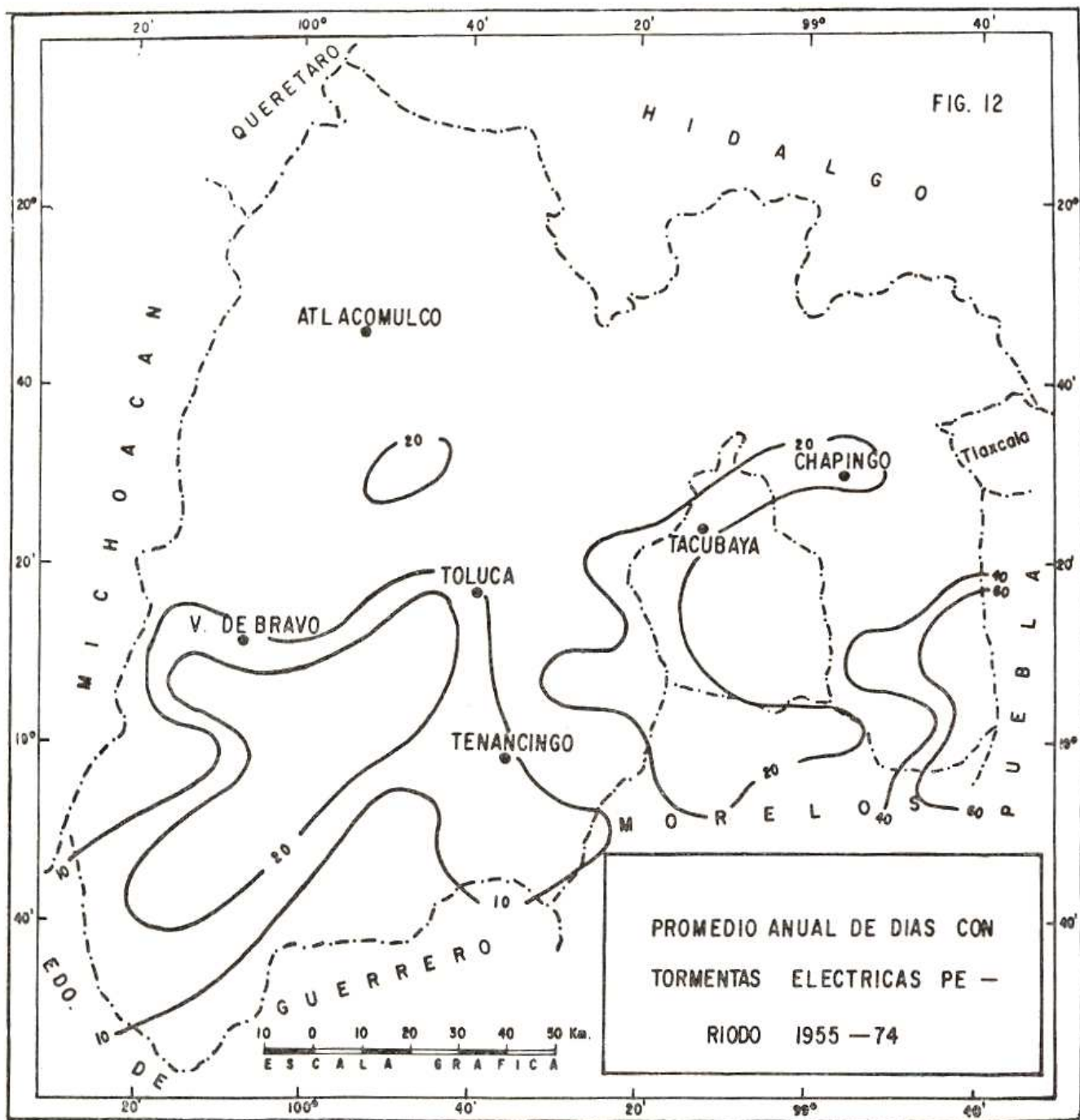


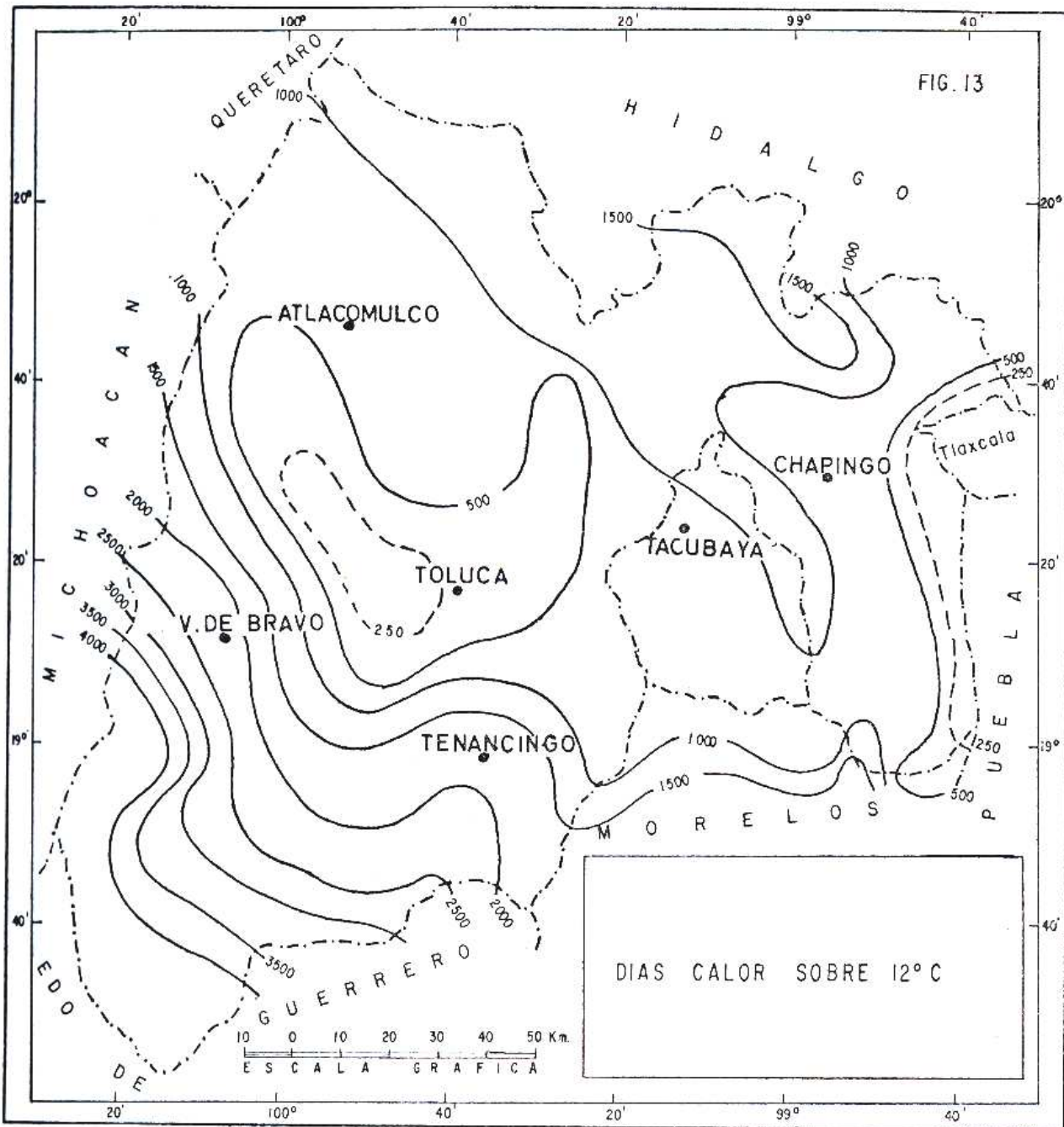
PROMEDIOS PENTADALES DE LA LLUVIA ANUAL.











