Rosalía Vidal Zepeda

ALGUNAS RELACIONES CLIMA-CULTIVOS EN EL ESTADO DE MORELOS

U N A M
GEOGRAFIA
BIBLIOTECA

Primera edición: 1980

DR © 1980, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria. México 20, D. F.

Dirección General de Publicaciones

Impreso y hecho en México

ISBN 968-58-2870-9

A mis padres

Expreso mi gratitud especialmente a la maestra Enriqueta García de Miranda, quien dirigió el presente trabajo, por sus valiosas sugerencias. También a las personas que hicieron parte del trabajo material de dibujo y fotografía: Felipe Guadarrama y Moisés García.

I. Introducción

Se considera importante para México buscar las posibles relaciones que los rendimientos y la producción de los cultivos tienen con las variables climáticas, debido a que la agricultura es la actividad básica en la economía del país. Más de la mitad de las actuales tierras de cultivo son de temporal, cubriendo las zonas altas del centro del teritorio donde se concentra más de la mitad del total de la población.

Uno de los problemas básicos de la agricultura en nuestro país es la distribución de buenas tierras de cultivo. Las tierras altas centrales a las que nos referimos tienen sólo el 10% de los recursos de agua; en contraste, la región del Sureste tiene muy pocas tierras cultivables y cuenta con el 40% de los recursos de agua. (19) El problema es, obviamente, que el agua no está donde se necesita y pueda ser utilizada para riego. Debido a esta característica, el cultivo deberá seguir desarrollándose en regiones de temporal donde los aspectos climáticos tienen gran importancia en la determinación de condiciones óptimas para producir máximos rendimientos.

La aclimatación de plantas traídas de otros lugares donde se desarrollan de manera natural puede ayudar a solucionar el problema agrícola; es decir, la nueva adaptación puede llevarse a cabo dependiendo en gran parte del clima y del suelo. Es este el caso del cultivo del jitomate en el Estado de Morelos, que fue introducido en los años 1960 y utiliza con muy buenos resultados el sistema de siembra italiano.

En este trabajo, después de presentar un breve panorama de las condiciones del clima y algunas características de los cultivos, se hace el intento de encontrar la relación que existe entre el rendimiento por hectárea, de algunos productos, y las principales variables climáticas. Con este conocimiento será posible la planeación de la agricultura para intentar producir el máximo posible en un área determinada y abrir nuevas tierras al cultivo en áreas de clima adecuado. Teniendo en cuenta que el campesino no puede resistir gastos muy altos en relación con los costos de mantenimiento de los cultivos, deben proponerse soluciones al problema del incremento en el rendimiento de los cultivos, de una manera económicamente viable.

II. Situación geográfica

El Estado de Morelos se localiza en la vertiente sur de la Sierra Volcánica Transversal; forma parte de la cuenca del río Balsas, región situada entre aquélla, la Sierra Madre del Sur y las montañas de la Mixteca, en Oaxaca.

Se encuentra entre los paralelos 18° 22′06″ y 19°07′10″ de latitud norte y los meridianos 98°03′ y 98°30′08″ de longitud oeste de Greenwich.

Morelos limita al norte con el Distrito Federal y el Estado de México, al este y sureste con Puebla, al sur y suroeste con Guerrero y al oeste con el Estado de México. Tiene una superficie de 4 941 km² que representan el 0.25% de la total del país; solamente el Estado de Tlaxcala y el D. F. son menores en superficie.

Relieve e Hidrología (figura 1)

El relieve montañoso de la zona norte del Estado está formado por las estribaciones de la Serranía del Ajusco y del Popocatépetl, que es el extremo sur de la Sierra Nevada; ambos forman parte de la Sierra Volcánica Transversal.

Se alcanzan altitudes de 3 450 m sobre el nivel del mar en el Chichinautzin y de 5 452 m en el Popocatépetl. De ahí el terreno desciende hasta 890 m en el valle de Jojutla, para volver a ascender a 1 500 m al sur, en los límites con el vecino Estado de Guerrero, donde la altitud aumenta nuevamente en las sierras de Taxco y Huitzuco.

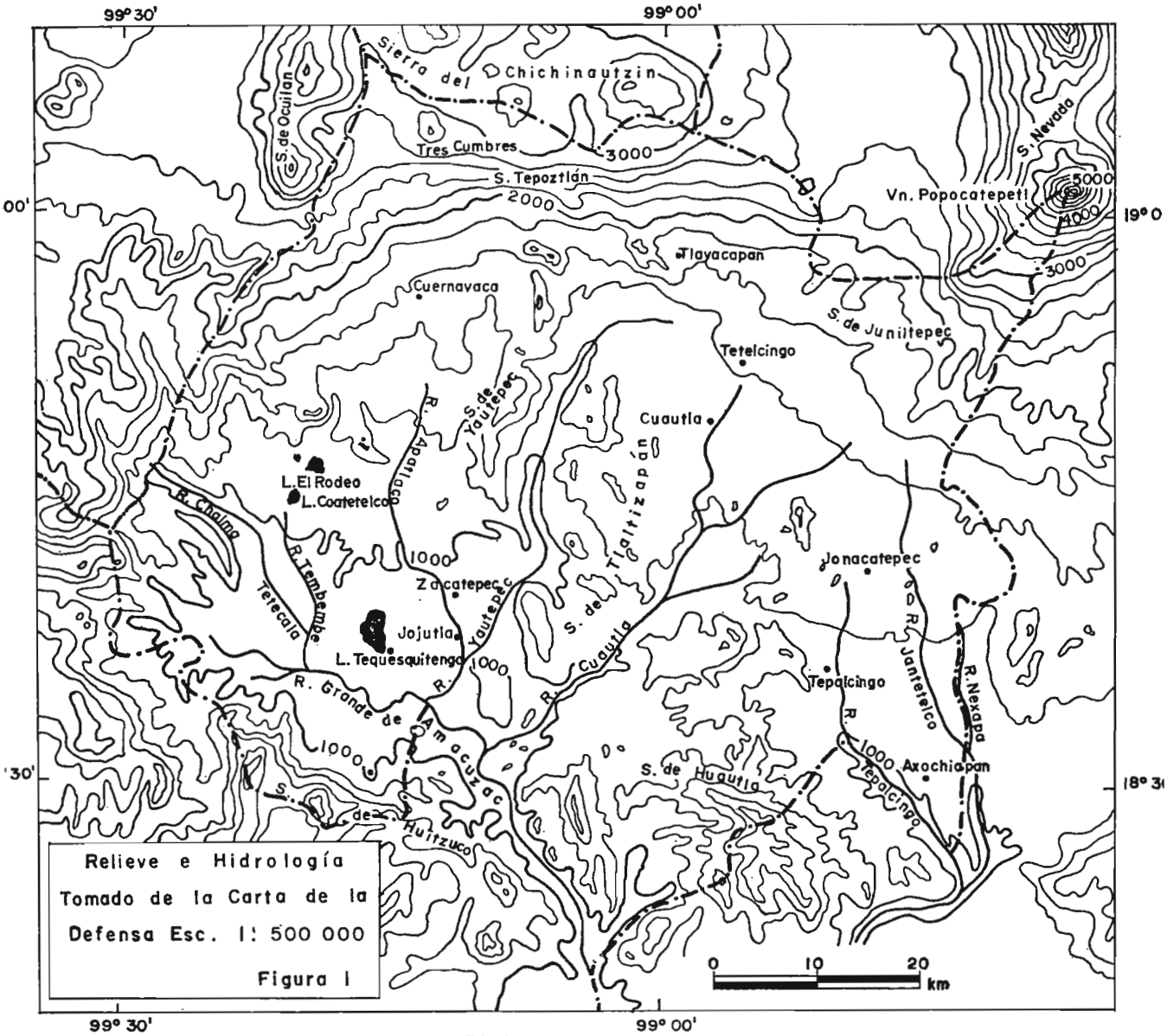
Las elevaciones más importantes en la zona norte son: la Sierra de Huitzilac, que es parte de la Sierra de Ocuilan; Tres Cumbres (3 271 m) que se localiza en la bifurcación entre la Sierra del Chichinautzin y la de Ocuilan; la Sierra de Chichinautzin (3 450 m), la Sierra de Tepoztlán y hacia el noreste, la Sierra de Yecapixtla o Jumiltepec (2 300 m) que forma parte de las estribaciones del Popocatépetl en su porción sur.

En la zona central del Estado se encuentra la Sierra de Yautepec, que sigue la dirección norte-sur y separa los valles de Cuernavaca al oeste y de Yautepec al este; la Sierra de Tlaltizapán, en la misma dirección, divide al valle de Cuautla o Plan de Amilpas, situado al este de los valles de Yautepec y Jojutla que quedan al oeste.

La configuración orográfica forma además, en la zona central, las llanuras de Jojutla, y de Michapa en Puente de Ixtla.

Hacia el sur del Estado, en los límites con Guerrero, se elevan las sierras de Ocotlán y Huitzuco; su pico más elevado es el Cerro Frío (2 280 m), situado al sur de la población de Tilzapotla; en los límites con Puebla está la Sierra de Huautla.

La cuenca del río Amacuzac, afluente del Balsas que desemboca en el Océano Pacífico, ocupa casi la totalidad del Estado; la del Nexapa, tributario también del Balsas, ocupa sólo el borde oriental en los límites con Puebla.



ESTADO DE MORELOS

Las corrientes que vierten sus aguas al Amacuzac son los ríos Tetecala o Chalma, cuyas aguas bajan de la vertiente sur de la Sierra de Tenango, en el vecino Estado de México; el río Tembembe, que es afluente del Tetecala, cuyo caudal desciende de la Sierra de Ocuilan, localizada en el extremo noroeste del Estado. Los ríos San Jerónimo o de Tenancingo y el río Chontalcoatlán corren subterráneamente alrededor de cuatro kilómetros a través de la sierra caliza de Cacahuamilpa y al salir a la superficie unen su caudal formando el río Amacuzac, muy cerca del límite entre los estados de México, Morelos y Guerrero, al sur de la mencionada Sierra.

Hacia el centro del Estado, el río Yautepec vierte sus aguas al río Amacuzac, al sur del poblado de Jojutla de Juárez, muy cerca de la hidroeléctrica Amacuzac, en los límites con Guerrero. Un poco más al sur se une el río Cuautla o Chinameca, cuyo caudal viene desde las estribaciones del Popocatépetl, en el extremo noreste del Estado.

En el límite de Morelos con Puebla, el río Nexapa recoge las aguas de la región sureste del Estado, por medio de sus afluentes, el río Jantetelco o Amatzinac (que desciende de las laderas australes del Popocatépetl) y el río Tepalcingo.

Los lagos principales son: Tequesquitengo, Coatetelco y El Rodeo; todos ellos ocupan pequeñas cuencas cerradas.

III. Circulación atmosférica y vientos superficiales

Por su localización, el Estado de Morelos se encuentra dentro de la zona de dominio de los vientos alisios del hemisferio norte. En efecto, durante el verano, la celda de alta presión del Atlántico del Norte, o Bermuda-Azores, se desplaza hacia el norte y oeste, hasta 35° o 40° norte; en su borde austral se originan los vientos alisios que en esta época son fuertes y profundos, y se cargan de humedad al cruzar el Golfo de México, llegando a la costa oriental de la República Mexicana como vientos húmedos; ascienden por las laderas de la Sierra Madre Oriental y producen en la región lluvia abundante. Los alisios profundos logran atravesar la Sierra Madre Oriental y llegan al centro del país con una notoria dirección del este, transportando aún algo de humedad.

Llegan así al Estado de Morelos y su humedad se convierte, en parte en precipitación, debido a los movimientos convectivos del aire en el fondo de los valles, y al enfriamiento por expansión adiabática que experimentan al ascender por las laderas montañosas.

La corriente alisia suele presentar perturbaciones llamadas ondas del este que, en ocasiones, son las responsables de los aguaceros nocturnos que a menudo ocurren en el Estado.

Para el Estado de Morelos son particularmente importantes los ciclones tropicales del Pacífico, ya que introducen humedad en la tropósfera media, humedad que es transportada hasta la Sierra Volcánica Transversal, a través de la cuenca del Balsas, produciendo abundante precipitación en las laderas australes de las sierras.

En invierno la celda anticiclónica Bermuda-Azores se desplaza hacia el sur y, debido a ello, en esta época los alisios son débiles y sólo dominan en los niveles bajos, al sur de la República Mexicana, viéndose reemplazados en las alturas por los vientos del oeste, característicos de las latitudes medias, que son descendentes y secos y producen la sequía propia de la mitad fría del año.

En esta época tienen lugar los nortes del Golfo de México, que son invasiones de aire frío procedente de Estados Unidos y Canadá, que cuando son profundos atraviesan la Sierra Madre Oriental y la Sierra Volcánica Transversal y suelen afectar al Estado de Morelos, produciendo descenso en la temperatura, nubosidad y alguna precipitación.

Vientos superficiales. Como se sabe, los vientos tienen su origen en la circulación general atmosférica, pero son grandemente afectados en su dirección y condiciones de humedad, por el relieve local.

Para analizar la dirección e intensidad del viento de superficie en el Estado, se trazaron rosas de vientos para los meses de enero y junio, que aparecen en las figuras 2 y 3.

No existe mucha variación en la dirección de los vientos dominantes de las dos estaciones, el invierno representado por el mes de enero y el verano por el mes de junio.

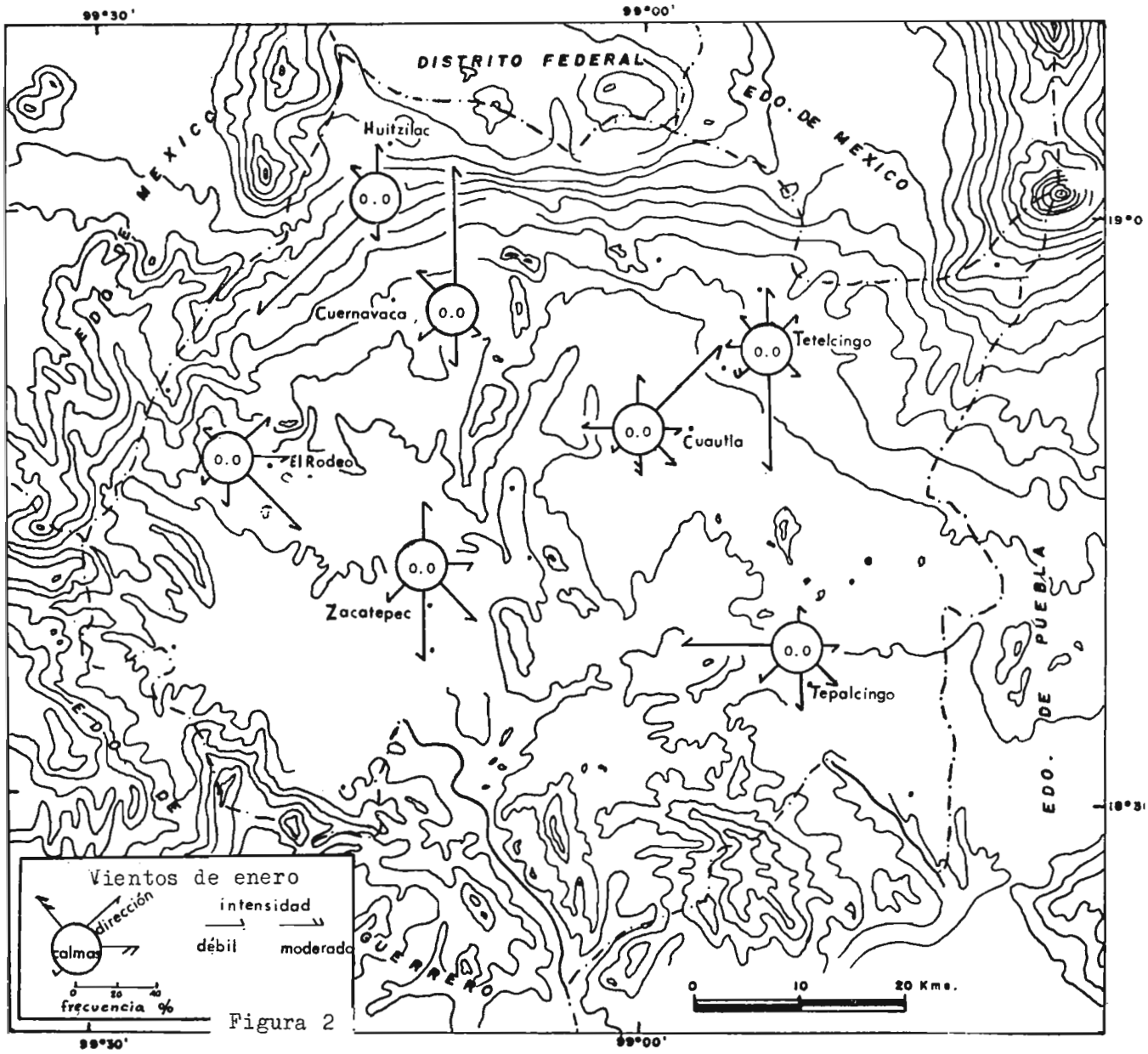

99°30'
99°00'
DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
Huitzilac
Cuernavaca
Tetelcingo
Cuautla
El Rodeo
Zacatepec
Tepalcingo
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
19°0
18°3
0
10
20 Kms.
Vientos de enero
dirección
intensidad
débil
moderado
calmas
0
20
40
frecuencia %

Figura 2

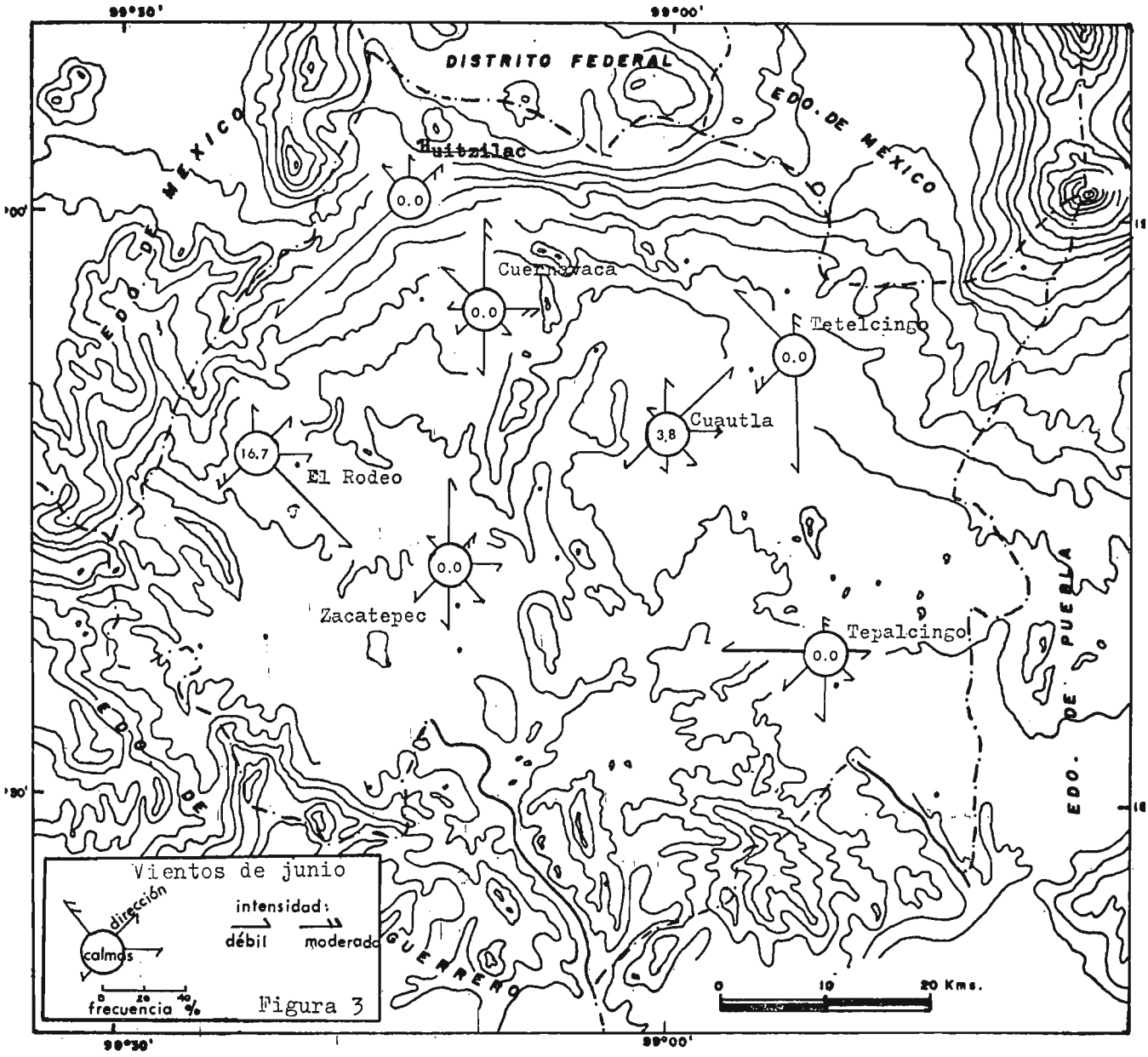

99°30'
99°00'
DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
Huitzilac
0.0
Cuernavaca
0.0
Tetelcingo
0.0
Cuautla
3.8
16.7
El Rodeo
0.0
Zacatepec
Tepalcingo
0.0
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
Vientos de junio
dirección
calmas
intensidad:
débil
moderado
frecuencia %
0
20
40
0
10
20 Kms.