Para el Estado de México se ha elaborado un mapa con el propósito de analizar la distribución espacial o geográfica de los "días calor" (D. C.), a partir de 12°C con base anual. La temperatura es el elemento climático ligado al factor altitud, por tanto, en la Fig. 13 se aprecia una relación estrecha que permite observar los valores máximos en el rincón suroeste (4 000 D. C.), en tanto que en el valle de Toluca, por ejemplo, se encuentra entre los 1 000 y 500 D. C., y las partes de mayor elevación sólo alcanzan 250, como la cima del Nevado de Toluca y la Sierra Nevada.

Se denomina "temperatura efectiva", a todas aquellas que se encuentran por arriba del cero vital; por ejemplo, a los agrios se les considera el cero vital a partir de los 12.8°C, González, C. E. (1968); por tanto, todas las temperaturas sensiblemente más altas a este rango serán consideradas efectivas; por consiguiente, es fácil concluir que cada uno de los cultivos tiene necesidades térmicas específicas.

La cantidad de calor a partir de las temperaturas medias diarias acumuladas durante un ciclo vegetativo o una fase en particular (germinación, floración, etc.), se denomina "constante térmica". Conocer la necesidad de calor de un cultivo en particular (en°C) es útil, ya que la duración desde la germinación hasta la cosecha está en relación con la ubicación del cultivo y consecuentemente con la temperatura media. La planta tendrá como respuesta un periodo corto o largo. Se estima que el maíz necesita, para efectuar su ciclo vegetativo, un promedio de 2 500°C, en tanto que el trigo requiere 3 000°C (A. L. de Fina y A. C. Ravello, 1973).

La distribución de la temperatura en el Estado de México, como ya se ha dicho, está determinada por las características del relieve; por consiguiente, las temperaturas más bajas se registran en las partes de mayor altitud y las más altas en las de altitud menor a los 1 000 metros, Fig. 14.

La parte más cálida del Estado corresponde al suroeste, registrándose entre los 24° y 26°C; a medida que aumenta la altitud la temperatura descende progresivamente hasta alcanzar un promedio de 8°C en la parte superior de las montañas. La temperatura media anual tiene un ligero descenso en la porción central

y a la altura de Lerma, donde se marca una pequeña isla, tal vez como una respuesta al área fabril de la capital de la entidad. La isoterma de 16°C abarca la parte norte del Distrito Federal y la mayor parte de la cuenca de México por el rumbo noreste del Estado.

a) *Temperatura máxima promedio del mes más cálido* (abril o mayo).

Las temperaturas altas no siempre son perjudiciales a las plantas, excepto cuando se combinan con escasa humedad del suelo y de la atmósfera o con la presencia de vientos muy cálidos y secos.

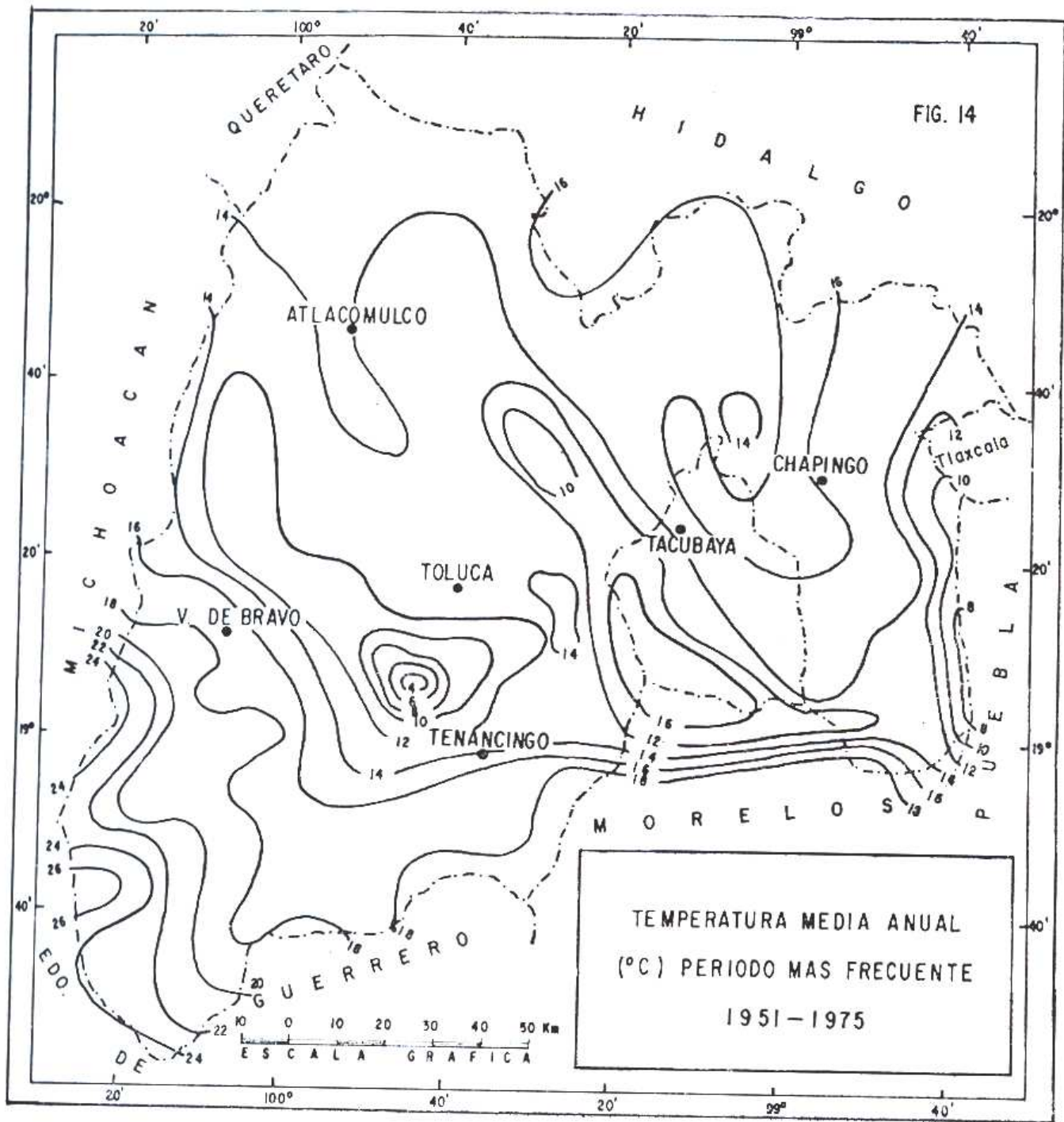
Al analizar las temperaturas máximas promedio se advierte que éstas, al igual que la media anual, aumentan o decrecen en relación directa con la época del año. La figura 15 muestra las isotermas que corresponden al mes más cálido del año, que en este caso, para el Estado, por lo general es mayo y en casos aislados abril. La temperatura más alta (40°C) la acusa el suroeste de la entidad, seguramente debido al sensible retraso que tiene la época lluviosa si se compara con el valle de Toluca, en donde esta temporada se inicia un poco antes.

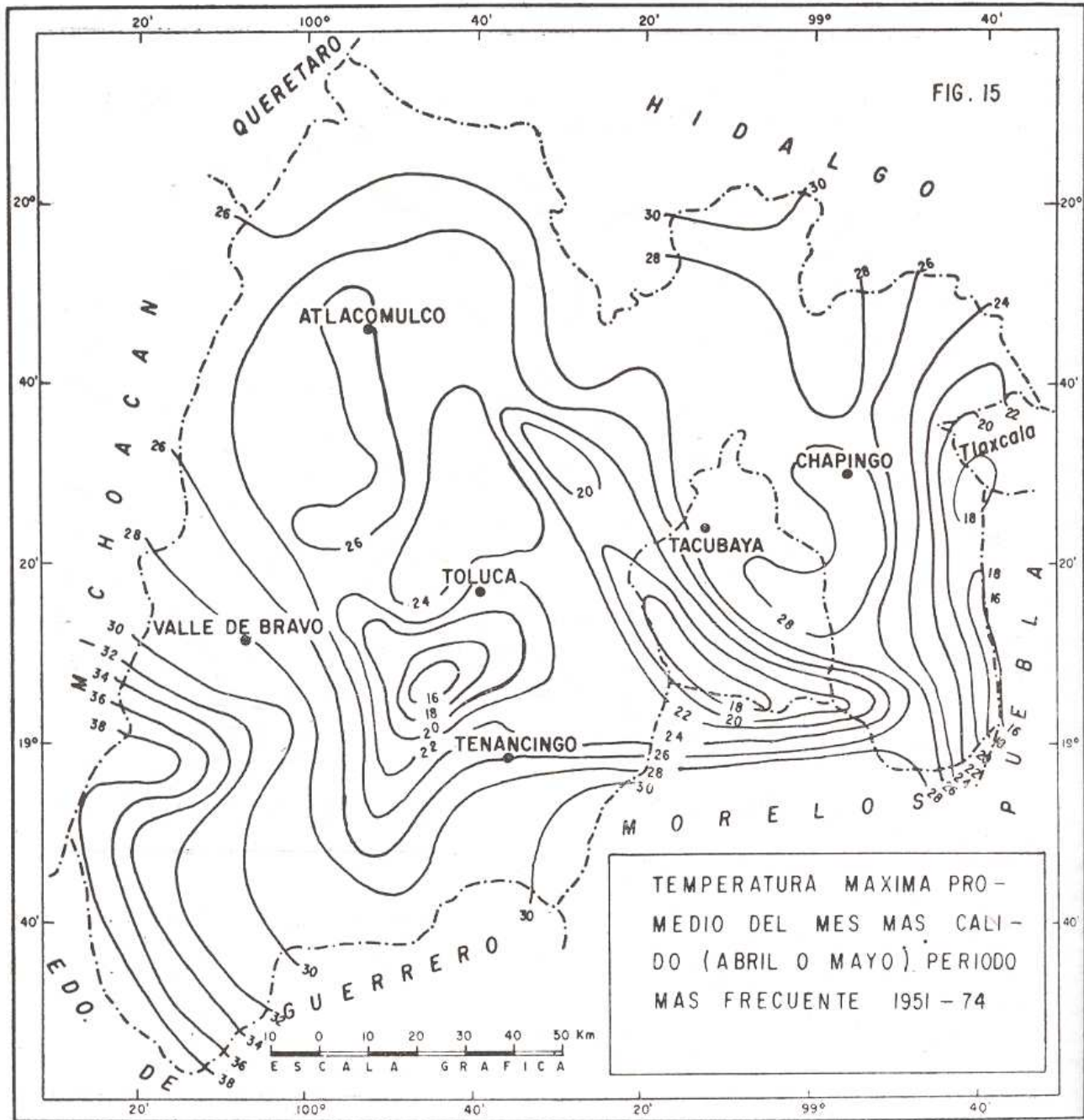
Las isotermas entre 28° y 24°C corresponden a las partes relativamente planas, esto es, valle de Toluca y cuenca de México. Las isotermas más bajas quedan localizadas en las cimas de las áreas montañosas (18° y 16°C).

b) *Temperaturas del mes más frío* (enero).

Para la entidad en estudio el mes más frío es enero, incluso para la mayor parte del país. La temperatura mínima corresponde al valor mínimo observado a través de los doce meses del año y está en relación directa con la amplitud astronómica del día (horas luz); el tiempo que dura la luz es, por tanto, un factor de enfriamiento o calentamiento del aire que, al estar en contacto con el suelo es, a su vez, caldeado por conducción.

Es difícil saber en agroclimatología cuáles temperaturas son perjudiciales, pues tanto las máximas como las mínimas, según el cultivo de que se trate, le dan condiciones óptimas para su desarrollo; tal es el caso de los frutales caducifolios que necesitan reunir cierta canti-





dad de horas frío para poder realizar su reposo vegetativo.

Para el área en estudio, las temperaturas altas son el resultado de la latitud, y las temperaturas mínimas lo son de la altitud con respecto al nivel del mar: la combinación de ambas propicia la selección de la vegetación natural. Queda claro que todo vegetal está sujeto a las barreras de luz y calor que fijan su aclimatación. La figura 16 muestra la distribución de las temperaturas mínimas promedio; tienen un comportamiento semejante al de las temperaturas máximas: las isoterms mínimas en las montañas y valles, y las mayores en la porción sur y principalmente en el rincón suroeste.

### c) Heladas

Cuando el termómetro acusa una temperatura igual o inferior a 0°C, se considera que hubo heladas.

Desde el punto de vista agrícola no es fácil definir una helada, en virtud de que algunos vegetales son afectados aun cuando la temperatura sea un poco mayor a 0°C. El Dr. Burgos (1963) señala que los daños por enfriamiento pueden ocurrir por las siguientes causas, entre otras:

1. Un exceso de transpiración de agua con respecto a la absorbida por las raíces.
2. Un exceso de la respiración sobre la fotosíntesis.

Algunas veces ocurre que, en noches despejadas y tranquilas, la temperatura llega a varios grados bajo cero; si la temperatura de punto de rocío se encuentra bajo cero no se presenta la helada blanca (escarcha) por encontrarse el aire excesivamente seco; en este caso el efecto pernicioso del frío se produce sin ningún impedimento y se presenta entonces la helada negra, la más perjudicial para los cultivos.

El estudio agroclimático de las heladas debe determinar su régimen en función de la época de ocurrencia, intensidad, duración y génesis.

Los daños en los vegetales dependen de la época en que se presente el fenómeno, de la sanidad del vegetal y del periodo vegetativo

de la planta (crecimiento, floración, fructificación, etc.).