Figura 3

En El Rodeo, Zacatepec, Tetelcingo y Huitzilac, el viento dominante tiene fuerte componente del sur, mientras que en Cuernavaca es definitivamente del norte y en Cuautla del noreste, siendo ambos, vientos frescos que bajan de las laderas montañosas de la Sierra del Chichinautzin y del Popocatépetl.

El viento dominante en Tepalcingo es del oeste, tanto en enero como en junio, lo que resulta importante para explicar que la región sea seca, debido a que estos vientos provienen de la región más baja y caliente del Estado.

En el mapa, la dirección de las barras indica la del viento; su longitud es proporcional a la frecuencia con la que sopla, expresada en porcentaje. La intensidad se representa, según la escala de Beaufort, por pequeñas plumas en el extremo de las barras, y en el centro del círculo se indica el porcentaje de calmas.

IV. Temperatura

a) *Temperatura media*

Debido a que el Estado de Morelos se localiza en la zona intertropical, la temperatura se distribuye bastante uniformemente a lo largo del año.

Al analizar las 22 gráficas de temperaturas medias correspondientes al Estado, que aparecen en la Carta de Climas publicada por CETENAL, se observan dos máximos: el primero y más marcado, generalmente en el mes de mayo, y el segundo al final de la temporada lluviosa (septiembre u octubre); éste es menor debido a que, por la nubosidad, las temperaturas descienden durante los meses lluviosos. Las temperaturas más bajas se presentan durante el mes de enero.

El mapa de isotermas medias anuales (figura 4) pone de manifiesto la influencia de la altitud en la distribución de la temperatura en el Estado; así, vemos que ésta, disminuye según aumenta la altitud hacia el norte y noreste. El gradiente térmico varía con la posición de los lugares; así, la región montañosa del norte del Estado tiene el mayor gradiente, de 0.8°C por cada 100 metros de aumento en altitud, en tanto que los menores gradientes se encuentran hacia el centro del Estado y son del orden de 0.6°C por cada 100 m.

En este mapa se aprecia que la isoterma de 12° coincide con la curva de nivel de 3 000 m, y la de 18° con la curva de 2 000 m. Ambas se presentan en las estribaciones australes de la Sierra del Chichinautzin y del volcán Popocatépetl, en la Sierra Nevada.

Se observa que la temperatura aumenta hacia el sur al disminuir la altitud; así, la isoterma de 24° marca las dos zonas del Estado que registran temperaturas medias anuales más altas; la primera es de mayor extensión y comprende la parte más baja de la cuenca del río Amacuzac; la segunda corresponde a la región de Axochiapan en los límites con Puebla.

En las zonas más elevadas de la Sierra del Chichinautzin la temperatura baja hasta unos 5° o 6°C, y en las partes más altas de la Sierra Nevada (Popocatépetl), que sobrepasan los 5 000 m de altitud, la temperatura media anual desciende a menos de −2°C (García 1968).

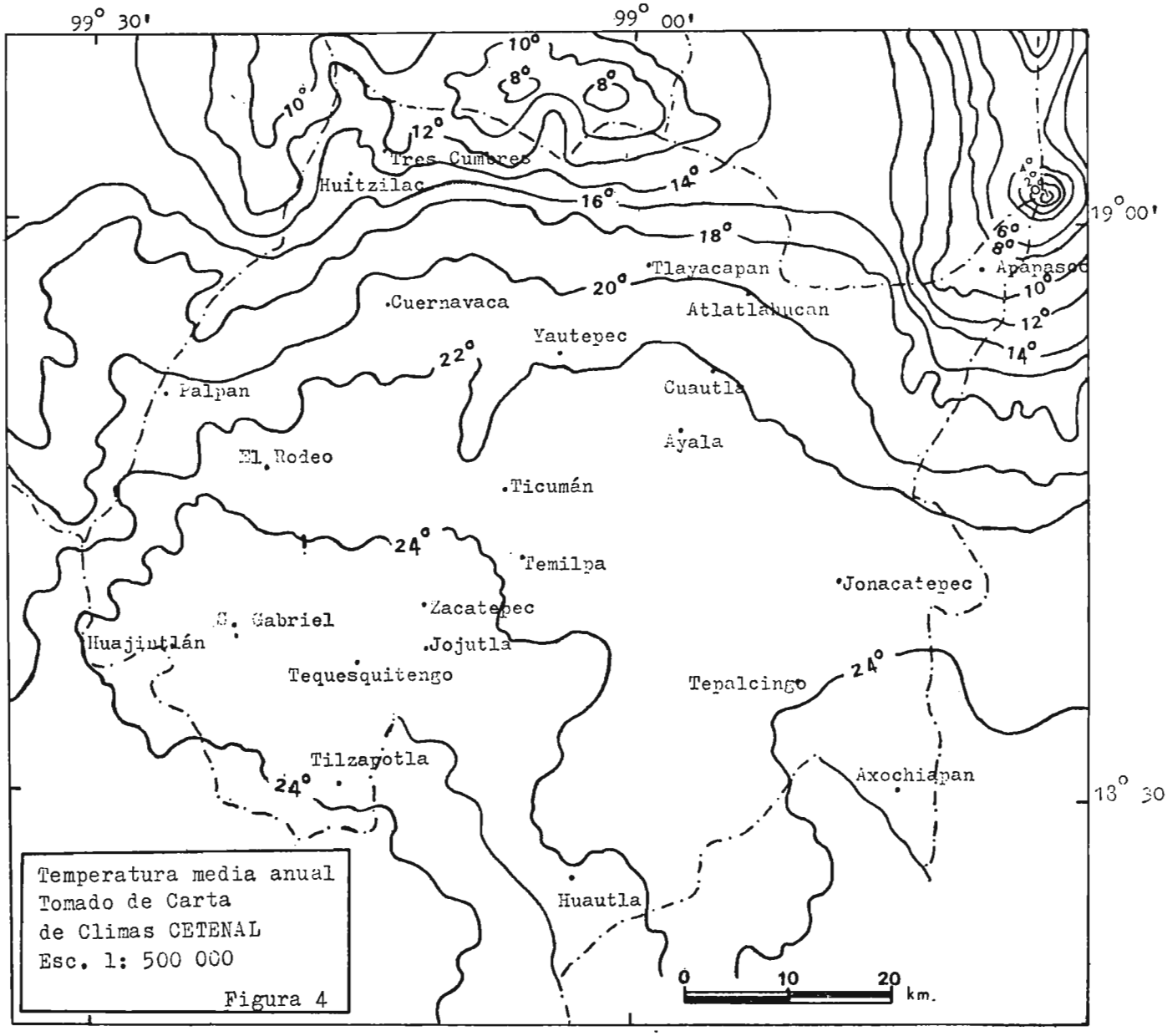
b) *Zonas térmicas*

Basándose en esta distribución de las temperaturas se encuentran las siguientes zonas térmicas.

1. Cálida, con temperatura media anual mayor de 22°C, abarca más de la mitad sur del Estado, comprende las áreas de altitud menor a 1 400 m y es la llamada "tierra caliente".

2. Semicálida, con temperatura media anual entre 18° y 22°C, se encuentra a altitudes comprendidas entre 1 400 y 2 000 m, abarca las laderas bajas de la Sierra Volcánica Tranversal.

3. Templada, con temperatura media anual entre 12° y 18°C, se localiza entre



Temperatura media anual
Tomado de Carta
de Climas CETENAL
Esc. 1: 500 000

Figura 4

2 000 y 2 800 m de altitud en las laderas de la Sierra Volcánica Transversal.

4. Semifría, entre 5° y 12°C, se encuentra a altitudes comprendidas entre 2 800 y 4 000 m en la misma región.

5. Fría, con temperatura media anual entre −2° y 5°C, comprende alturas entre 4 000 y 5 000 m, e incluye sólo las laderas más altas del Popocatépetl.

6. Muy fría, esta zona es de nieves perpetuas, en la cima del Popocatépetl, se localiza a altitudes mayores de 5 000 m y se registran en ella temperaturas medias anuales inferiores a −2°C.

c) *Oscilación anual de las temperaturas medias mensuales*

El mapa de oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (figura 5) muestra las diferencias en temperatura media entre el mes más frío y el más caliente; cuando la oscilación es menor de 5°C, lo cual ocurre en la zona noroeste del Estado, se indica con la letra i, que significa isotermal; la poca oscilación (i ′), es decir, entre 5° y 7°C, se presenta en la mayor parte del Estado; la oscilación (e) significa extremoso y describe lugares cuya oscilación fluctúa entre 7° y 14°C; ésta se presenta en pequeñas zonas aisladas entre sí: Tepalcingo, en el extremo sur del Estado, los valles de Yautepec y Ticumán al centro, y la zona de Tequesquitengo-Puente de Ixtla al suroeste.

Es importante hacer notar que, a mayor altitud en la Sierra Volcánica Transversal corresponde la menor oscilación.

d) *Temperatura máxima*

La temperatura máxima extrema es la temperatura más alta que se registra en un lapso determinado; así, la temperatura máxima extrema de un mes cualquiera es el dato de la temperatura más alta que se registró en el mes.

Los datos que se utilizaron en el presente trabajo son los promedios de las temperaturas máximas mensuales registradas en el periodo 1960-1969.

Con esta variable se trazaron tres mapas: uno de temperatura máxima promedio anual (figura 6), otro de temperatura máxima del mes de mayo (figura 7), porque en él se registran las temperaturas más altas del año, y otro mapa de temperatura máxima absoluta (figura 8).

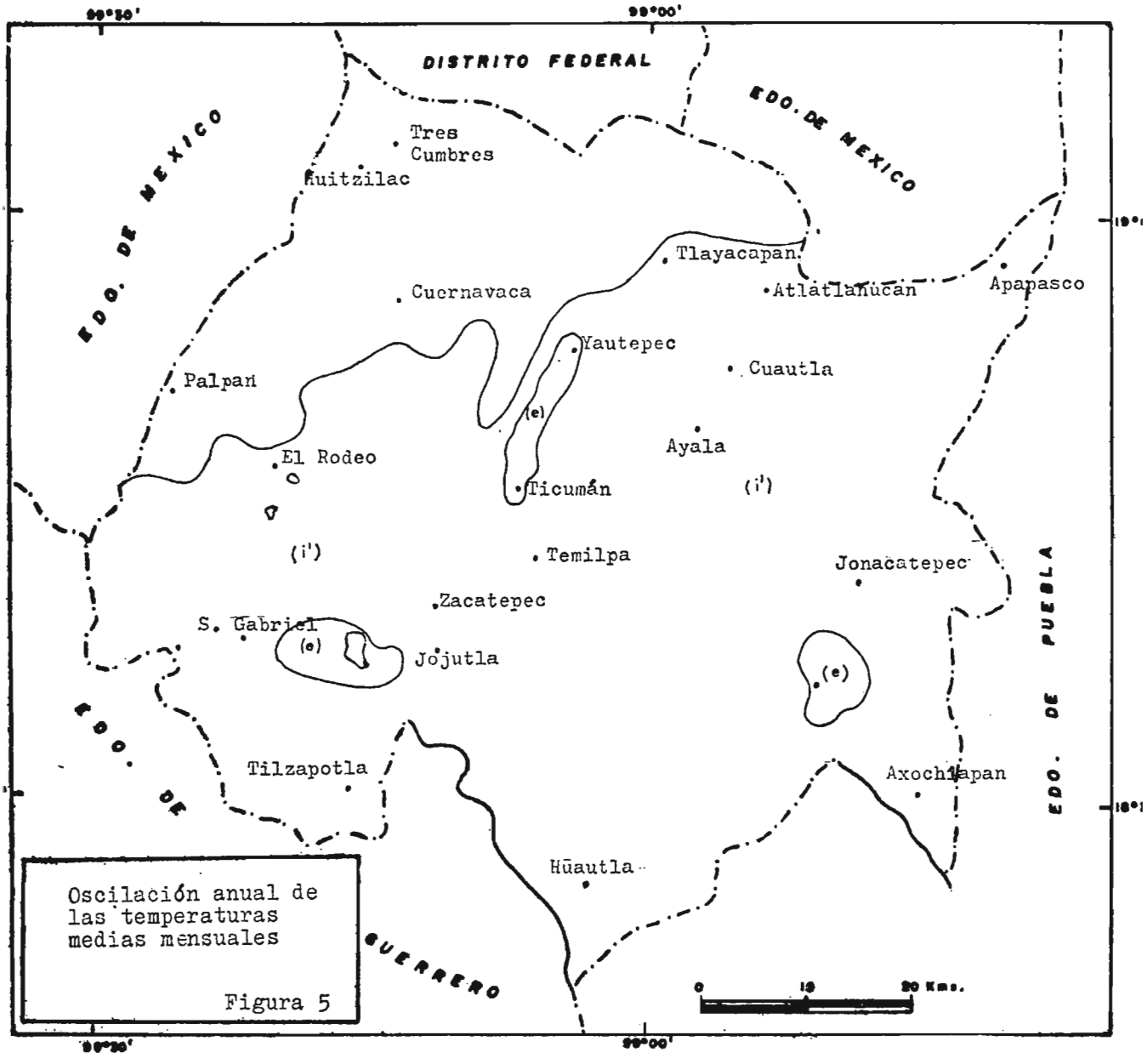
En el mapa de temperaturas máximas anuales (figura 6), se aprecia la isoterma de 35° en el extremo suroeste del Estado, hacia el sur del lago Tequesquitengo, así que los poblados de Huajintlán, Tehuixtla y Tilzapotla registran temperaturas máximas anuales cercanas a 40°C; lo mismo sucede hacia el sur, hasta las faldas de la Sierra de Huitzuco, en los límites con el vecino Estado de Guerrero.

La región central y sureste del Estado queda comprendida entre las isotermas de 30° y 35°C, excepto un área muy pequeña que corresponde al poblado de Tlacualera que registra temperaturas máximas inferiores a 30°C, debido, seguramente, a condiciones locales de situación geográfica.

Conforme se avanza hacia el norte, las temperaturas van disminuyendo, la isoterma de 25° corresponde a las faldas de la Sierra del Chichinautzin y la Sierra Nevada, debido a que la altitud aumenta.

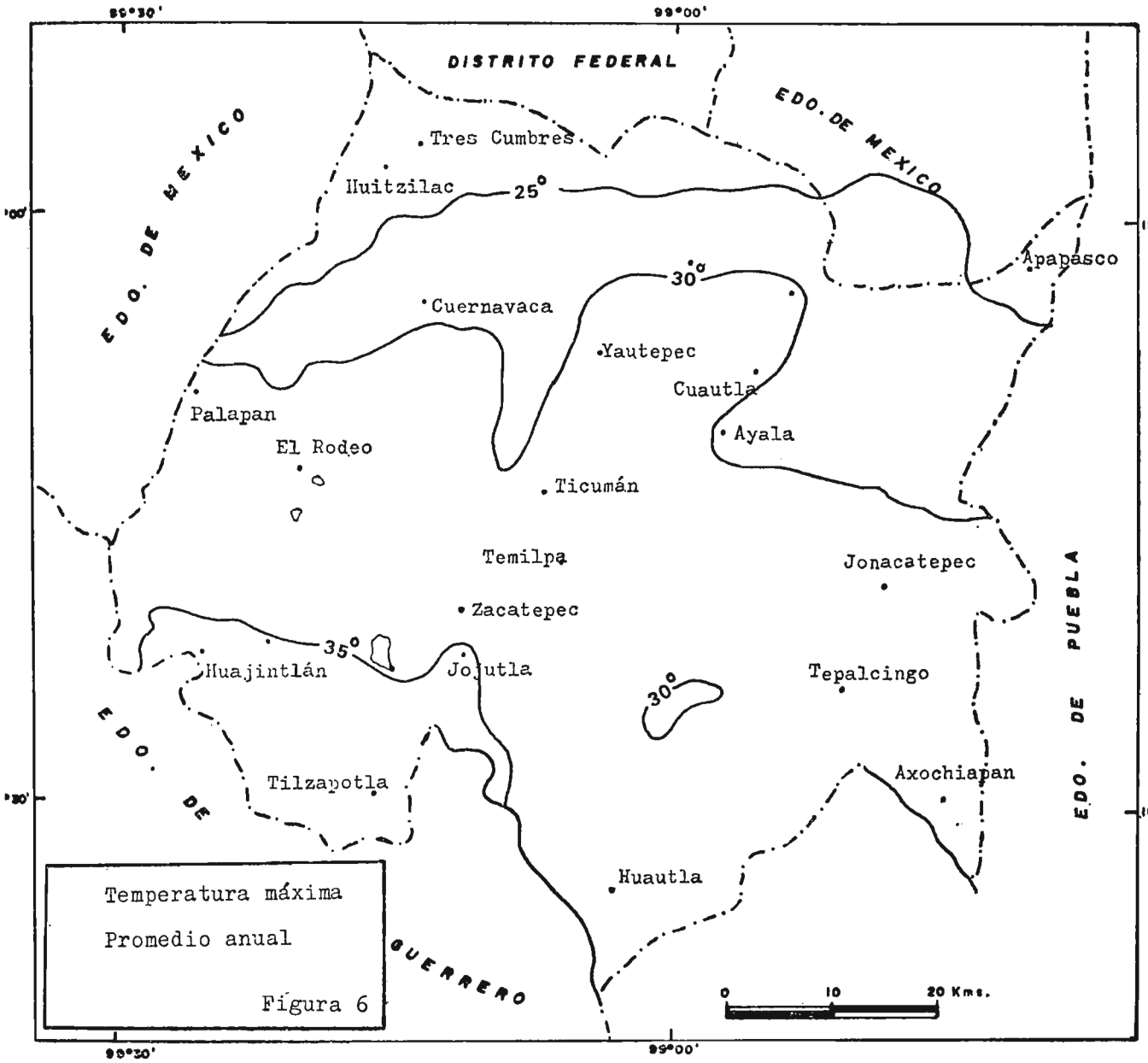
El mapa de temperaturas máximas promedio en el mes de mayo (figura 7), sigue el mismo patrón de distribución que el mapa de máximas promedio anuales, sólo que sus temperaturas son más elevadas. En la porción sur la temperatura máxima asciende a 43°C en Huajintlán y, en general, en todo el extremo suroeste del Estado las temperaturas son mayores de 40°C. Mientras que en Tlacualera las temperaturas se elevan a 35° y en toda la región central superan esta cifra.

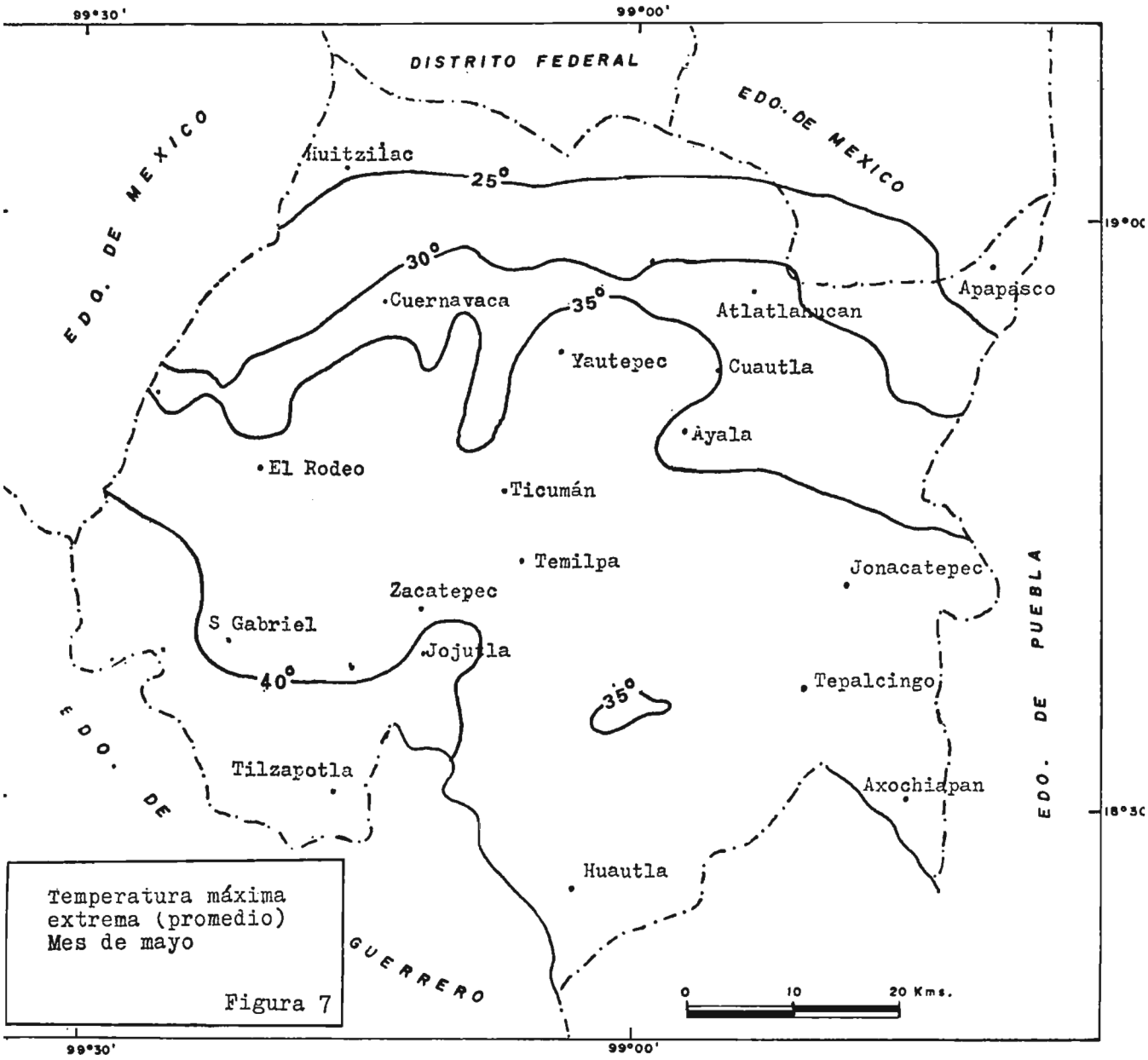
Resulta interesante observar el tercer mapa, el de temperatura máxima absoluta (figura 8), o sea el que corresponde a la temperatura más alta registrada para cada estación en el periodo que se estudia. La distribución de las isolíneas tiene semejanza con la distribución de las temperaturas medias; así, en el extremo suroeste se registran



Oscilación anual de las temperaturas medias mensuales

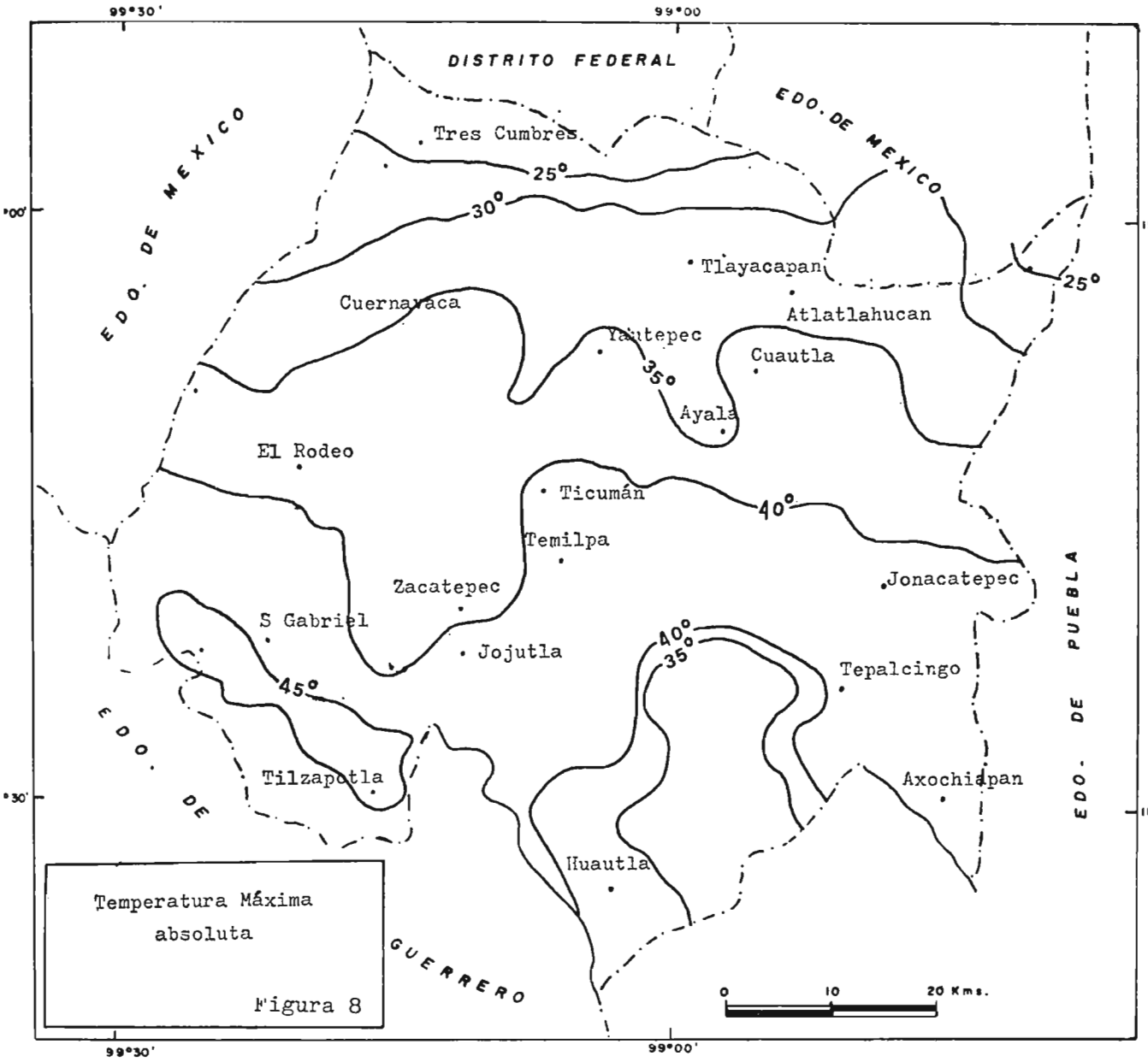
Figura 5


99°30'
99°00'
DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
Tres Cumbres
Huitzilac
25°
30°
Apapasco
Cuernavaca
Yautepec
Cuautla
Palapan
Ayala
El Rodeo
Ticumán
Temilpa
Jonacatepec
Zacatepec
35°
Huajintlán
Jojutla
Tepalcingo
30°
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE
Tilzapotla
Axochiapan
Huautla
GUERRERO
0
10
20 Kms.
Temperatura máxima
Promedio anual
Figura 6



Temperatura máxima extrema (promedio) Mes de mayo

Figura 7



Temperatura Máxima absoluta

Figura 8

las mayores temperaturas marcadas por la isoterma de 45°C, durante el mes de abril; observando localmente, las estaciones Tilzapotla (46°) y Huajintlán (49.5°), presentan los registros más altos. Es amplia la región que tiene temperaturas mayores de 40°C, y abarca una franja que cruza el Estado de este a oeste, aproximadamente, a 18°40′ de latitud norte.

Los meses en que se presentan las temperaturas más altas en todo el Estado son abril y mayo, que son los meses inmediatos anteriores al inicio de la temporada lluviosa.

e) *Temperatura mínima*

La temperatura mínima extrema es la más baja que se registra en un lapso determinado; así, la temperatura mínima extrema de un mes cualquiera es la temperatura más baja que se registró en ese mes.

Los datos que se utilizaron son los promedios de las temperaturas mínimas extremas mensuales registradas en el periodo 1960-1969.

Las temperaturas mínimas promedio se analizaron por medio de tres mapas, uno de promedios anuales, otro utilizando las mínimas del mes de enero y otro de mínimas absolutas del periodo.

La isoterma de 5°C, en el mapa de mínimas promedio anual (figura 9), divide al Estado en dos amplias regiones: la zona norte y oriente, con temperaturas inferiores a 5°C. y la suroeste, donde son superiores a esta cantidad y en algunas regiones mayores de 10°C. Dentro de la primera zona debe hacerse notar que las regiones altas de la Sierra de Chichinautzin y la Sierra Nevada tienen temperaturas mínimas inferiores a cero grados, y a mayor altitud, sobre el Popocatépetl, son inferiores a −5°C.

Las temperaturas mínimas de enero (figura 10) siguen una distribución semejante; las superiores a 10°C forman una zona que abarca las lagunas del Rodeo y Coatetelco y se prolonga hacia el sur hasta el poblado de Tilzapotla. Hacia el norte del Estado, en cambio, las temperaturas disminuyen en relación directa con la altitud.

La temperatura mínima absoluta (figura 11) resulta al determinar la temperatura más baja entre todos los meses del periodo que se estudia. Según el mapa de distribución de estas temperaturas, existe un área con temperatura inferior a cero grados al sureste del Estado, hacia los poblados de Tepalcingo y Tlacualera, además, de la región norte donde las mínimas registradas fueron menores de −8°C, en el poblado de Tres Cumbres.

En el Popocatépetl se registran temperaturas menores de −10°C, a altitud superior a 4 000 m, en la zona de nieves perpetuas, pero no hay ninguna estación meteorológica en estas laderas.

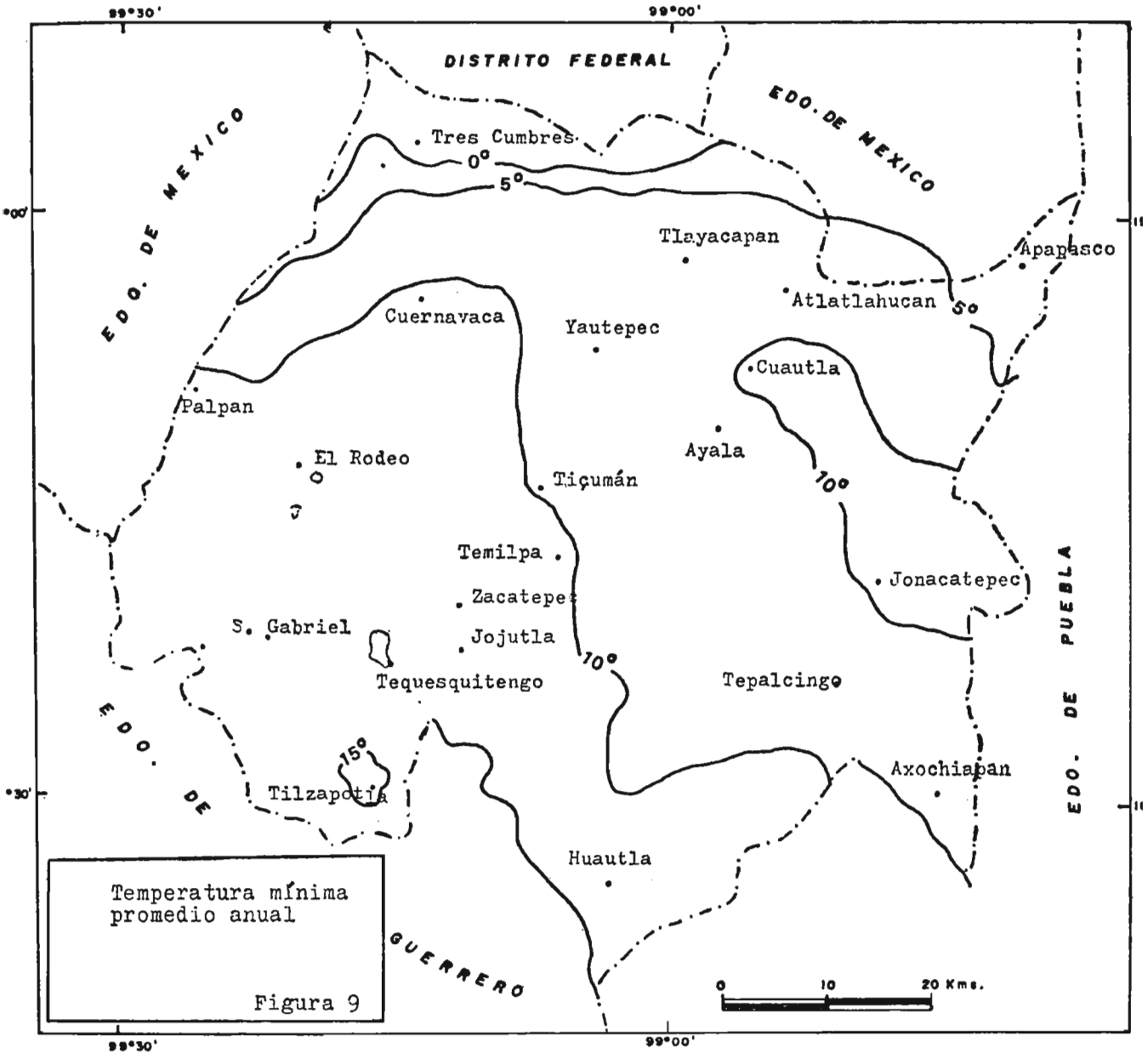
La única estación localizada a mayor altitud de 3 000 m es Campamento Hueyatlaco, a 3 557 m, en las laderas occidentales del Iztaccíhuatl; sus datos fueron utilizados para calcular el gradiente térmico que resultó ser de 0.49°C por cada 100 m de altitud. En esta zona se observa, además, que las oscilaciones de la temperatura se van haciendo menores a medida que la altitud aumenta.

Para determinar las condiciones reinantes en las altas montañas del centro de México, García (1973) empleó promedios de gradientes térmicos, temperaturas y altitudes, así como promedios de temperaturas mínimas medias y mínimas extremas a 4 000 m de altitud. A esa altura estas temperaturas están continuamente por abajo o cerca de cero grados, aun en los meses más calientes del año; por consiguiente, por lo menos en ciertas horas del día hay hielo en el terreno, impidiendo el desarrollo de la vegetación arbórea.

f) *Marcha anual de las temperaturas máxima y mínima*

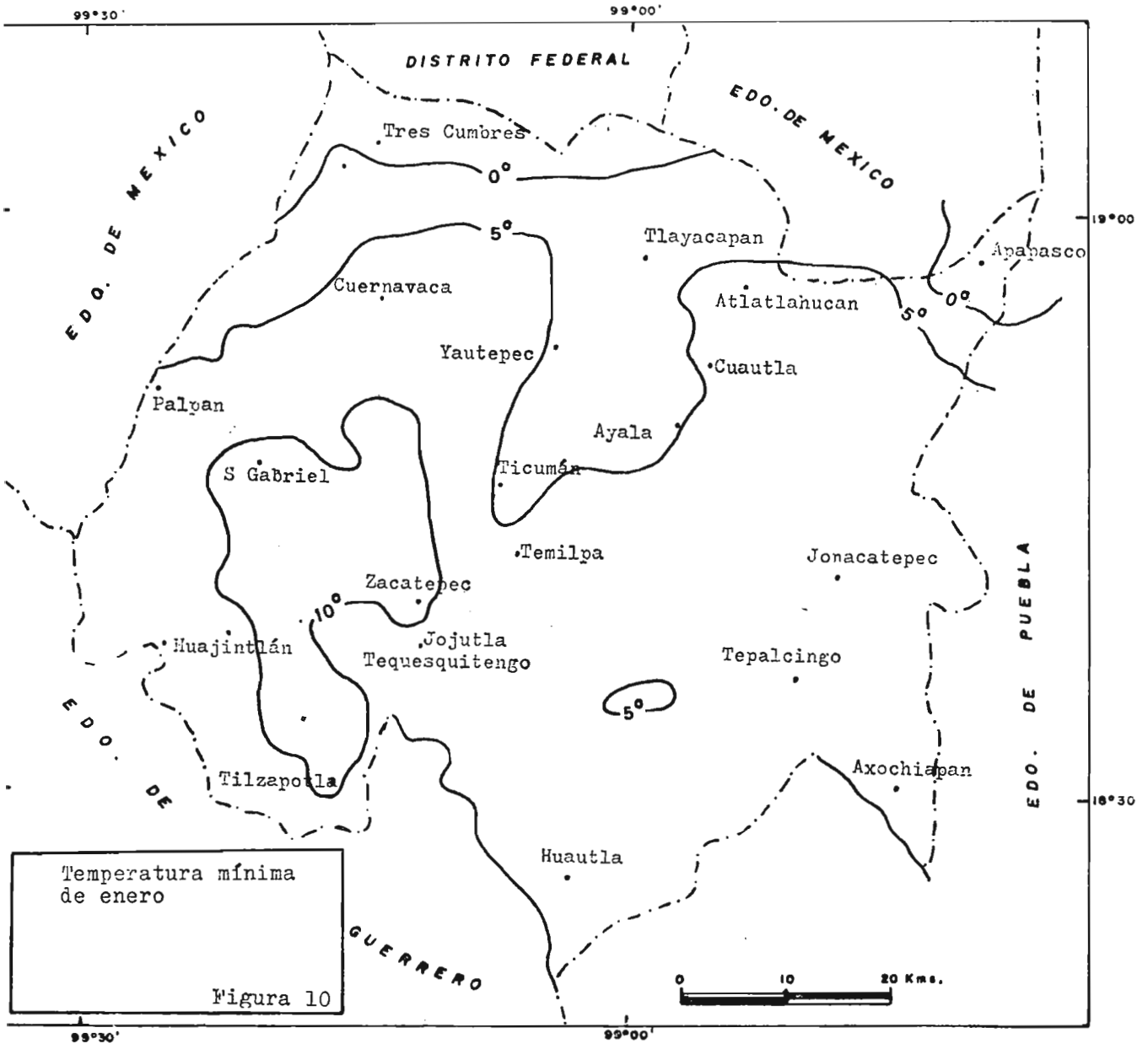
La figura 12 corresponde al mapa que muestra la marcha de las temperaturas máxima y mínima mensual promedio. Se marcan en cada gráfica los meses que abarcan la época de siembra de temporal.