La figura 17 contiene la distribución de días con heladas. La mayor frecuencia la acusan las áreas que se encuentran a una altitud mayor (más de 150 heladas anuales). Por fortuna, a estas altitudes ya no es posible establecer cultivos. Los lugares enclavados en el valle de Toluca (Lerma, Hacienda la "Y") tienen un promedio de 100 heladas. Esta frecuencia se debe al enfriamiento del suelo, por radiación hacia el espacio; durante la noche el descenso es tan intenso que fácilmente la temperatura llega a varios grados bajo cero en el invierno.

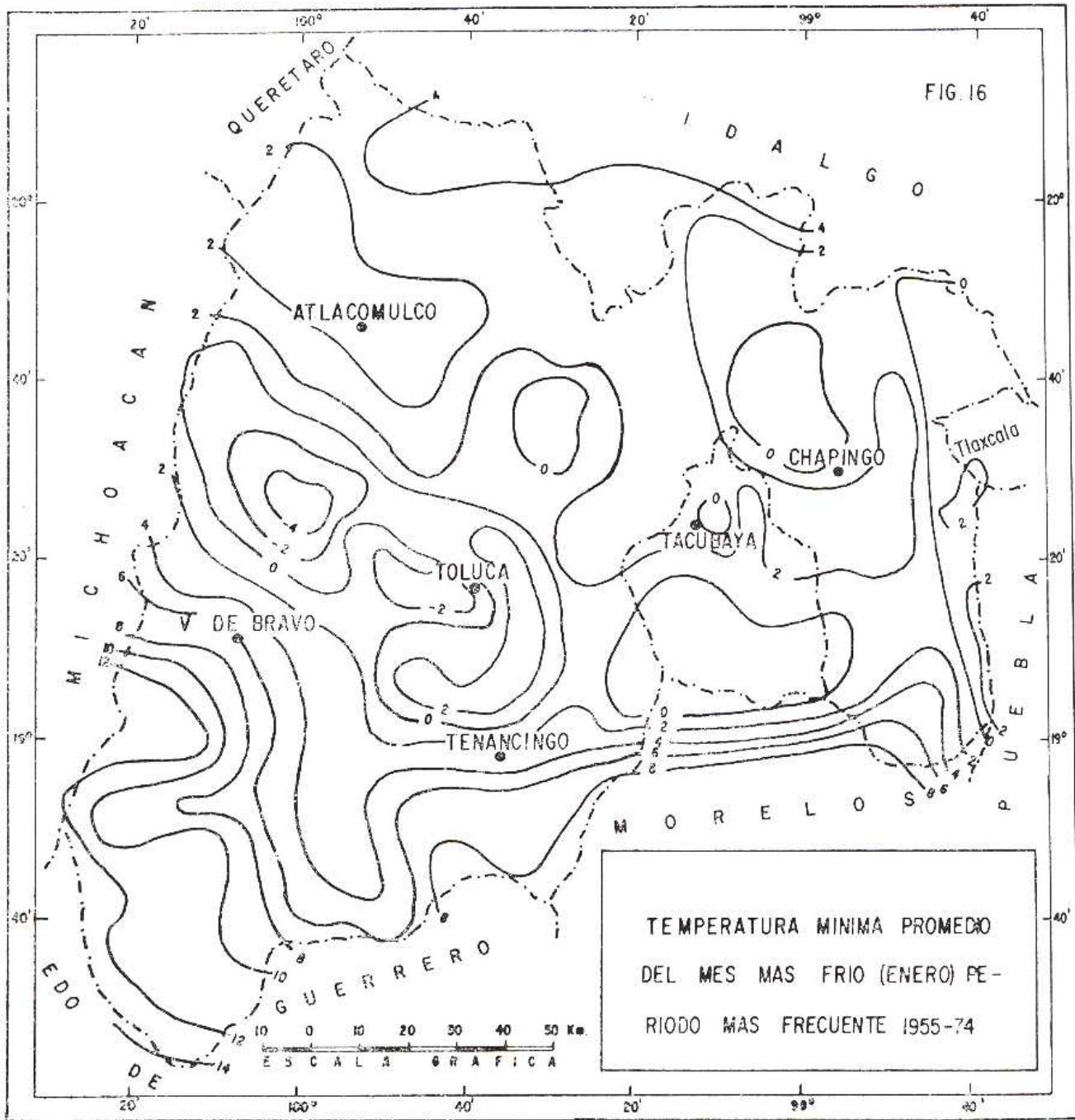
Gran porción del Estado queda libre de heladas, pues las temperaturas, en general, son elevadas, como ocurre en la región sur. La mayor parte del área en estudio tiene una frecuencia de heladas entre 40 y 80 anualmente.

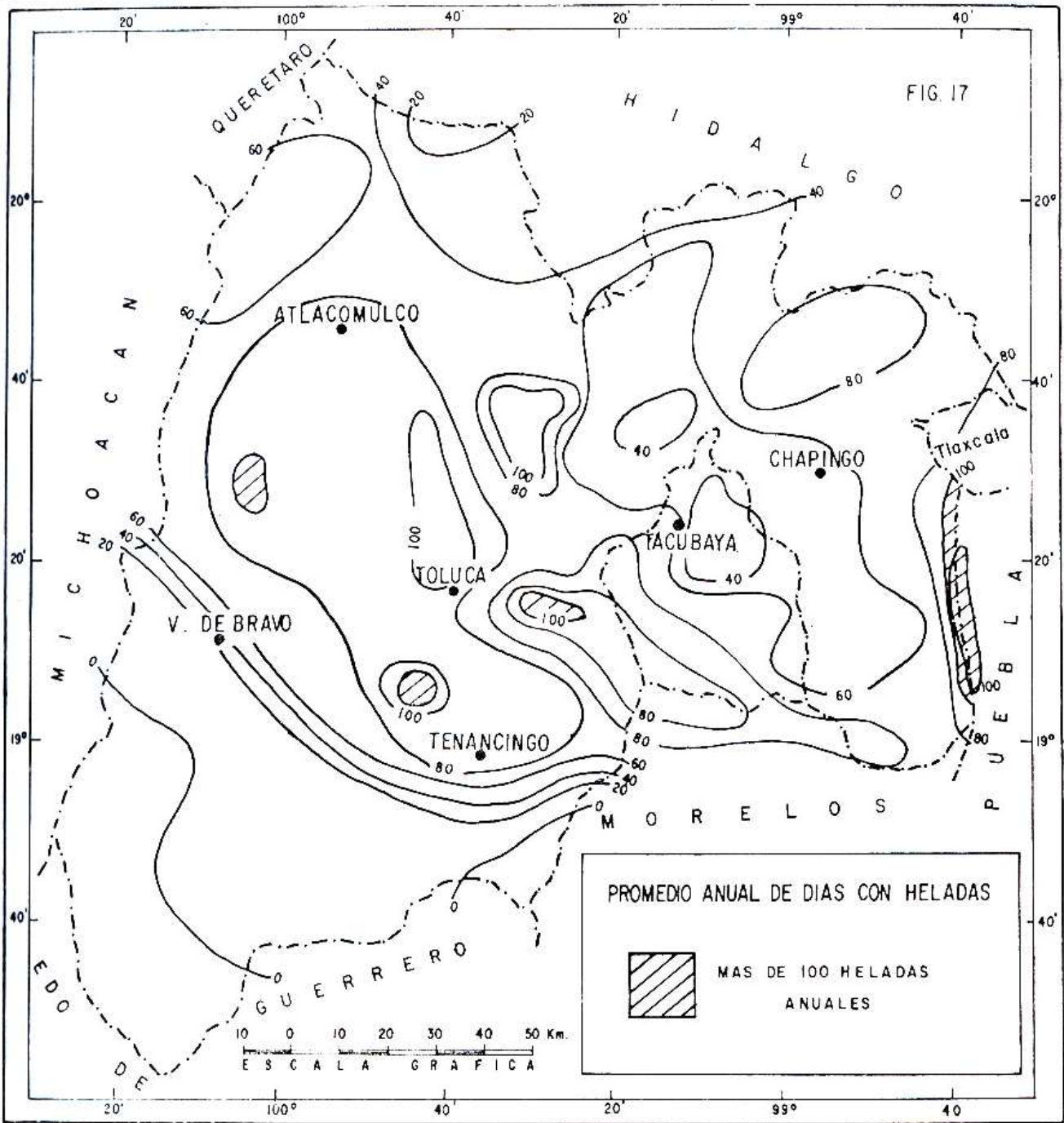
### d) Mes más frecuente de la primera helada.