Se observa en todas las estaciones que las temperaturas más elevadas se presentan durante los meses de marzo, abril y mayo,



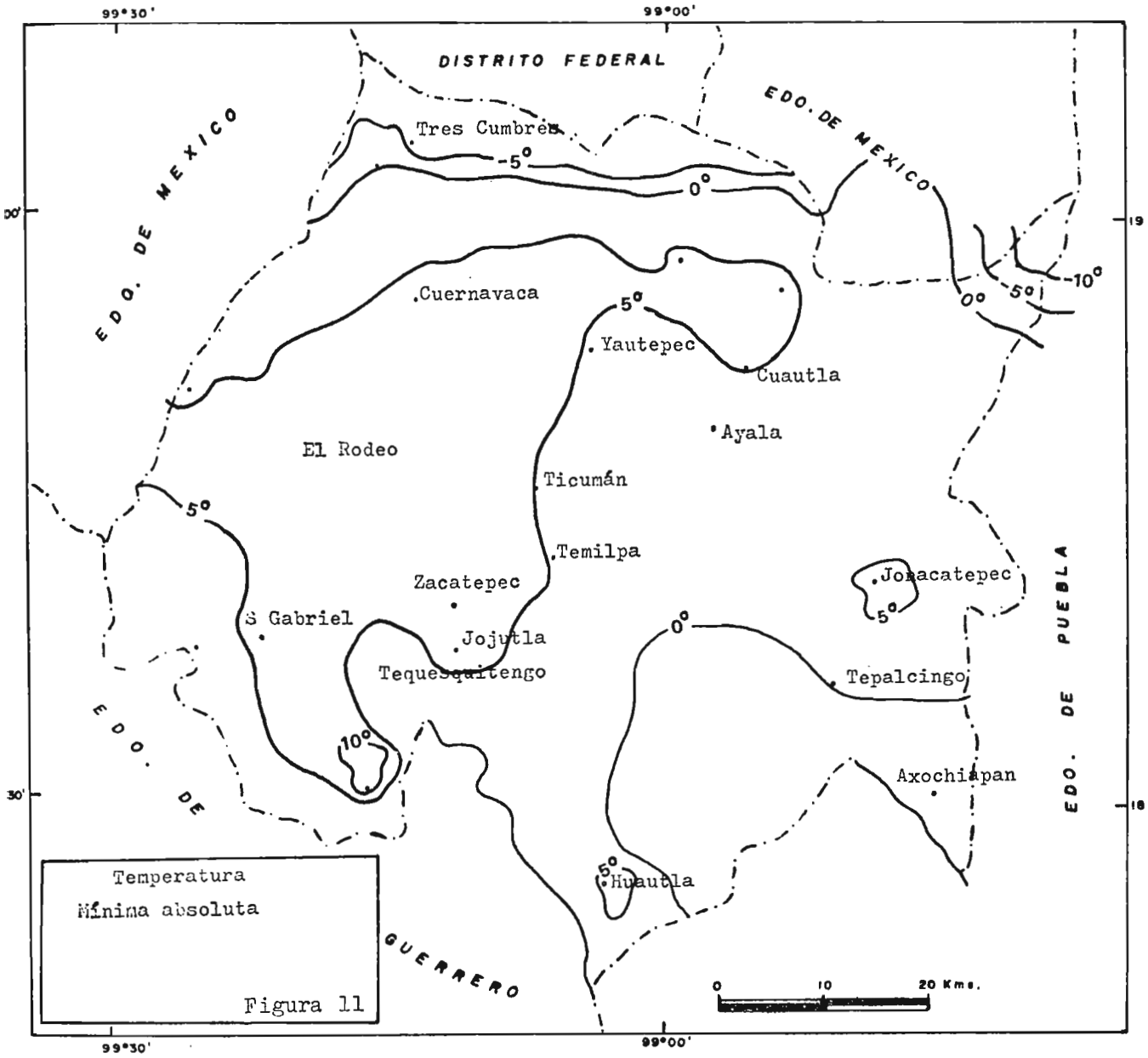
Temperatura mínima promedio anual

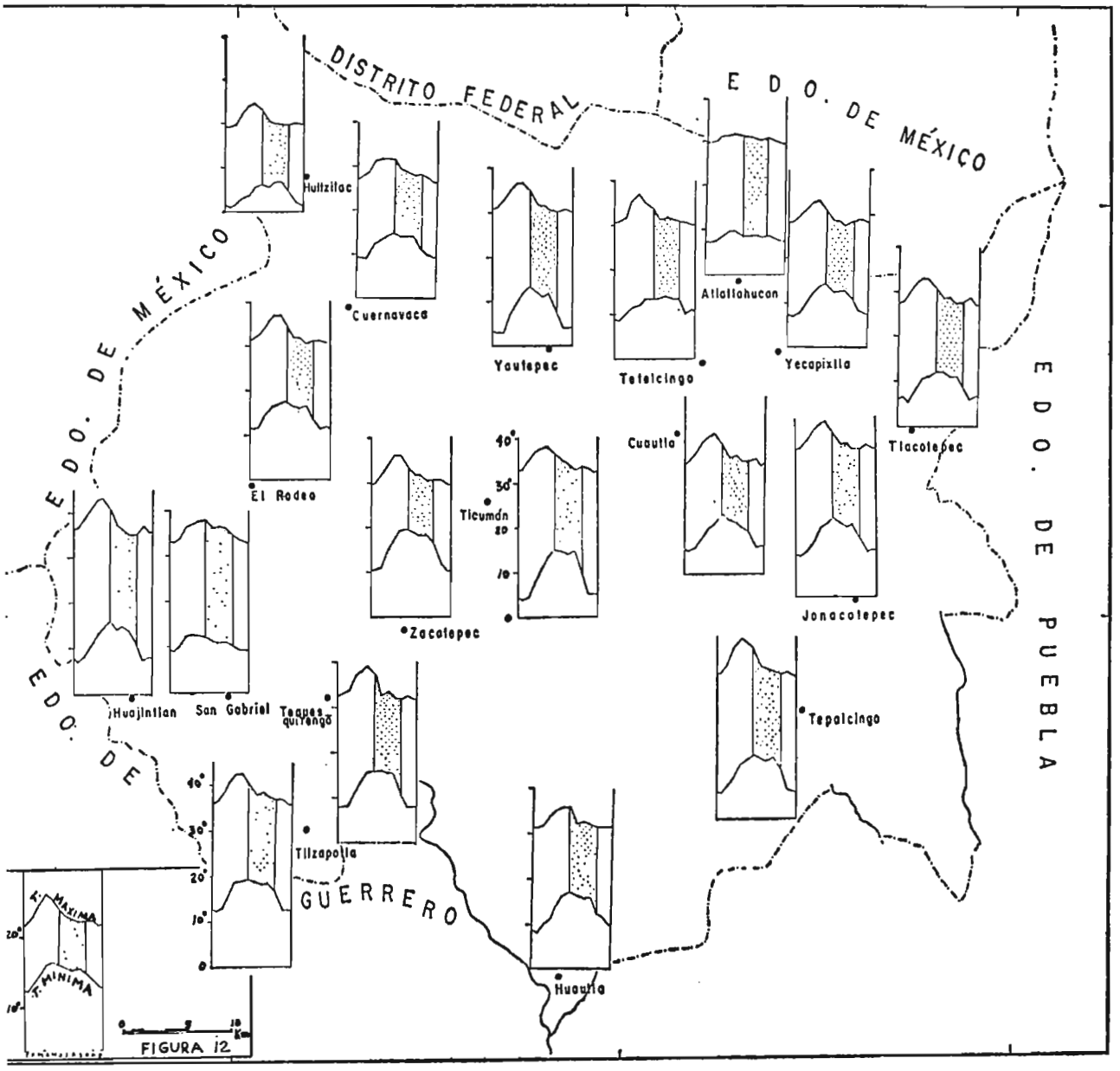
Figura 9



Temperatura mínima de enero

Figura 10


99°30'
99°00'
DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
Tres Cumbres
-5°
0°
Cuernavaca
5°
Yautepec
Cuautla
Ayala
El Rodeo
Ticumán
Temilpa
Zacatepec
Jojutla
Tequesquitengo
S Gabriel
Jonacatepec
Tepalcingo
Axochiapan
Huautla
10°
0°
5°
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
Temperatura
Mínima absoluta
Figura 11
0
10
20 Kms.


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE
GUERRERO
Huitzilac
Cuernavaca
Yautepec
Tetelcingo
Atlatlahucan
Yecapixtla
Tlacotepec
El Rodeo
Ticumán
Cuautla
Jonacatepec
Zacatepec
Huajintlan
San Gabriel
Tepalcingo
Tilzapotla
Huautla
T. MAXIMA
T. MINIMA
FIGURA 12

mismos que corresponden al primer paso del Sol por el cenit del lugar, anteriores al comienzo del periodo de lluvias; las dos curvas de la gráfica registran un marcado ascenso, para decrecer en el mes de junio y continuar bajando durante el periodo lluvioso, ascender ligeramente o estacionarse en agosto, época del segundo paso del Sol por el cenit, y luego bajar considerablemente en invierno.

La oscilación de la temperatura está representada por la distancia entre la curva de temperatura máxima y la de temperatura mínima. Esta distancia es variable entre las estaciones meteorológicas; por ejemplo, en Huajintlán y San Gabriel la oscilación en invierno, entre las dos temperaturas que aquí se estudian, está cercana a 30°C; en la mayor parte de las estaciones es de 25°C y menor de 20°C en Huajintlán, El Rodeo, Cuernavaca, Yecapixtla y Tlacotepec.

Durante los meses de verano hay disminución de las temperaturas máximas, debido a que se presentan las lluvias.

Las temperaturas mínimas siguen el mismo ritmo de aumento que las máximas; se presentan las mayores en primavera y verano y disminuyen en otoño e invierno. En Huitzilac y Atlatlahucan, las mínimas se mantienen durante todos los meses del año bajo los 10°C, la primera de estas estaciones se localiza a 2 600 m de altitud, en las estribaciones de la Sierra del Chichinautzin.

En general, las curvas que representan la temperatura mínima llegan, en algunos de los lugares más cálidos del Estado, a 20°C como máximo, durante la primavera. Por ejemplo, en Tilzapotla y Zacatepec; mientras que las demás estaciones se mantienen, en estos mismos meses calientes del año, en valores alrededor de 15°C.

V. Precipitación

a) *Precipitación media anual*

La cantidad de precipitación de un lugar depende del vapor de agua que la atmósfera contenga, según la época del año, y de la topografía del terreno (presencia de barreras montañosas) que permitirá o no la libre transportación de la humedad, por medio de los vientos, hacia el interior del país; el ascenso orográfico y los movimientos convectivos del aire.

En Morelos se aprecia claramente la influencia de la orografía, en efecto, se observa en el mapa de isoyetas anuales (figura 13), que las estribaciones elevadas de la Sierra de Chichinautzin y del Popocatépetl representan los lugares de mayor cantidad de lluvia del Estado, ya que reciben precipitaciones superiores a 1 200 mm anuales.

Una franja con precipitación entre 1 000 y 1 200 mm. cruza el Estado en su parte norte y abarca las porciones más bajas de las faldas de la Sierra de Chichinautzin y del Popocatépetl. En esta zona quedan incluidas poblaciones como Cuernavaca, Tepoztlán, Tlalnepantla, Tlayacapan, Atlatlahucan y Tlacotepec; esta franja recurva en el extremo occidental del Estado, abarcando las faldas de la Sierra de Huitzuco, al suroeste; cubre la parte más alta de los municipios de Coatlán del Río, Tetecala, Amacuzac y Tilzapotla.

Recibe precipitación anual inferior a 1 000 mm, toda la zona central y sur del Estado, exceptuando el valle de Ticumán y el extremo sureste de los municipios de Jantetelco y Axochiapan, con cantidades menores de 800 mm.

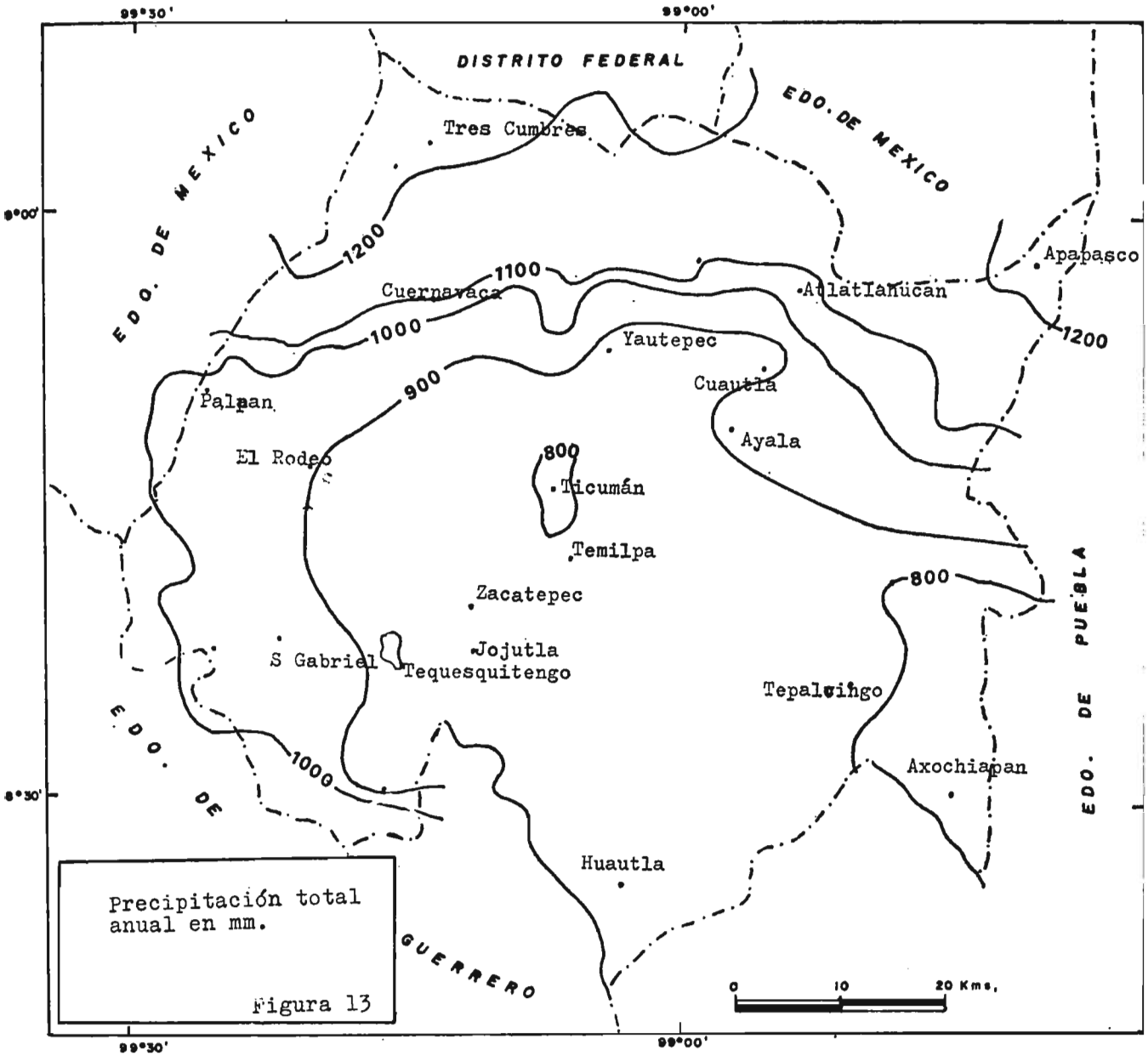
Puede afirmarse, en resumen, que las regiones agrícolas de Morelos se localizan en áreas con precipitaciones que van de 800 a 1 000 mm anuales, por promedio.

Todo el Estado presenta régimen de lluvia de verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5% de la total anual. Esta característica está indicada en el tipo de clima, con el símbolo w (w), de la clasificación de García (8).

La presencia de las lluvias se debe a que, por su latitud, la región se encuentra en la zona del dominio de los vientos alisios del hemisferio norte, que se cargan de humedad en el Golfo de México y se libera en forma de lluvia; parte de la precipitación obedece a que la Zona Intertropical de Convergencia del hemisferio norte, es decir, donde se encuentran los alisios del norte con los del sur, suele desplazarse hasta la latitud del Estado que nos ocupa. Es importante también, como factor productor de lluvia, la convección provocada por insolación. En las fotos de satélite meteorológico 1969-70 se nota que la zona ITC se desplaza hasta la cuenca del Balsas (García, comunicación oral).

Además, las tormentas ciclónicas del Pacífico, aunque menores que las del Golfo de México, aportan suficiente humedad durante la mitad caliente del año, pues influyen hasta esta región de la República Mexicana.

Durante la época invernal no es remota



Precipitación total anual en mm.

Figura 13

la invasión de "nortes" que, por haber adquirido suficiente profundidad son capaces de tramontar las barreras montañosas y producir en la zona alguna precipitación.

Dentro de la temporada lluviosa que comprende los meses de mayo a septiembre suele presentarse la llamada canícula, sequía intraestival o sequía de medio verano. Es ésta una temporada relativamente seca en medio de la época lluviosa. La sequía intraestival ocurre, según Mosiño y García (1968), debido a la presencia de una vaguada polar que bloquea la entrada de los alisios y de los ciclones tropicales en el lado del Golfo de México, lo que se manifiesta por merma en la precipitación.

Debido a que este fenómeno es de importancia para la agricultura, pues se presenta en los meses de la siembra de temporal, el periodo que abarca la sequía intraestival se marcó en las gráficas de distribución de la precipitación media mensual que aparecen en la figura 14. La disminución de la lluvia se presenta generalmente durante el mes de julio, cuando se aprecia una baja en la cantidad media mensual de precipitación, la que vuelve a aumentar en agosto. En las estaciones Huautla y Cuautla la duración de la sequía intraestival es más larga, pues comprende los meses de julio y agosto, registrando aumento de lluvias en septiembre. Conviene mencionar que la sequía intraestival aquí mencionada no corresponde a años individuales, sino es un promedio del periodo considerado, en el cual puede haber años sin ella, o años en los cuales sea muy intensa.

La porción achurada de las gráficas representa la disminución de la lluvia respecto a los dos máximos de precipitación del año. Las estaciones Cuernavaca y Tepalcingo no registraron el fenómeno en el periodo considerado.

b) *Intensidad de la lluvia*

La figura 15 muestra las curvas de intensidad media de la lluvia, que fueron trazadas para estaciones seleccionadas en el Estado. Esta variable resulta al dividir la cantidad total de lluvia correspondiente a un periodo dado, entre el número de días con precipitación apreciable. En este caso, el periodo empleado fue el total de lluvia para cada uno de los meses y el número de días con precipitación apreciable cada mes.

La intensidad resultante corresponde al promedio de lluvia de un día con precipitación y es una característica significativa del clima, ya que la lluvia muy intensa puede lesionar seriamente los cultivos. Debido a que la precipitación presenta gran variabilidad, la intensidad varía también de un mes a otro, así como entre las estaciones meteorológicas. La intensidad es mayor en los meses que corresponden a la época lluviosa: mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Las estaciones Palpan, Cuernavaca, El Rodeo y San Gabriel presentan dos máximos, generalmente en mayo y agosto o septiembre.

Es importante, asimismo, el máximo secundario que en todos los lugares se registra durante el mes de enero o febrero y muestra la presencia de los "nortes" en la época de invierno.

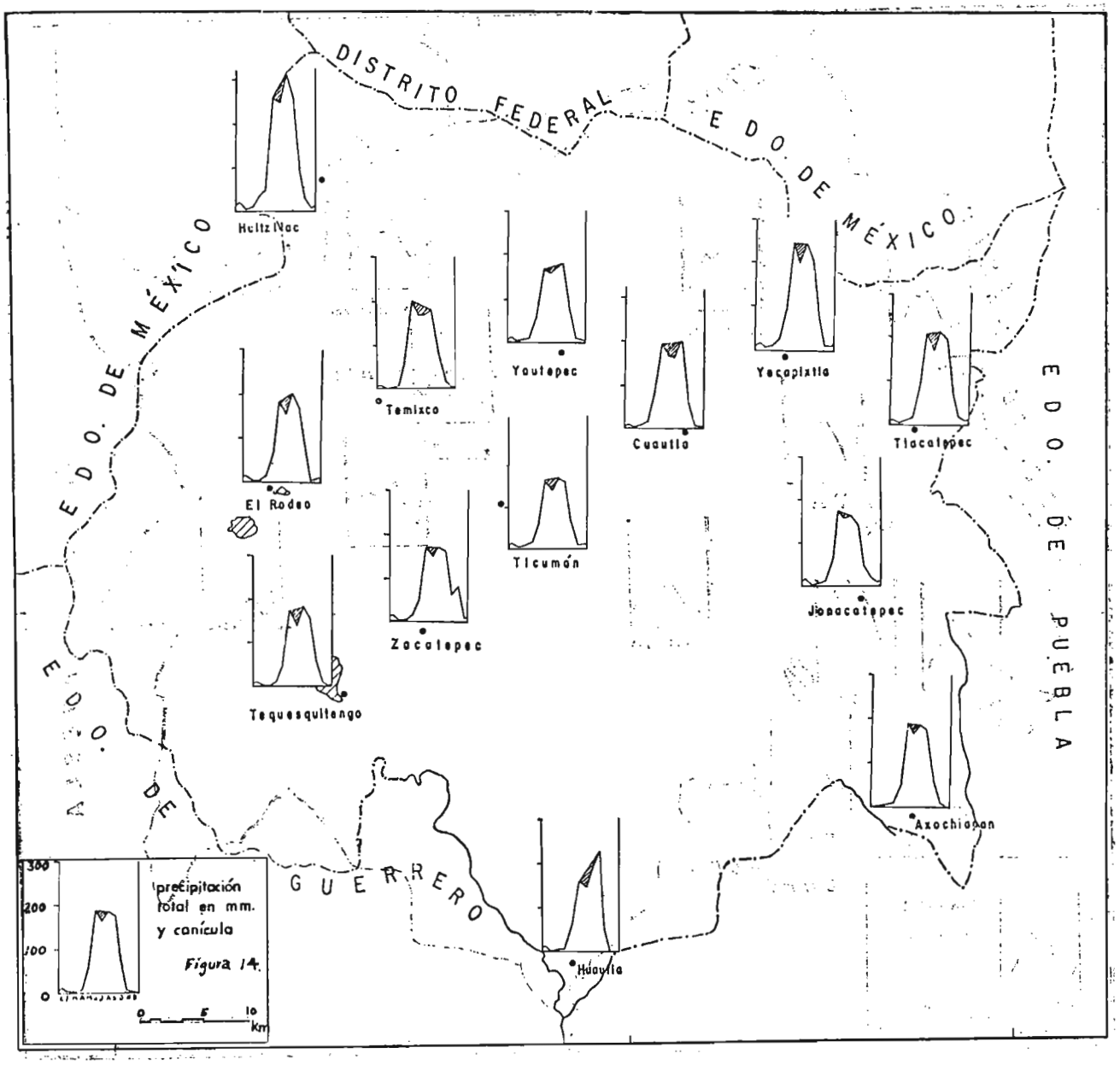
Como puede apreciarse, la intensidad es muy variable en las diferentes estaciones meteorológicas; San Gabriel registra la máxima intensidad en el Estado. Las lluvias de menor intensidad corresponden a las estaciones Tetelcingo y Zacatepec.

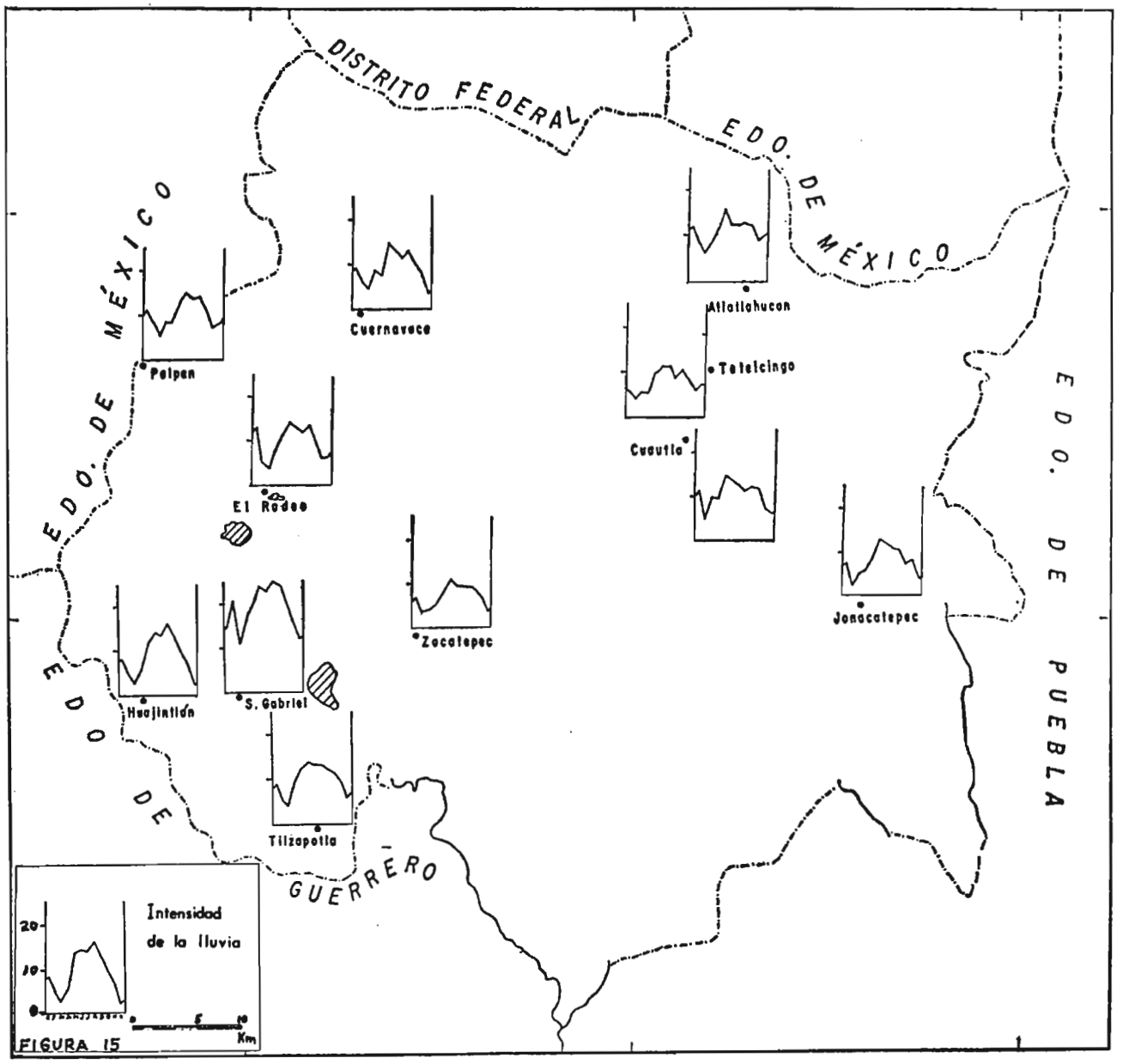
c) *Precipitación y número de días nublados*

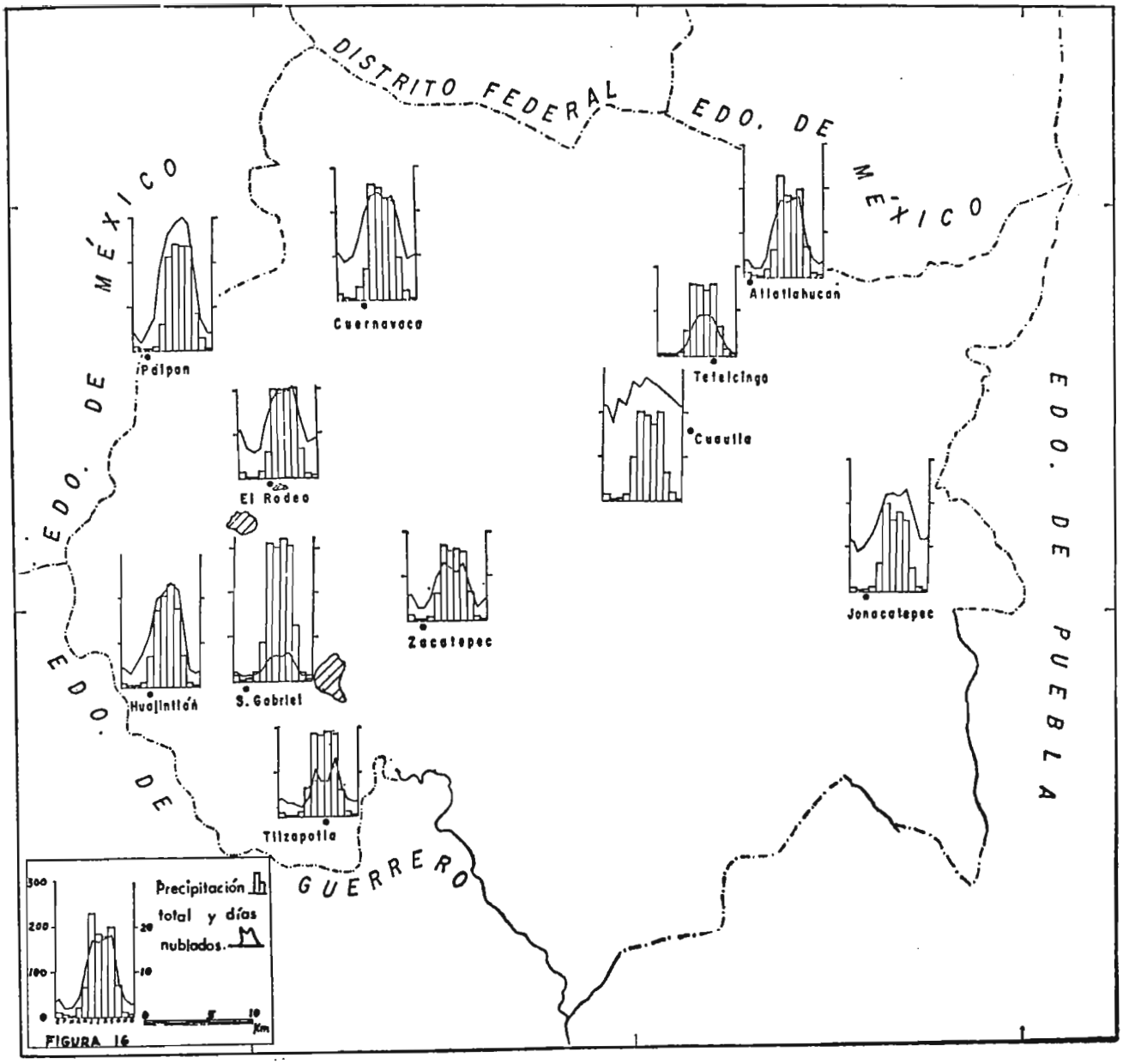
El mapa 16 muestra las gráficas que se trazaron para relacionar la precipitación total mensual en milímetros (barras) y el número de días nublados (curvas), para los mismos periodos en diferentes lugares del Estado.

Se observa importante correlación entre las dos variables, coincidiendo sus máximos con los meses lluviosos: junio, julio, agosto y septiembre. Las estaciones de Cuautla, Palpan y Jonacatepec presentan la curva de días nublados más alta del Estado.

En Palpan y Jonacatepec la curva de número de días nublados presenta un sólo máximo y coincide con los meses lluviosos;


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
Huitzilac
Temixco
Yautepec
Cuautla
Yecapixtla
Tlacotepec
El Rodeo
Tlaquiltenango
Zacatepec
Tlaltizapan
Jojutla
Tequesquitengo
Axochiapan
Huautla
300
200
100
0
precipitación total en mm. y canícula
Figura 14.
0
5
10
km


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE PUEBLA
EDO DE GUERRERO
Pelpan
Cuernavaca
Atlatlahucan
Tetelcingo
Cuautla
El Rodeo
Zacatepec
Jonacatepec
Huajintlán
S. Gabriel
Tilzapotla
Intensidad de la lluvia
20
10
0
5
10
Km
FIGURA 15


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
Cuernavaca
Atlatlahucan
Tetelcingo
Cuautla
Jonacatepec
Pálpan
El Rodeo
Zacatepec
Huajintlán
S. Gabriel
Tilzapotla
Precipitación total y días nublados.
300
200
100
0
20
10
0
5
10
Km
FIGURA 16

en Cuautla, en cambio, la curva es bastante irregular a lo largo del año y presenta valores grandes en todos los meses (quizá haya error en los datos meteorológicos, o las nubes son altas).

En las estaciones Cuernavaca, Zacatepec y Tilzapotla se presentan dos máximos en la curva de días nublados que corresponden a los meses de junio a septiembre. El primero es el mes en que se generalizan las lluvias y el segundo aun registra cantidad importante de lluvia, para luego disminuir en octubre.

La estación que registra mayor cantidad de precipitación es San Gabriel; su curva de número de días nublados es inferior al resto de las estaciones, lo que podría indicar la presencia de lluvias torrenciales y baja nubosidad, como indica la curva de intensidad de la lluvia que es la más alta del Estado (figuras 14 y 15). Por otra parte, podría ser que las nubes que se forman sobre las sierras cercanas derivaran, más tarde, sobre el lugar.

d) *Precipitación apreciable y precipitación inapreciable*

Las gráficas que registran las variables mencionadas aparecen en la figura 17. Las barras representan el número de días con precipitación apreciable; es decir, en los cuales el pluviómetro registró más de 0.1 mm de lluvia; la línea continua marca, en cambio, el número de días de cada mes, en que se presentó lluvia inferior a ese valor.

Es decir, indica el número de días con precipitación inapreciable.

No obstante, para las necesidades de humedad de las plantas, la lluvia inapreciable resulta de importancia debido a que el aumento en la humedad del ambiente influye directamente en su crecimiento; el hecho de presentarse precipitación inapreciable señala que la humedad fue suficiente para saturar la atmósfera al nivel de las nubes.

Las estaciones Cuernavaca, Palpan, San Gabriel, Zacatepec, Jojutla y Tilzapotla registran hasta cuatro o más días con lluvia inapreciable al mes, por varios meses. Este fenómeno resulta más importante cuando se presenta en los meses anteriores a la temporada de lluvia, o al iniciarse ésta; por ejemplo, en Tilzapotla el mayor número se presenta en los meses de mayo y junio. La estación El Rodeo registra el máximo en el mes de abril. Generalmente las siembras se efectúan a fines de mayo o principios de junio, y tal vez la lluvia inapreciable no tiene para ellas mucha importancia, pero sí la tiene en cultivos perennes, huertos y pastos naturales, por ejemplo.

Se trazó también el mapa de isolíneas del número de días con precipitación inapreciable, que aparece como figura 18; en él se observan claramente dos zonas de máxima; la primera corresponde a la región Yautepec-Ticumán, cuya presencia se debe seguramente a que la Sierra de Yautepec o Tetillas intercepta la humedad y fomenta el levantamiento orográfico, por lo que el número de días con precipitación inapreciable resulta superior a 50 en el año.

La segunda región, Cuernavaca-Palpan, registra más de 30 días anuales con precipitación inapreciable y se localiza en el declive sur de las sierras de Ocuilan y Chalma.

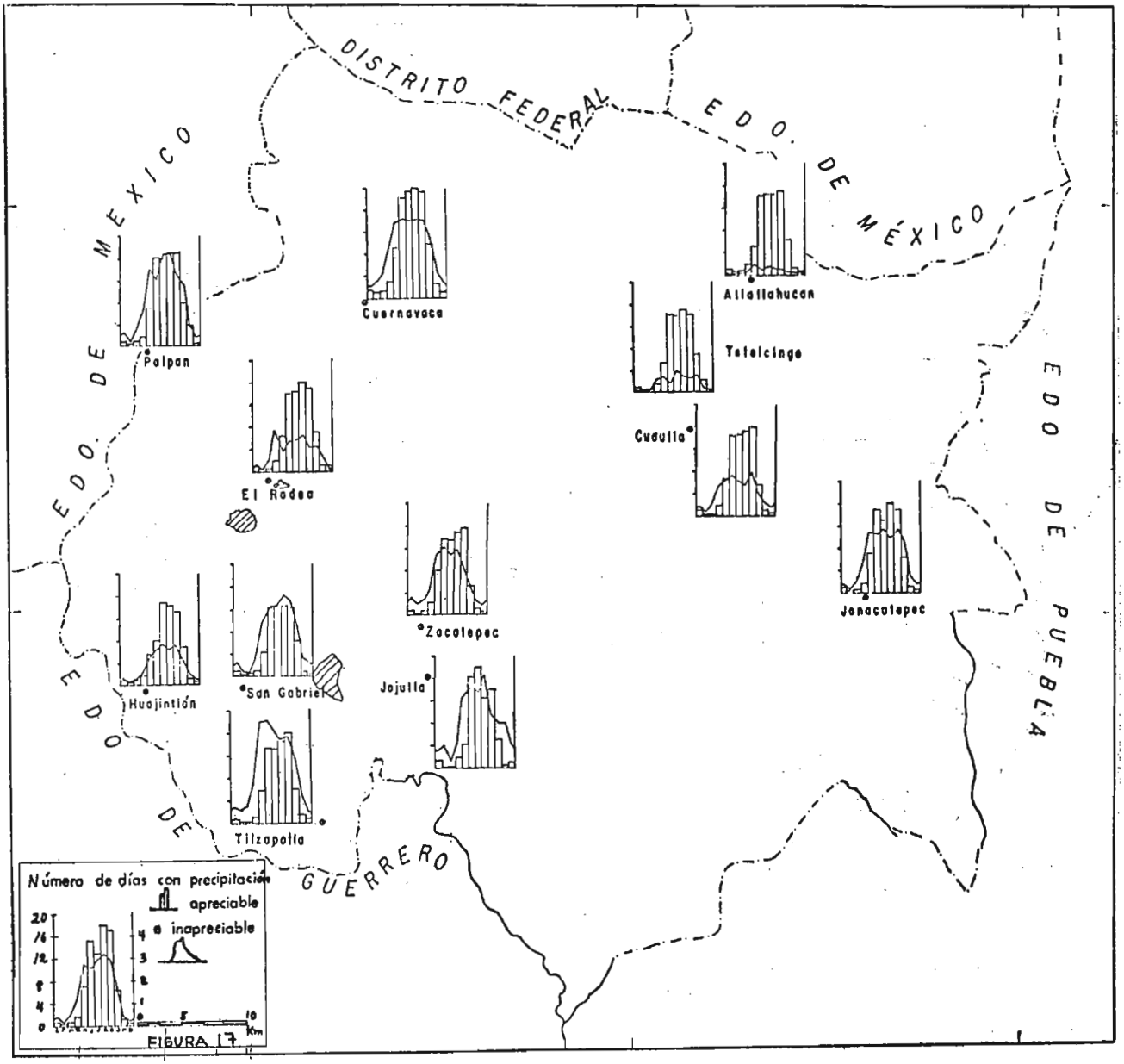
Hacia el sur, Tlacualera y Tilzapotla registran 20 días anualmente, mientras que, al centro del Estado sólo 10 días, y en la porción norte la cantidad es inferior a ese número.