El mayor daño causado por las heladas ocurre cuando éstas, en el Estado de México, se presentan antes del mes de octubre, cuando algunos órganos de los cultivos anuales son sensibles al frío; tal es el caso de las heladas ocurridas los días 7, 8 y 9 de septiembre de 1974, asociadas al huracán "Carmen" (S. M. N. 1974). La helada más intensa provocada por la presencia de la masa polar fue la del día 8, acusando -9°C en Toluca; la figura 18 muestra el área afectada por el fenómeno; no fueron afectadas las áreas de la porción sur que quedan protegidas por las sierras, ya que éstas actúan como pantalla protegiendo, así, esta zona de importantes cultivos anuales y frutales. Por la influencia de la urbanización, el área metropolitana y partes contiguas (de la ciudad de México) no fueron afectadas como el resto del Estado de México.

La resistencia al frío más intenso del invierno es una característica bien definida en cada especie perenne, misma que determina el "límite crítico" de su vida.

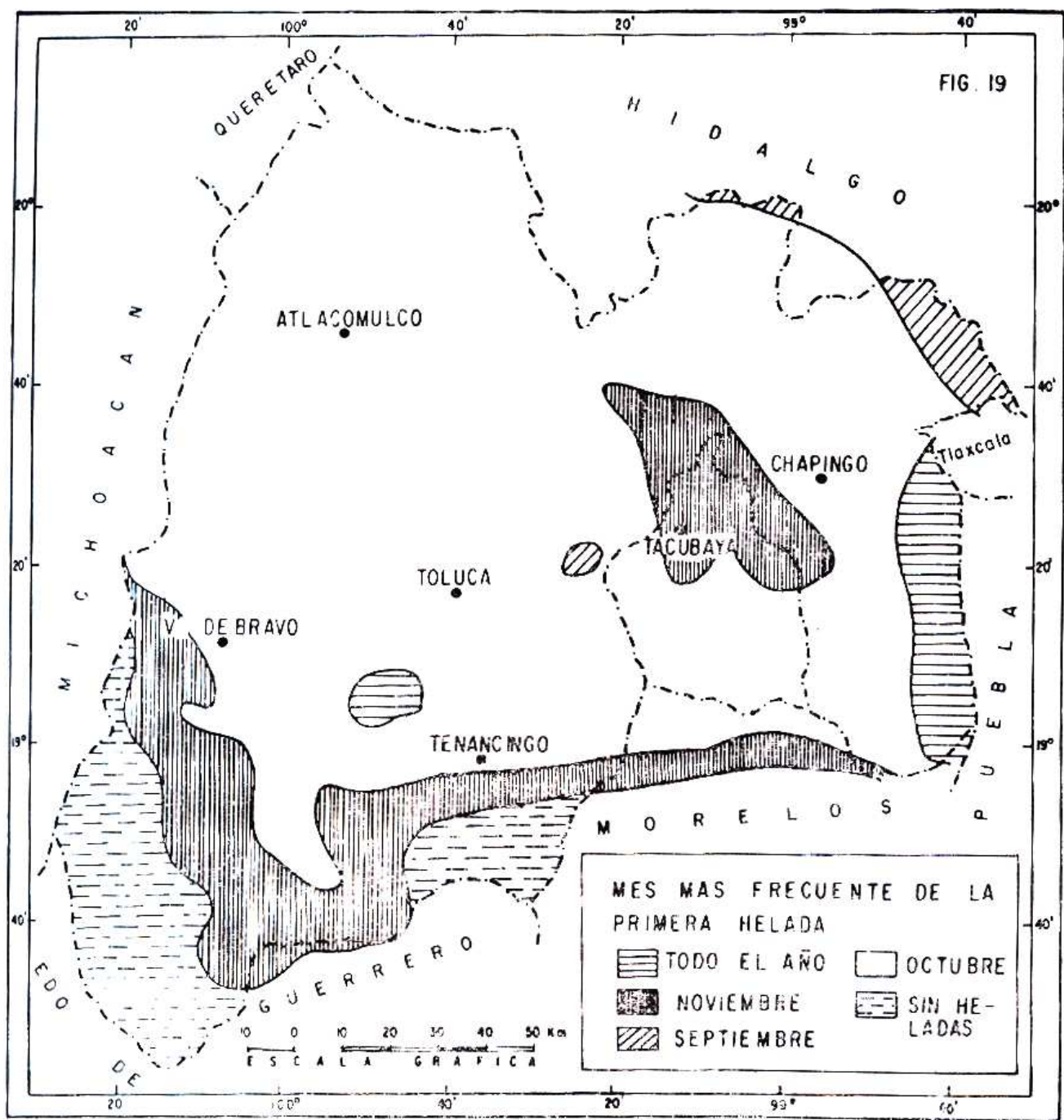
Las primeras heladas se presentan, en la mayor porción de la entidad, en el mes de octubre; en las áreas más tibias se presentan un poco después, o sea en el mes de noviembre, en tanto que en las áreas de mayor altitud, por lo general, todo el año hiela; figura 19.