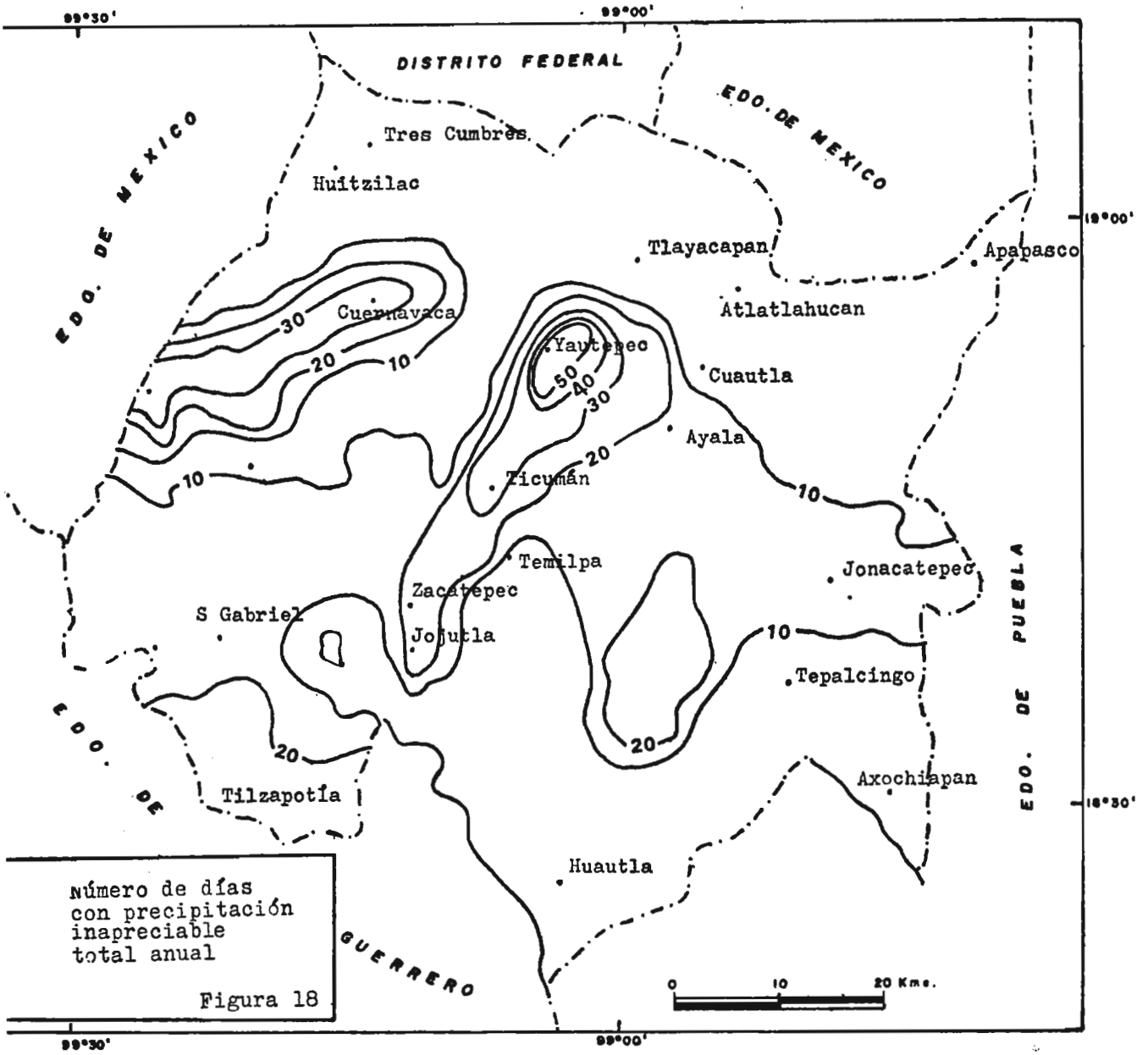
e) *Días despejados*

Se presenta en seguida la figura 19 que contiene las gráficas correspondientes a la variable número de días despejados para cada mes del año.

Se aprecia que la curva anual muestra los máximos en los extremos, o sea durante los meses más secos del año: noviembre a abril.

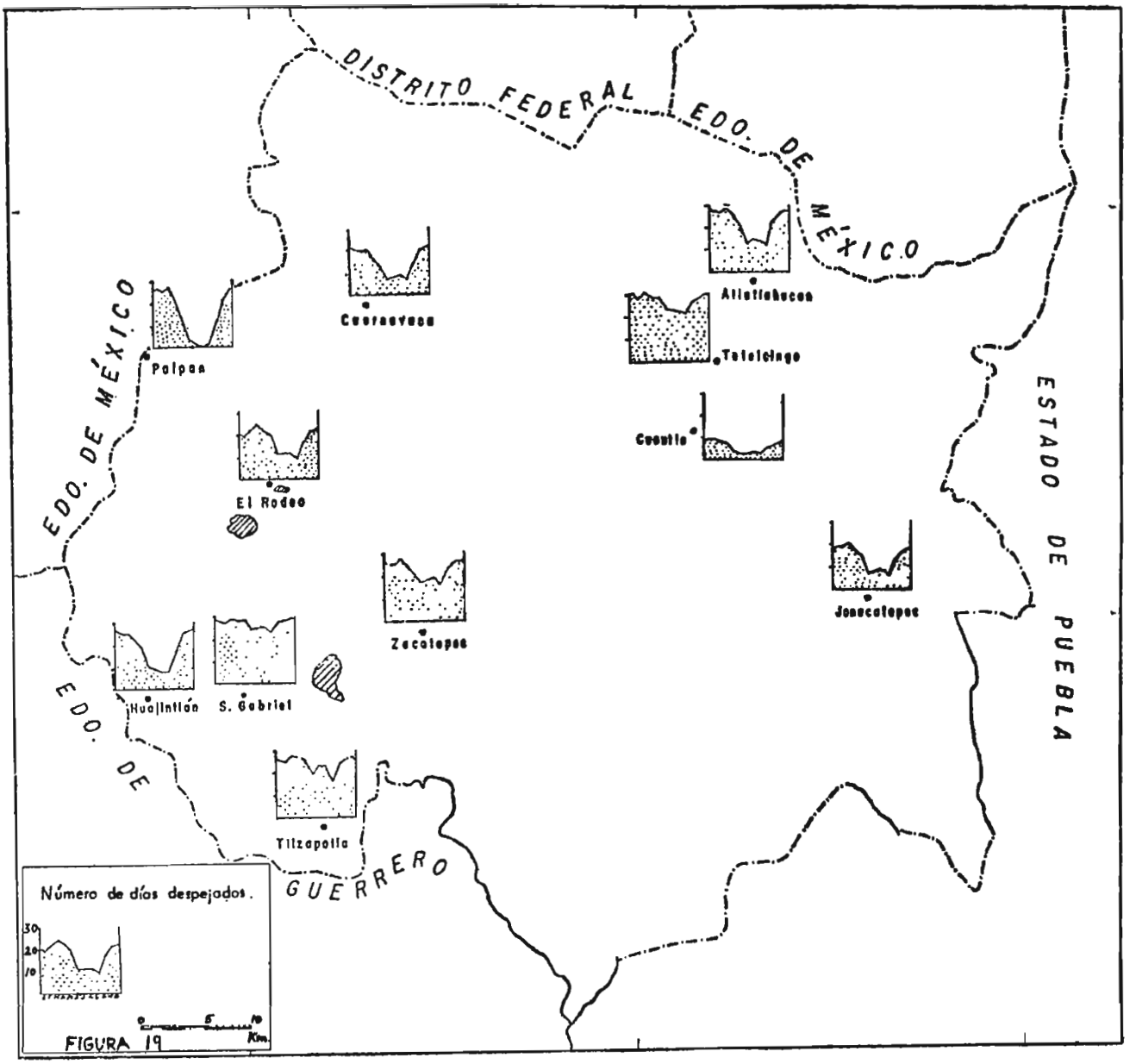
Desgraciadamente no se cuenta con datos de insolación, o sea número de horas de sol que resultarían idóneas para hacer la relación con el número de días despejados.


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
EDO DE PUEBLA
EDO DE GUERRERO
Palpan
Cuernavaca
Atlatlahucan
Tetelcingo
Cuautla
El Rodeo
Zacatepec
Jonacatepec
Huajintlán
San Gabriel
Jojutla
Tilzapotla
Número de días con precipitación
apreciable
inapreciable
20
16
12
8
4
0
4
3
2
1
0
5
10
Km
FIGURA 17



Número de días con precipitación inapreciable total anual

Figura 18


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
ESTADO DE PUEBLA
EDO. DE GUERRERO
Cuernavaca
Atlatlahucan
Tetelcingo
Cuautla
Palpan
El Rodeo
Zacatepec
Jonacatepec
Huajintlán
S. Gabriel
Tilzapotla
Número de días despejados.
30
20
10
0
5
10
Km.
FIGURA 19

Pero es interesante observar que, para estaciones tan lluviosas como San Gabriel, Zacatepec y El Rodeo, el número de días despejados se mantiene alto a lo largo del año; en cambio, en la estación Palpan no hay días despejados durante los meses lluviosos: junio a septiembre.

En la estación Cuautla el número de días despejados se mantiene muy bajo durante todos los meses del año; esto quizá se debe a que durante la hora en que se realiza la observación meteorológica el cielo está más de 2/3 partes cubierto de nubes o, lo que es lo mismo, con mucha frecuencia amanece nublado.

Debe tenerse en cuenta que se registra como *día nublado* aquel que muestra más de 2/3 partes de la bóveda celeste cubierta de nubes, a la hora de la observación.

Día medio nublado, cuando la cantidad de nubes cubre una a dos terceras partes del cielo.

Día despejado, cuando hay ausencia de nubes o éstas cubren menos de la tercera parte de la bóveda celeste.

f) *Precipitación total y evaporación*

La figura 20 contiene las gráficas de precipitación media mensual, en forma de barras, y en forma lineal aparece representada la evaporación total medida en tanques clase 4, para cada uno de los meses. De este modo es posible comparar con más facilidad las dos variables.

Obsérvese que en todas las estaciones la máxima evaporación se presenta en los meses inmediatos anteriores a la temporada de lluvia, o sea en la primavera; en cambio, en los meses lluviosos del verano se ve claramente cómo la evaporación se abate debido, sin duda, al aumento de la nubosidad y de humedad en el aire, lo que evita en cierto grado la insolación, misma que es la base de la evaporación.

En los meses de otoño, generalmente, la evaporación se conserva baja, con tendencia a disminuir, pero en algunos casos tiende a aumentar, por ejemplo, en Cuernavaca, Cuautla y Yecapixtla donde, desde luego, no alcanza los niveles de la primavera; pero es interesante observar que se registra cierto aumento en los meses de octubre y noviembre. La evaporación observada en esta época del año excede siempre a la cantidad de precipitación que se recibe.

En los lugares localizados al sur del Estado, es el mes de diciembre el que registra la menor evaporación del año, con excepción de Huautla cuyos datos reportan un súbito ascenso precisamente en diciembre.

La evaporación es una de las variables menos estudiadas, pero tiene importancia primordial para el desarrollo de las plantas, pues no pueden perder demasiada humedad por transpiración, sin detrimento y, desde luego, del rendimiento de sus frutos.

Es interesante observar que en Huitzilac, al norte del Estado, durante los meses de lluvia, la cantidad de agua excedente de la que se evapora es de importancia; en cambio, en estos mismos meses del verano, en estaciones como Ticumán, Zacatepec, Tequesquitengo y, sobre todo, en Tepalcingo, el excedente es mínimo o no existe. Esta característica dará idea de la fuerte necesidad de agua especialmente en la región de Tepalcingo, al sureste del Estado.

g) *Probabilidad de la lluvia*

En el trabajo "Precipitación en la República Mexicana y evaluación de su probabilidad", volumen correspondiente al Estado de Morelos, publicado por CETENAL (1974), se incluyen gráficas mensuales y anuales que relacionan la cantidad de precipitación y la probabilidad de tener esa cantidad o una mayor en cada uno de los meses del año. La figura 21 es una muestra de dichas gráficas, para la estación Cuernavaca. En el eje de las X se muestra la precipitación anual en milímetros, y en el eje de las Y la probabilidad de tener esa cantidad o una mayor. Si, por ejemplo, se desea saber con qué probabilidad tendríamos en dicha estación 800 milímetros de lluvia, o más, buscaríamos la ordenada correspondiente a 800 mm, y sería, 93%.

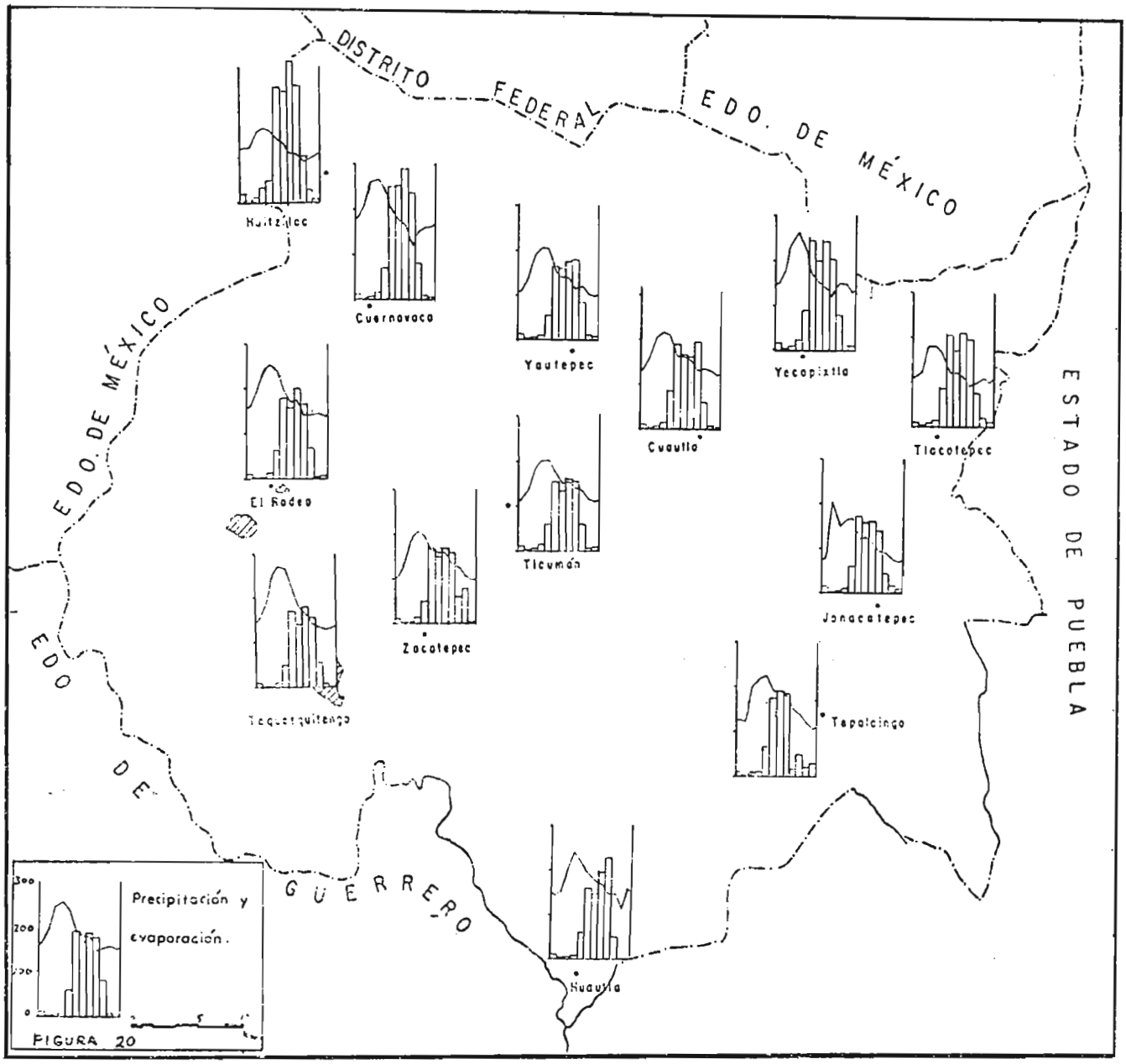

DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MÉXICO
EDO. DE MÉXICO
ESTADO DE PUEBLA
EDO DE GUERRERO
Huitzilac
Cuernavaca
Yautepec
Cuautla
Yecapixtla
Tlaltetelco
El Rodeo
Tlaltizapán
Zacatepec
Jonacatepec
Tepalcingo
Huautla
Precipitación y evaporación.
300
200
100
0

FIGURA 20

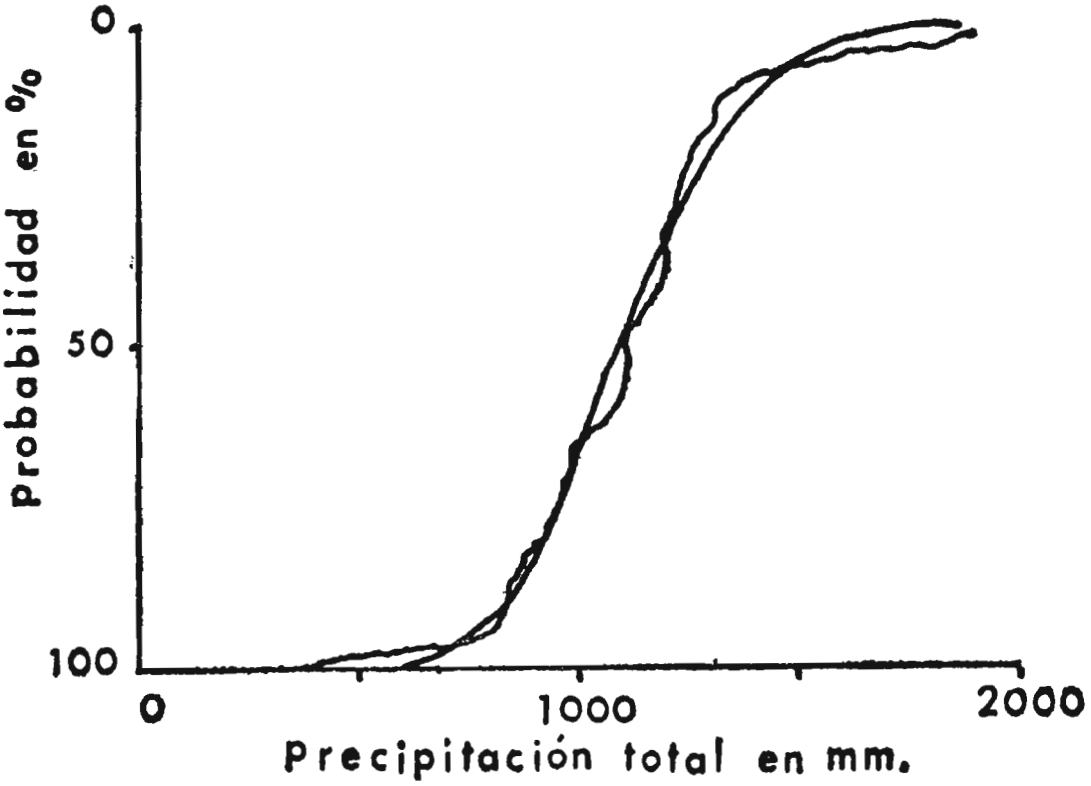

0
50
100
Probabilidad en %
0
1000
2000
Precipitación total en mm.

figura 21

La recíproca es también válida; veamos qué cantidad de lluvia caería en Cuernavaca, con 80% de probabilidad; así, entramos a la gráfica con una ordenada de 80, y la abscisa en el punto de intersección de la primera con la curva da 900 mm o más.

El periodo de observaciones de lluvia en el Estado varía de 16 a 46 años. Si se considera al total de años de registro de cada estación como 100%, puede observarse que el 80% de los años hubo una precipitación igual o mayor que la señalada en la gráfica.

El 80% representa, de hecho, la probabilidad de que en años futuros se presenten las cantidades indicadas o mayores.

Utilizando los valores de la precipitación, que se espera con una probabilidad de 80% para cada una de las estaciones meteorológicas empleadas, se trazaron nueve mapas de isoyetas.

El mapa correspondiente al mes de *mayo* (figura 22) registra zonas de 70 mm de lluvia en la zona norte del Estado, en las partes altas de la Sierra de Chichinautzin y Sierra Nevada; cantidad que va decreciendo primero a 50 y luego a 30 mm, conforme la altitud disminuye. En la zona central del Estado, abarcando el valle de Yautepec y la región de Tetelcingo, se puede asegurar sólo 10 mm de lluvia, con una probabilidad de 80%, al igual que en la pequeña región de Huajintlán, en el suroeste del Estado.

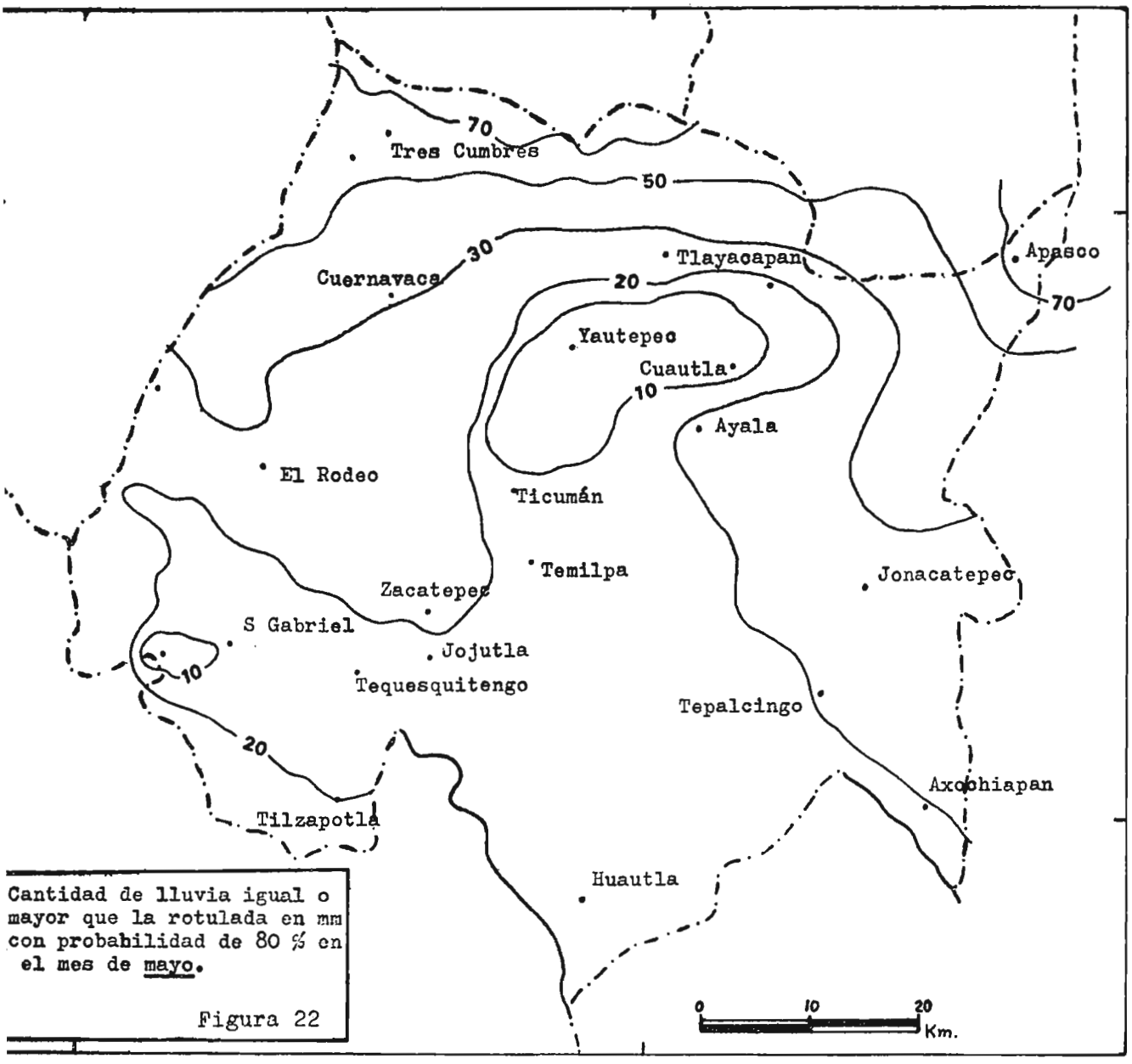
Aunque en mayo principia la temporada de lluvia, se observa en el mapa del mes de *junio* (figura 23), que es durante este mes cuando la temporada se establece ya decididamente. En junio la cantidad de lluvia esperada, con un 80% de probabilidad para el norte del Estado, y las regiones de San Gabriel y El Rodeo, hacia el oeste, es mayor de 150 mm. Para el resto se esperan más de 100 mm, exceptuando dos pequeñas regiones, una hacia el centro, en el valle de Yautepec, donde la cantidad desciende a 50 mm y otra que corresponde al extremo suroeste, abarcando los municipios de Tilzapotla y Amacuzac, en los que se esperan alrededor de 85 mm para el primero, y menos de 50 mm para el segundo.

La situación en el mes de *julio* (figura 24) no varía mucho, la zona norte del Estado tiene probabilidad del 80% de contar con precipitaciones superiores a 150 mm, y el resto del Estado más de 100 mm. En este mes se esperan menos de 100 mm para dos regiones: hacia el sureste, la zona de Tilzapotla y San Gabriel, y al centro los valles de Yautepec y Ticumán, así como los alrededores de Tetelcingo.

Durante el mes de *agosto* (figura 25), la región que espera, con 80% de probabilidad, precipitaciones inferiores a 100 mm, es la más amplia de la temporada de lluvia, y abarca, como se aprecia en el mapa, la mayor parte de los municipios de Yautepec, Cuautla, Ayala, Tlaltizapán y Tepalcingo que se localizan en el centro del Estado. La zona norte del Estado conserva idénticas condiciones a las del mes de julio, representado en el mapa anterior.

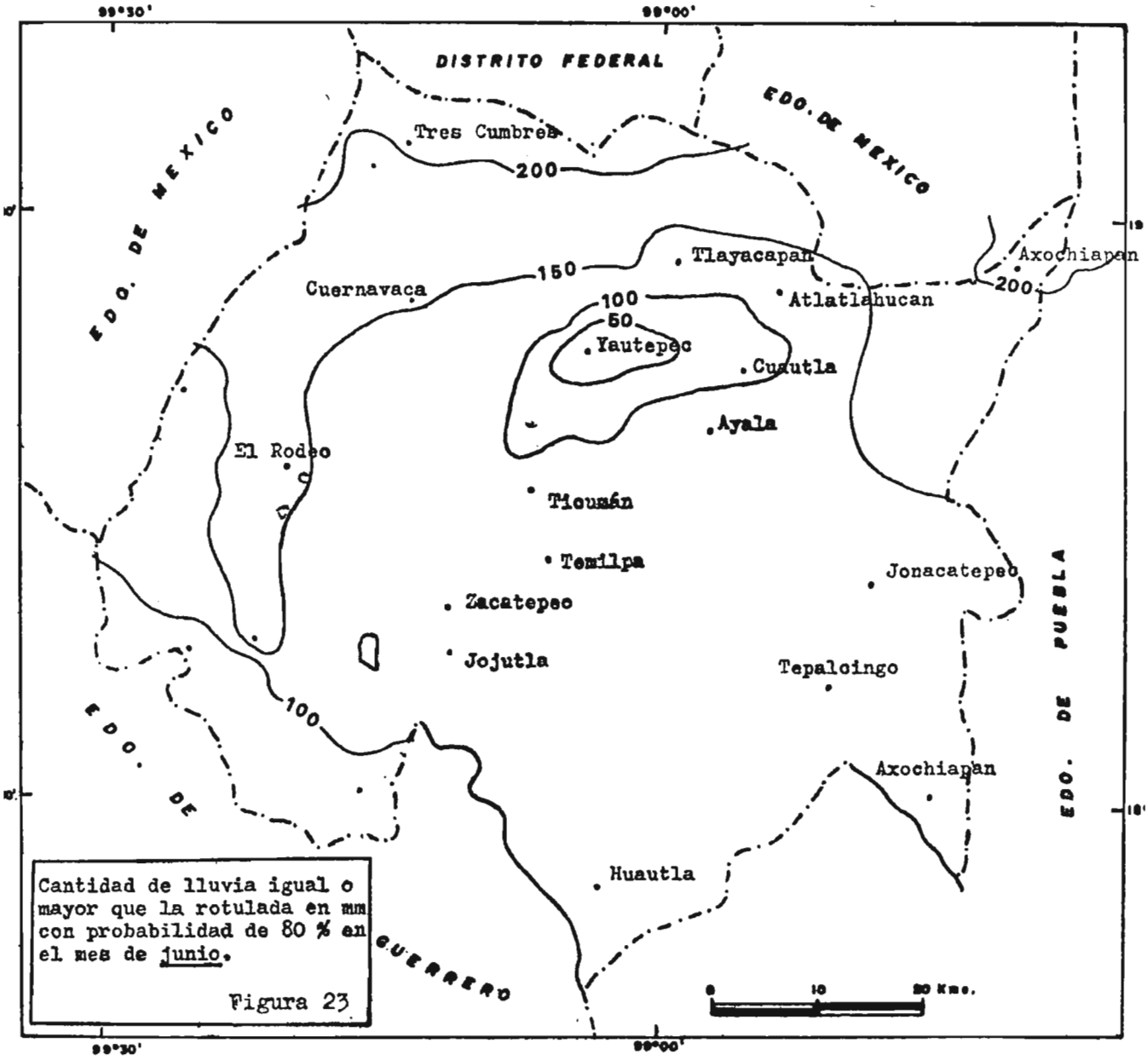
La cantidad de lluvia para el mes de *septiembre* (figura 26) retorna a una distribución semejante a la del mes de julio, con la diferencia de que se esperan menos de 100 mm para Jojutla y Zacatepec, municipios que en los meses anteriores se habían conservado por encima de este valor.

Para completar la temporada lluviosa se trazaron las isoyetas con probabilidad del 80%, correspondientes al mes de *octubre* (figura 27). Los valores que se observan en el mapa vuelven a ser pequeños, como los del mes de mayo; hacia el norte de Cuernavaca, Ocuituco, Tetela del Volcán y Apapasco se esperan precipitaciones superiores a los 40 mm; en lugares localizados a mayor altitud, se esperan cantidades superiores a 60 mm. Hacia el sur de Cuernavaca se extiende una amplia zona que abarca hasta Tlaltizapán, con precipitaciones entre 30 y 40 mm, mientras que los valles de Yautepec, Cuautla y toda la zona sur del Estado sólo tendrá menos de 20 mm. Hay dos pequeñas zonas, una al norte de Cuautla, en Tetelcingo, y otra en el extremo sureste de Axochiapan, donde las lluvias con probabilidad del 80% serán inferiores a 10 mm.



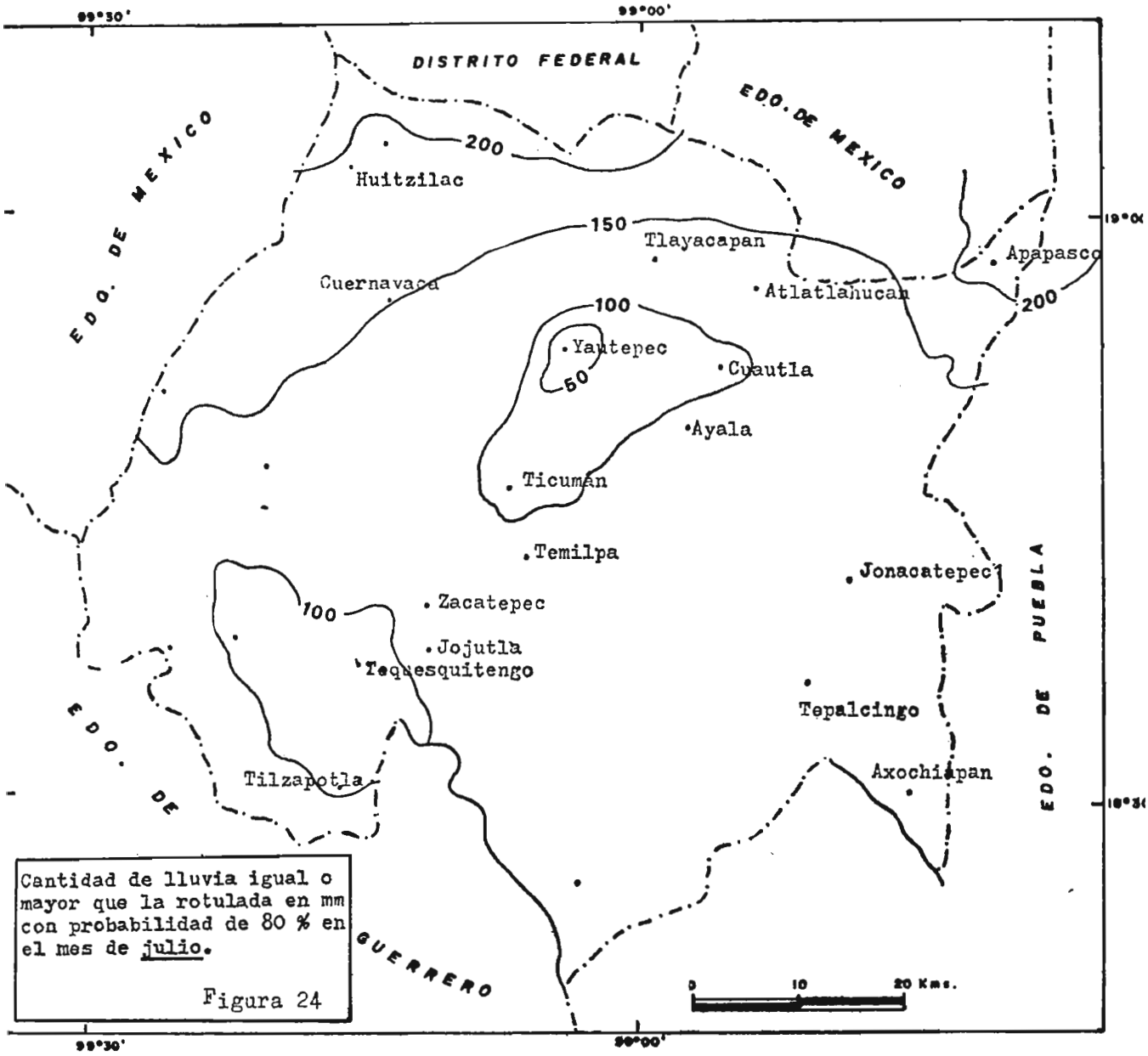
Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de mayo.

Figura 22



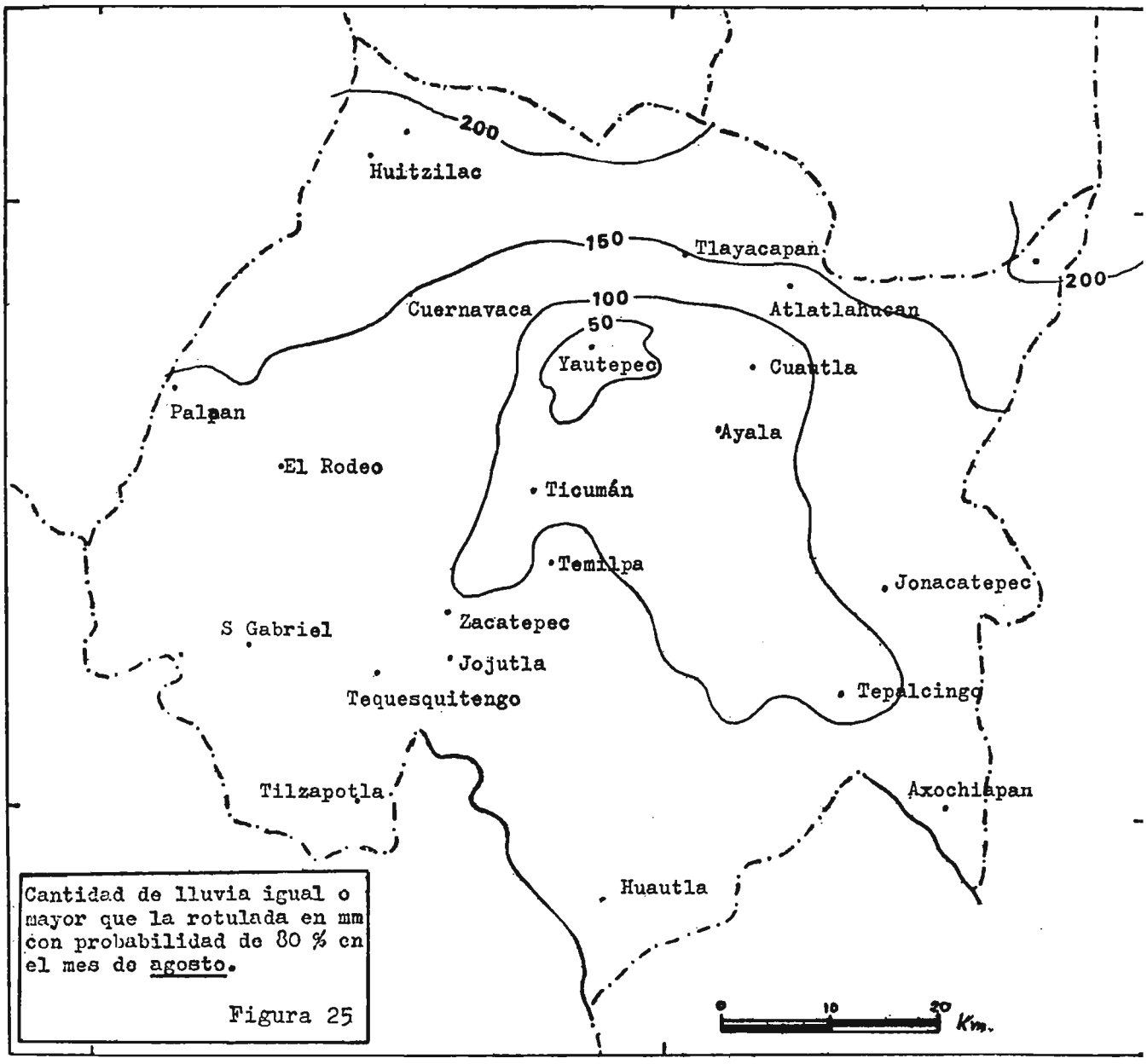
Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de junio.