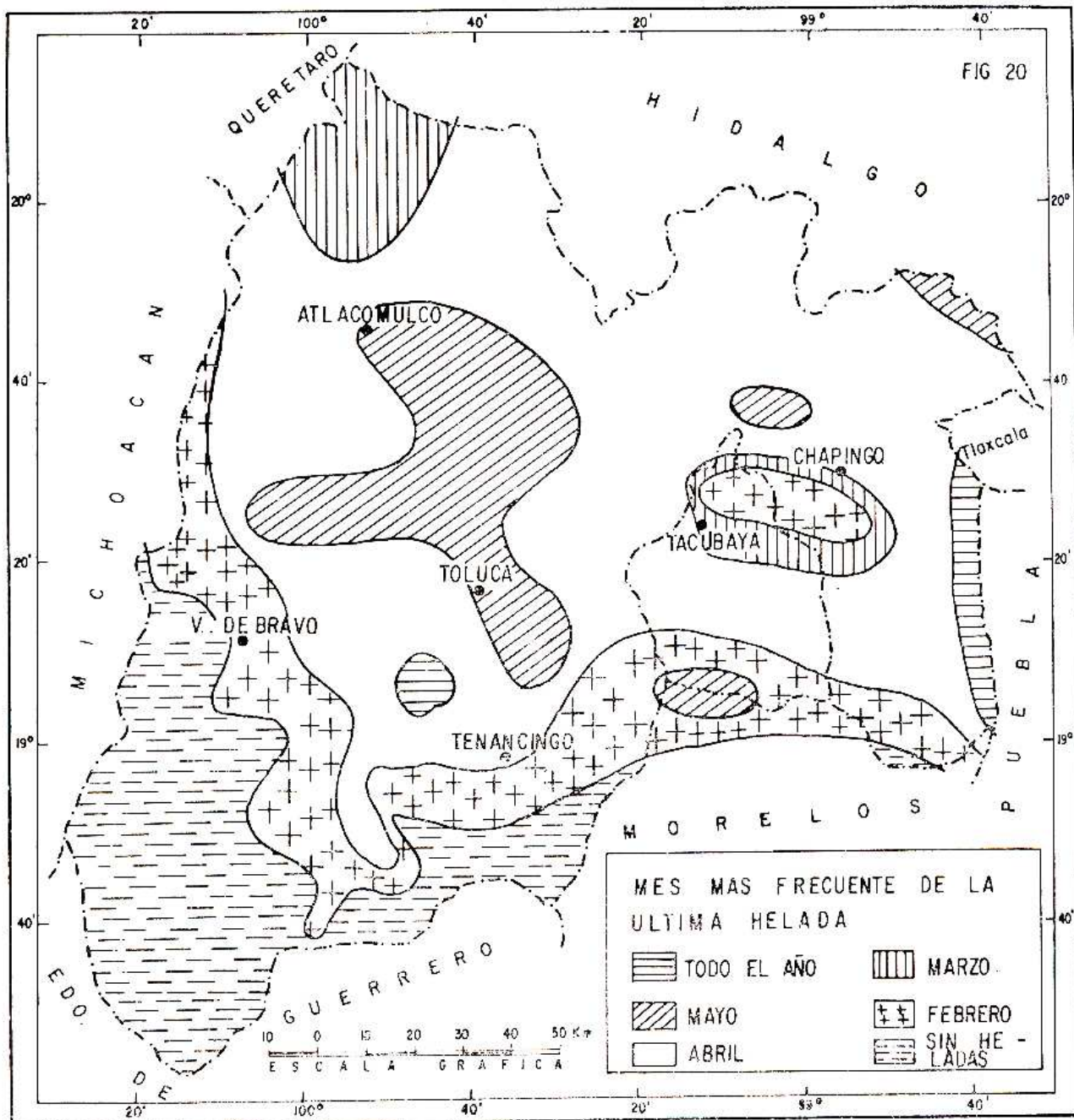












### e) *Mes más frecuente de la última helada.*

Las heladas no se retiran al mismo tiempo en todo el Estado de México, así lo muestra la figura 20. Los lugares donde las últimas heladas son frecuentes en el mes de febrero, son aquellos que se encuentran protegidos por los sistemas montañosos ubicados en la parte sur y este del Estado; las mismas condiciones tiene una pequeña parte de la cuenca de México no obstante que se localiza donde las temperaturas deben ser bajas por lo menos hasta el mes de abril. Sin embargo, no sucede así debido a las extensas áreas urbanas de la ciudad de México; contigua a esta área se encuentra otra de menor magnitud donde las heladas son hasta el mes de marzo, al igual que en el extremo noroeste. En la mayor parte de la entidad las últimas heladas se presentan en el mes de abril. Sin embargo, en el valle de Toluca todavía en el mes de mayo son frecuentes las heladas.

Como se ve, las temperaturas bajo cero están íntimamente ligadas a las características topográficas y a los sistemas del tiempo, por lo que resulta evidente que el suroeste quede libre de heladas durante todo el año.

Considerando lo tratado en el presente tema y en el referente al mes más frecuente de la primera helada, es conveniente establecer que la mayor parte de la superficie del Estado tiene un periodo promedio de 5 meses libre de heladas (mayo-septiembre), mismo que condiciona las épocas de siembra.

Cabe aclarar que es interesante conocer la tendencia y frecuencia de heladas, en periodos largos de observación, para conocer mejor las condiciones agroclimáticas del Estado.

## 9. HUMEDAD RELATIVA

En la atmósfera existen cantidades variables de vapor de agua que se reflejan en las condiciones climáticas del lugar; la humedad existente regula, así, la rapidez con que se evapora el agua. Cuando la humedad relativa es baja, la transpiración de las plantas aumenta ocasionando una pérdida progresiva de agua que en ocasiones es perjudicial. Si esto sucede, puede interrumpir en forma parcial o total el

desarrollo vegetativo si el suelo presenta condiciones similares de humedad.

La humedad atmosférica se expresa en varias formas. En este estudio nos referimos a la humedad relativa. Como la humedad sólo se cuantifica en los observatorios meteorológicos, veremos su comportamiento en Chapingo y Toluca, ambos lugares con un periodo de observación de 10 años (1961-70) a las 7, 14 y 21 horas.

La humedad relativa varía inversamente a la temperatura del aire; así, los valores más altos corresponden a las 7 horas y disminuyen a medida que la temperatura aumenta (14 horas), para volver a ascender por la tarde, alcanzando su clímax al formarse las nubes y efectuarse la precipitación, en la época lluviosa, por la tarde o noche. En Toluca la humedad relativa varía entre 60 y 94% en los meses lluviosos; en los meses fríos de invierno la amplitud es mayor (40 a 88%) por corresponder a estos meses la época de secas. Las gráficas de la figura 21 muestran la variación mensual de la humedad promedio a través del año y puede verse que el déficit mayor lo ostenta el mes de marzo, con 52%, en Toluca y Chapingo. La máxima, para Toluca y Chapingo, ocurre en los meses comprendidos de julio a septiembre, con un valor de 78 y 80% respectivamente. Las diferencias observadas se deben, a su vez, a las diferencias de temperaturas de cada lugar y a su ubicación. La humedad atmosférica modera los efectos de la temperatura, en su ausencia puede ocasionar la caída del fruto, en cantidades considerables, por una pérdida excesiva de agua.

## 10. INSOLACIÓN

La insolación, al igual que los datos de humedad relativa, fue tomada de los reportes de los observatorios que disponen de heliógrafo. Éste consta de una esfera de cristal donde los rayos solares convergen quemando una tira de papel en tanto brilla el Sol; de esta manera se obtienen los valores diarios mensuales y anuales. El número de horas de insolación es variable en los dos observatorios. La mayor insolación se observa en Chapingo, con un total de 2585.4 horas anuales; hay que tomar en cuenta que el elevado número de horas de in-

solación en Chapingo es resultado de la escasa nubosidad que, a su vez, ocasiona poca precipitación (625 mm anuales). En cambio, Toluca tiene 2 097 y 2 003 horas de insolación y su precipitación también es un poco mayor; por tanto, entre Chapingo y Toluca existe una diferencia de 500 horas de insolación, en promedio, al año.

La insolación se acentúa en los meses de noviembre a mayo y disminuye en el periodo lluvioso (Fig. 22). En Chapingo la mayor insolación se recibe en el mes de mayo, dado que la abertura astronómica de los días es mayor que en otras épocas del año y las lluvias aún son escasas. La actividad de los vegetales se encuentra estrechamente ligada a la insolación, pues de ésta depende el éxito de su desarrollo.

TABLA No. 3

INSOLACIÓN MEDIA MENSUAL (EN H) EN TOLUCA Y CHAPINGO. PERIODO 1961-70.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	=	ANUAL
CHAPINGO	229	235	246	248	249	184	173	183	172	216	224	227	=	2 586
TOLUCA	196	203	204	200	183	143	143	149	134	165	190	187	=	2 097

La cantidad de insolación está en relación directa con la cantidad de horas luz, la duración de estas últimas dará como resultado el fotoperiodo al cual responde la actividad fisiológica de las plantas. La insolación acelera en gran medida la liberación del agua contenida en los tejidos y, además, regula la actividad fotosintética de los vegetales. Se considera que por cada hectárea de maíz, en el periodo de crecimiento, cae una cantidad de energía luminosa equivalente a 5 000 millones de calorías (Sinnot y Wilson 1970).

## 11. EVAPORACIÓN

La evaporación es la pérdida de agua del suelo. Si se incluye la que ocurre tanto en el suelo como en las plantas, entonces se denomina evapotranspiración. Esta pérdida es función principal de la radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire y velocidad del viento.

Es importante poder estimar la cantidad de agua que se evapora, principalmente en áreas de escasa precipitación como la del noreste del Estado de México, así se podrá decidir sobre mejor manejo del agua para riego. También es útil conocer en qué meses la evaporación alcanza valores superiores a la precipitación.

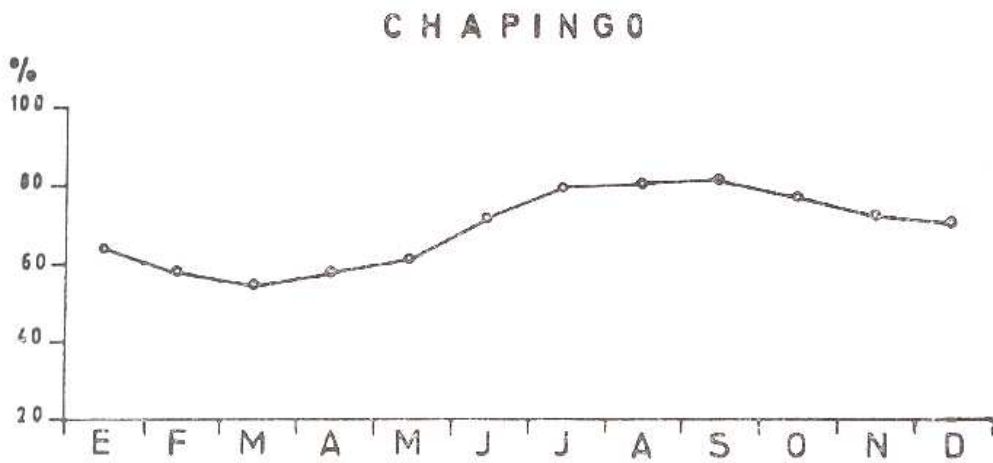
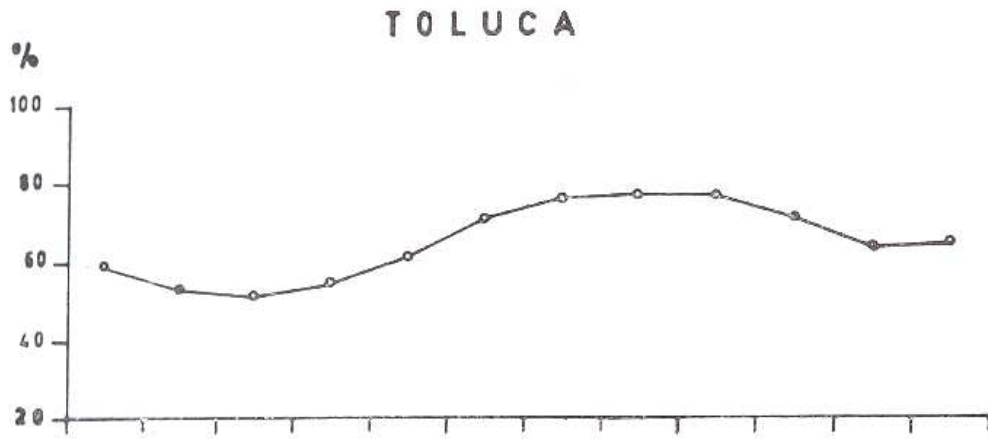
Por hallarse el Estado dentro del área tropical, la evaporación, en general, es elevada, dando como resultado que el promedio anual sea mayor que el de la precipitación. Así sucede en el rincón suroeste donde la evaporación rebasa los 2 400 mm anuales, y en el norte donde el promedio anual es de 1 800 mm. En segundo lugar son determinantes las horas de insolación por ser un lugar de escasa nubosidad; además, a esta parte corresponde el área de menor precipitación media anual; por tanto, el clima es el más seco del área en estudio.

Los índices de evaporación son bajos en los lugares cubiertos por vegetación (1 600 mm anuales) donde, por lo general, son superficies de temperaturas bajas y la altura de la lluvia suele ser superior a los 1 000 mm anuales, como en las serranías de Las Cruces, Sierra Nevada, etc.

En términos generales, se puede afirmar que en la mayor parte del área en estudio la evaporación durante los meses de lluvia es muy semejante a la evapotranspiración de los cultivos más usuales en la región (maíz, frijol, etc.), según se ha podido concluir en un estudio anterior (Jáuregui, 1977).

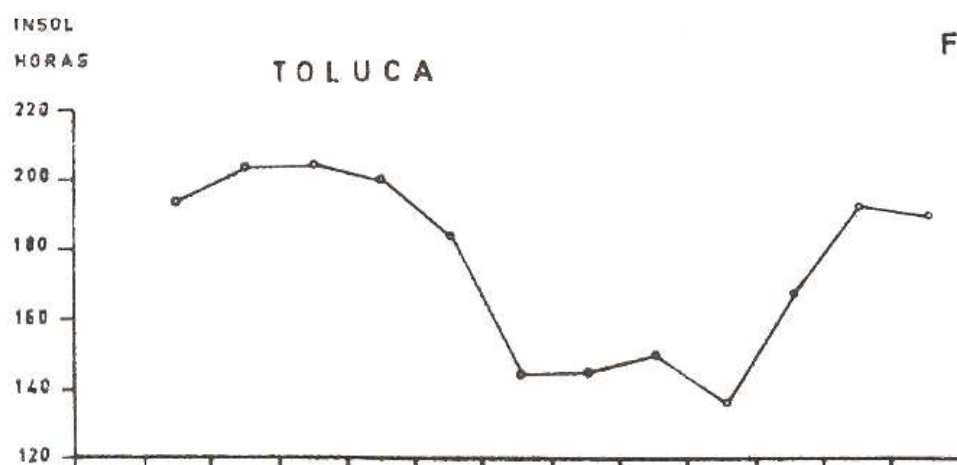
La evapotranspiración es del orden de 1 600 a 1 800 mm anuales en la mayor parte del área en estudio (Fig. 23).

FIG.21

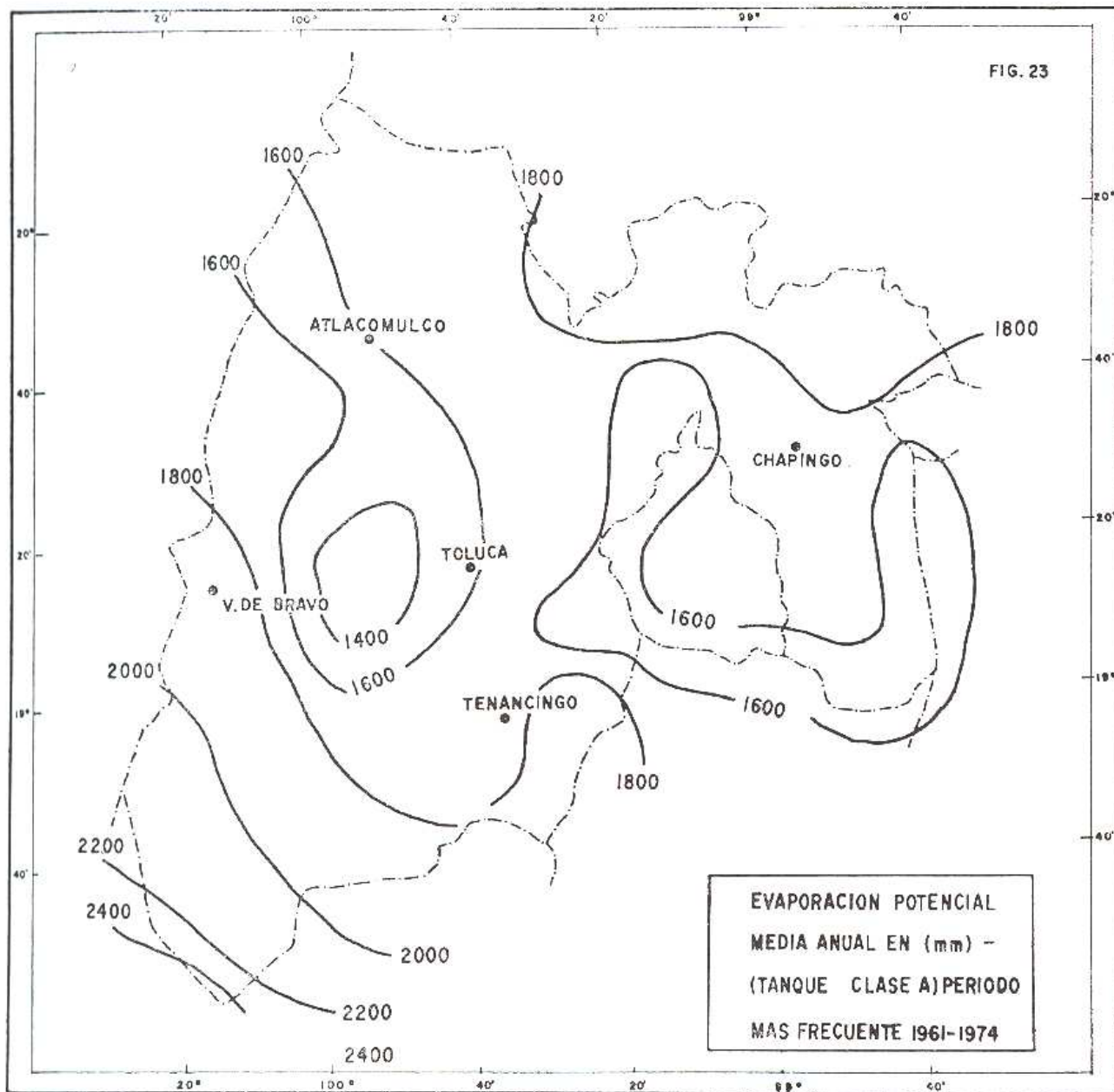


VARIACION MENSUAL DE LA HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO PERIODO 1961-70

FIG 22



VARIACION MENSUAL DE LA INSOLACION  
PERIODO 1961-70





## 12. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se dan a conocer algunas variables climatológicas del área en estudio, que directa o indirectamente afectan la actividad agrícola.

Al hacer el análisis del relieve se vio que éste es uno de los factores que establecen, en gran parte, la distribución de los elementos climáticos tales como: temperatura, precipitación, heladas, granizo, etc.

Mediante la interpretación de los datos meteorológicos fue posible establecer cuáles son las áreas afectadas por los fenómenos meteorológicos que dañan a los cultivos en el Estado de México y cuál es la época de mayor frecuencia en el caso de heladas, granizo, tempestades eléctricas, etc.

El análisis de la variabilidad de la lluvia permite determinar cuáles son las áreas más aptas para el cultivo de temporal (por su reducida variabilidad pluviométrica), por medio de cartas como las aquí presentadas para el Estado de México.

También es conveniente ver cuál ha sido el comportamiento de la precipitación durante un periodo largo de años, con el fin de determinar la tendencia de la lluvia a largo plazo y, asimismo, intentar definir las causas que originan las deficiencias o excedentes de precipitación respecto a una normal. La contribución a la cantidad de lluvia anual y mensual por los ciclones, incluso.

Será útil hacer estudios cuantificando la frecuencia mensual de las variables meteorológicas, ya que en esta forma se tendrá una idea más real de su comportamiento durante el año, permitiendo tener mayores recursos de carácter técnico, mismos que se podrán aplicar en el mejor manejo de los cultivos agrícolas y planeación en general.

Debe considerarse la posibilidad de que en el futuro se hagan estudios que analicen la relación clima-vegetación, con el objeto de conocer en detalle las condiciones ecológicas del Estado de México.

## BIBLIOGRAFÍA

- Burgos, J. J. (1963). *Las heladas en la Argentina*, Colección Científica del INTA, Argentina.
- De Fina, L. A. y Ravello, C. A. (1973). *Climatología y fenología agrícola*, Ed. Eudeba, Argentina.
- Durand, D. F. (1972). *Climatología*, Ed. Ariel, Barcelona, España.
- González Cicilia, E. (1968). *El cultivo de los agrinos*, 3a. edición, Ed. Bello, Valencia, España.
- IEPES (1976). *Informática*, Cuaderno del Estado de México.
- Jáuregui, O. E. (1977). "Algunos aspectos de las fluctuaciones pluviométricas en México en los últimos cien años". *Boletín* No. 8, Instituto de Geografía, UNAM.
- Jáuregui, O. E., D. Klaus y W. Lauer (1977). "Estimación de la evaporación y evapotranspiración potencial en el centro de México", *Recursos Hidráulicos*, Vol. VI, Número I.
- Plan Lerma Asistencia Técnica (1966). "Meteorología", S. R. H., *Boletín* No. 1.
- Plan Lerma Asistencia Técnica (1968). "Meteorología", Sría. de Recursos Hidráulicos, *Boletín* No. 4.
- Servicio Meteorológico Nacional (1974). *Previsión del Tiempo*, Sría. de Agricultura y Ganadería.
- Sinnot, E. W. y Wilson, K. S. (1970). *Botánica: Principios y Problemas*, Cía. Editorial Continental, S. A. México, D. F.