Figura 23



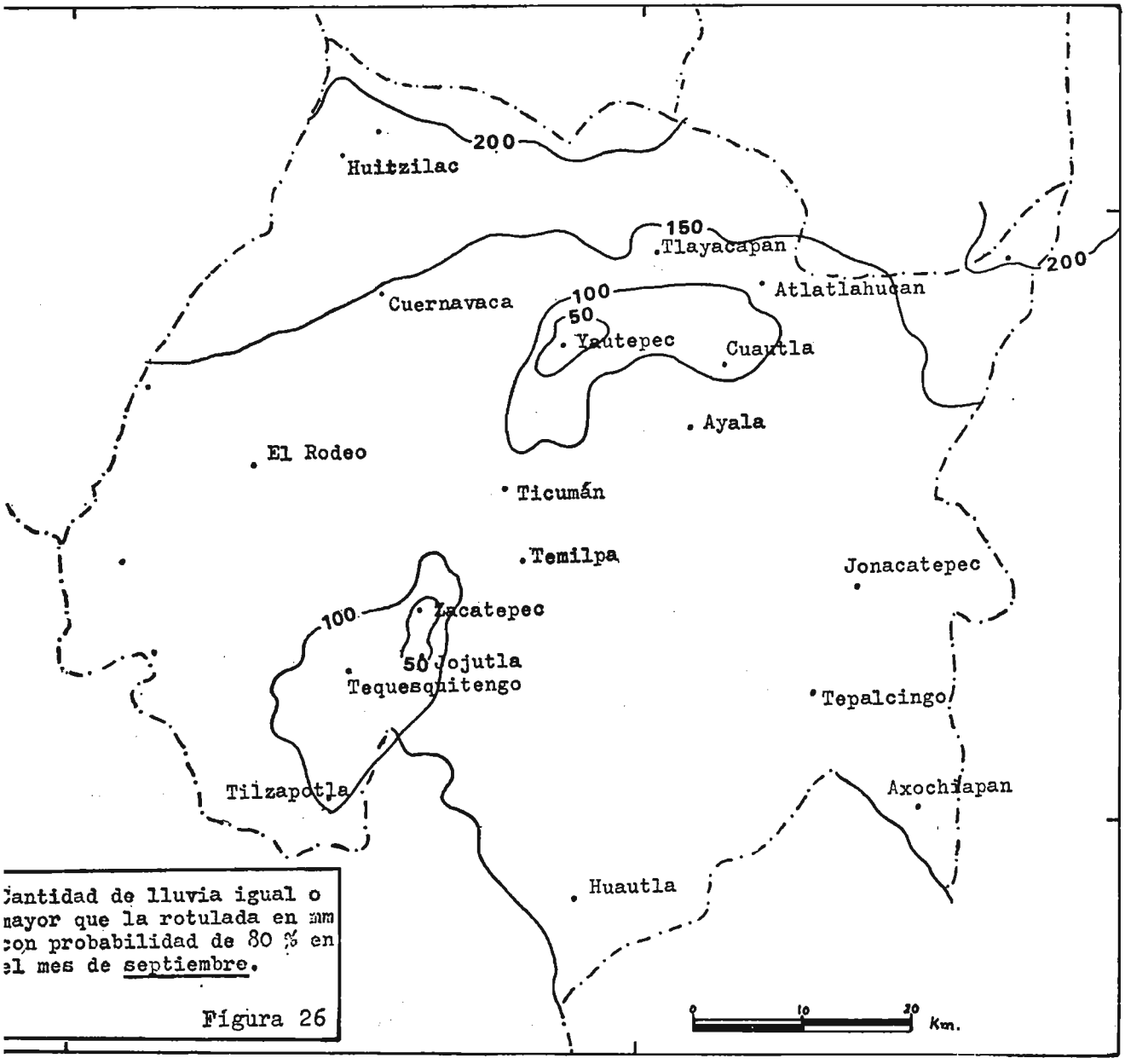
Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de julio.

Figura 24



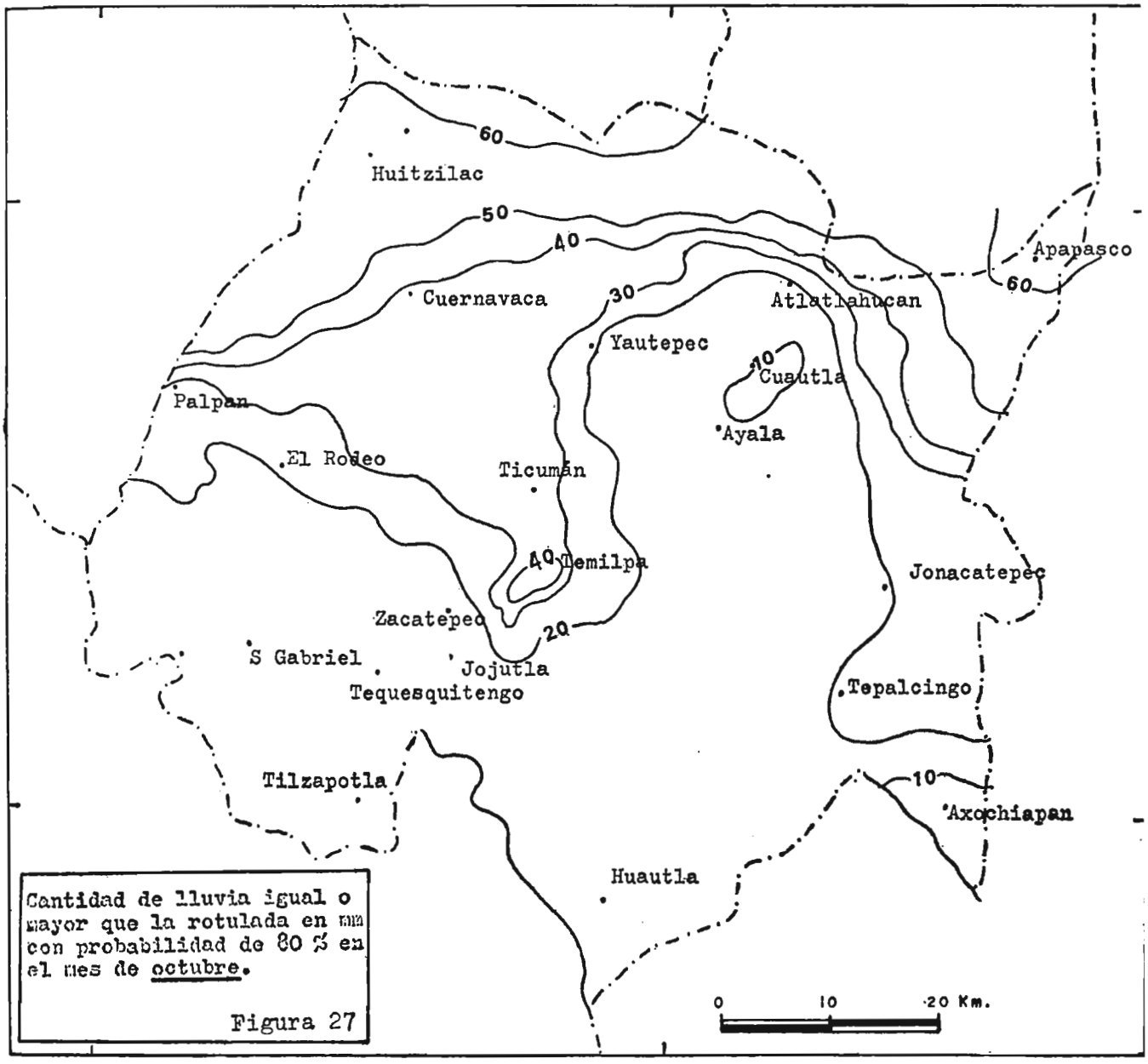
Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de agosto.

Figura 25



Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de septiembre.

Figura 26



Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el mes de octubre.

Figura 27

Se trazó también el mapa *anual* (figura 28) de precipitación con el 80% de probabilidad, que es un resumen de la situación presentada en los mapas mensuales, que fue elabarado con el dato del total de lluvia anual; la isoyeta menor es de 500 mm y la mayor de 1 200 mm o más; este mapa da idea de la cantidad de precipitación con que se cuenta al año.

El penúltimo mapa de la serie es el de distribución de la lluvia para el periodo de *mayo a octubre* (figura 29), mismo que reúne la cantidad de precipitación con que se cuenta durante estos meses que forman la temporada lluviosa del año. Es en el valle de Yautepec donde se espera la menor cantidad de lluvia (máximo 400 mm). Esta región se amplía hacia el sur, prometiendo a los municipios de Yautepec y Tlaltizapán sólo 600 mm. El resto del Estado cuenta con lluvia entre 600 y 800 mm; hacia la zona norte, paralelamente a la altitud, la lluvia aumenta a 1 000 mm, y a altitudes superiores a 3 000 m se pueden esperar, con el 80% de probabilidad, precipitaciones superiores a 1 200 mm.

El mapa que muestra la precipitación para la temporada seca que es de *noviembre a abril* (figura 30), presenta lluvias poco abundantes, 80 mm como máximo para altitudes de 3 000 m, en las sierras del Chichinautzin y Nevada; 40 mm para las laderas de estas mismas sierras, que presentan alturas de 1 600 a 1 800 m; 20 mm de lluvia para una amplia zona que abarca el valle de Cuernavaca y se extiende hasta Zacatepec, y menos de 20 mm para el resto.

Resulta sorprendente, al observar los mapas anteriores, que el valle de Yautepec promete muy baja cantidad de lluvia con probabilidad de 80%; esta región, de tamaño variable en la serie de mapas, tiene tendencia muy marcada hacia Tetelcingo y Atlatlahucan, siempre con Yautepec como centro.

Con el fin de tratar de explicar las causas que dan origen a esta irregularidad tan marcada, se calculó la variabilidad intersecuencial anual para todo el periodo de años de observación de las estaciones Yautepec y Atlatlahucan, y resultó ser de 243.0 mm para la primera y de 318.0 mm para la segunda.

La variabilidad intersecuencial anual, o variabilidad interanual, se calculó con los datos anuales; esta variabilidad representa lo que varió la lluvia de un año con respecto al siguiente, en los datos considerados; la variabilidad intersecuencial está expresada en las unidades del experimento, en este caso en milímetros.

La fórmula empleada es:

$$VIS = \frac{m_1 - m_2 + m_2 - m_3 + m_3 - m_4 + m_n - m_n}{n-1}$$

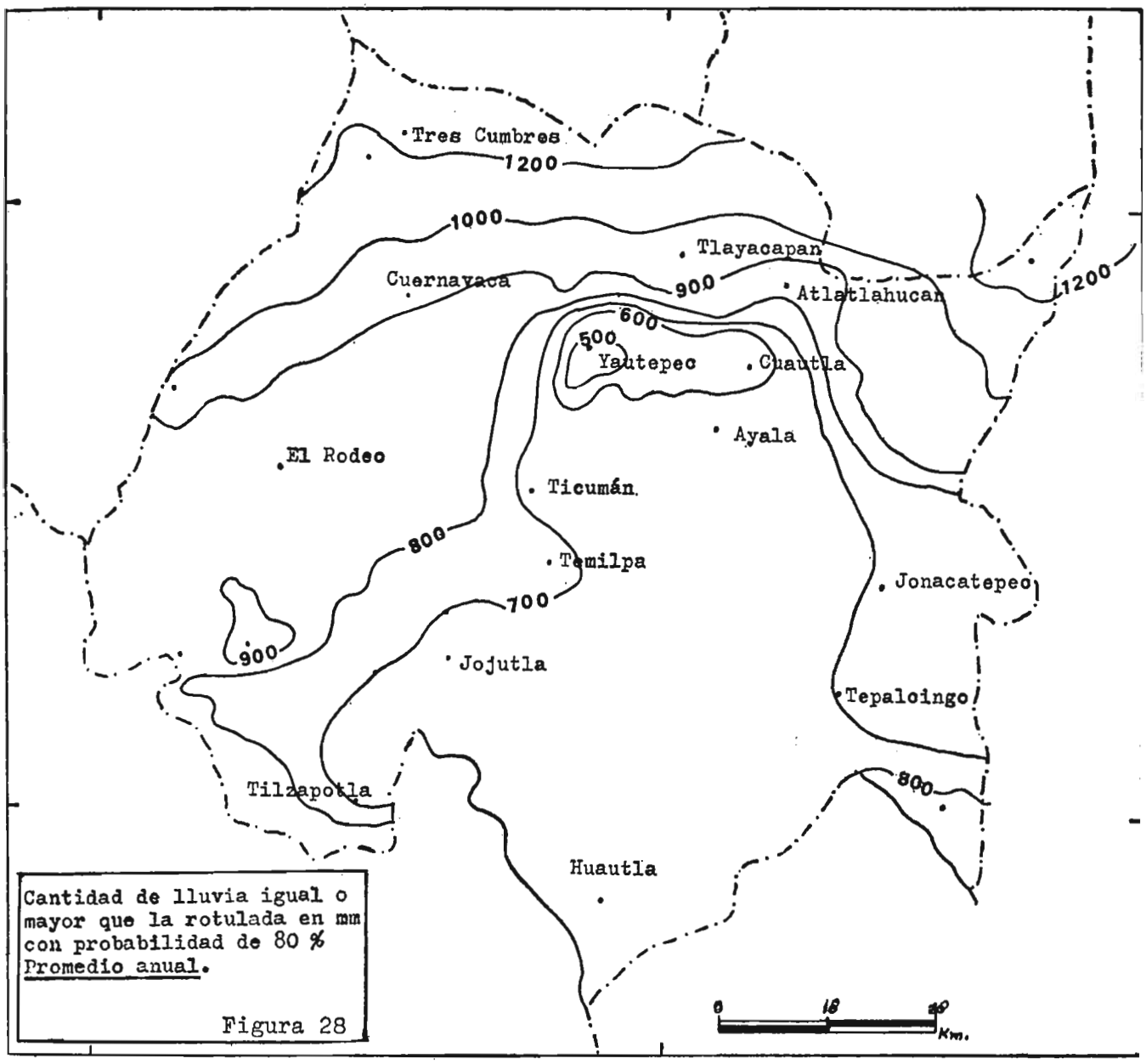
$m_1, m_2 \ldots m_n$ = lluvia anual en los diferentes años de observación.

Al dividir estas cantidades entre la lluvia media anual, resulta la variabilidad intersecuencial expresada en porcentaje, lo que hace más fácil su interpretación.

El resultado fue una variabilidad de 26% para Yautepec y de 18% para Atlatlahucan.

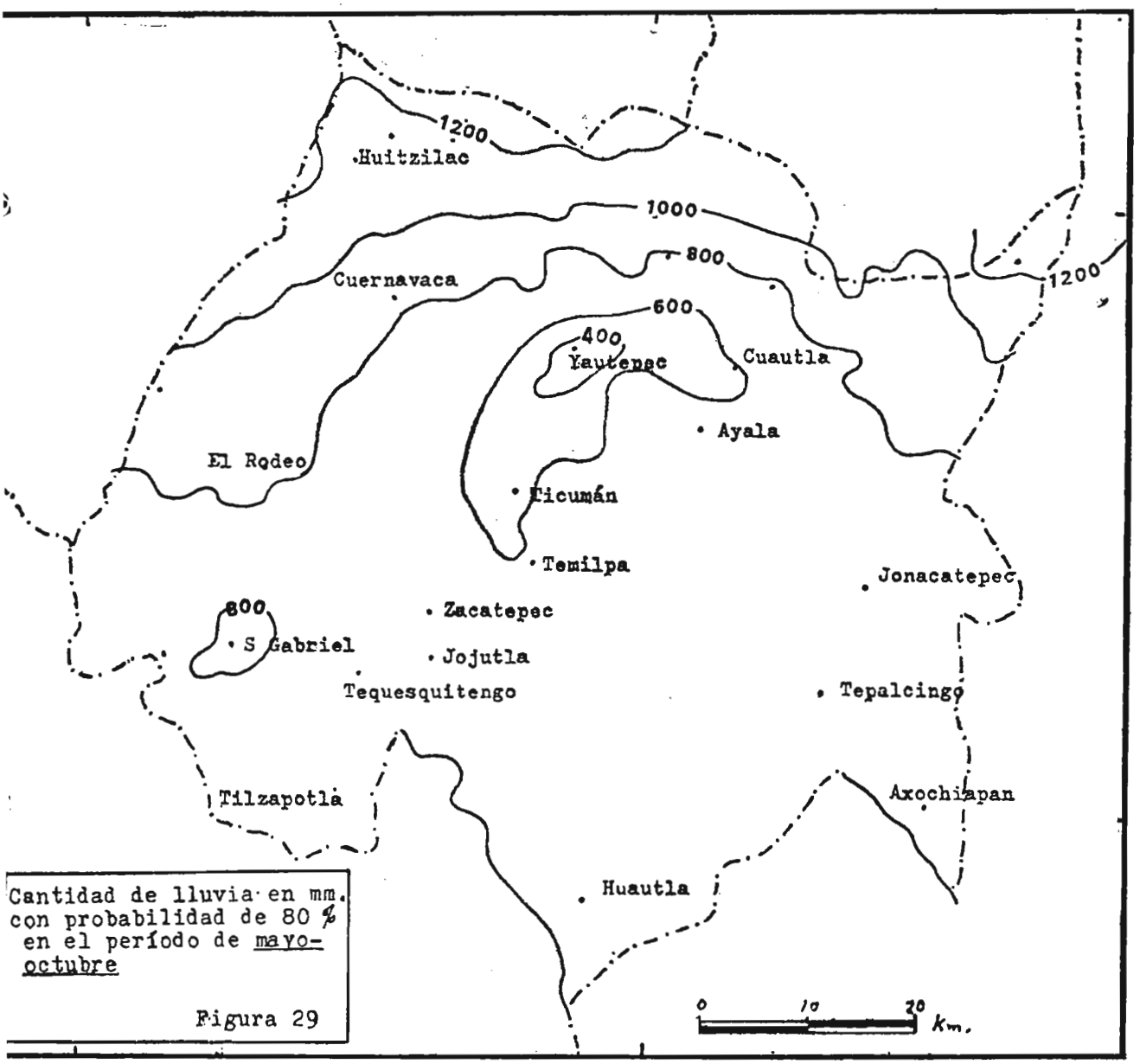
Los porcentajes mayores indican gran variabilidad de la cantidad de lluvia de un año a otro, dentro del periodo estudiado, y porcentajes menores están directamente relacionados con menor variabilidad intersecuencial; por consiguiente, cantidades mayores de lluvia pueden pronosticarse como seguras, con la probabilidad de 80%. Se deduce que, debido a la variación tan grande en la cantidad de lluvia que recibe Yautepec, de un año a otro, la cantidad de lluvia que se puede esperar, con 80% de probabilidad, es menor que en estaciones con un periodo largo de años de observación.

Se trazó, además, un mapa (figura 31) que señala el número de meses que en todo el periodo de observaciones registraron una precipitación mayor o igual a 100 mm, con una probabilidad del 80%; es decir, según se observa en el mapa, hay buena razón para esperar cuatro meses lluviosos en la zona que comprende el noroeste, norte y noreste del Estado, como lo muestra la isolínea de cuatro meses.



Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % Promedio anual.

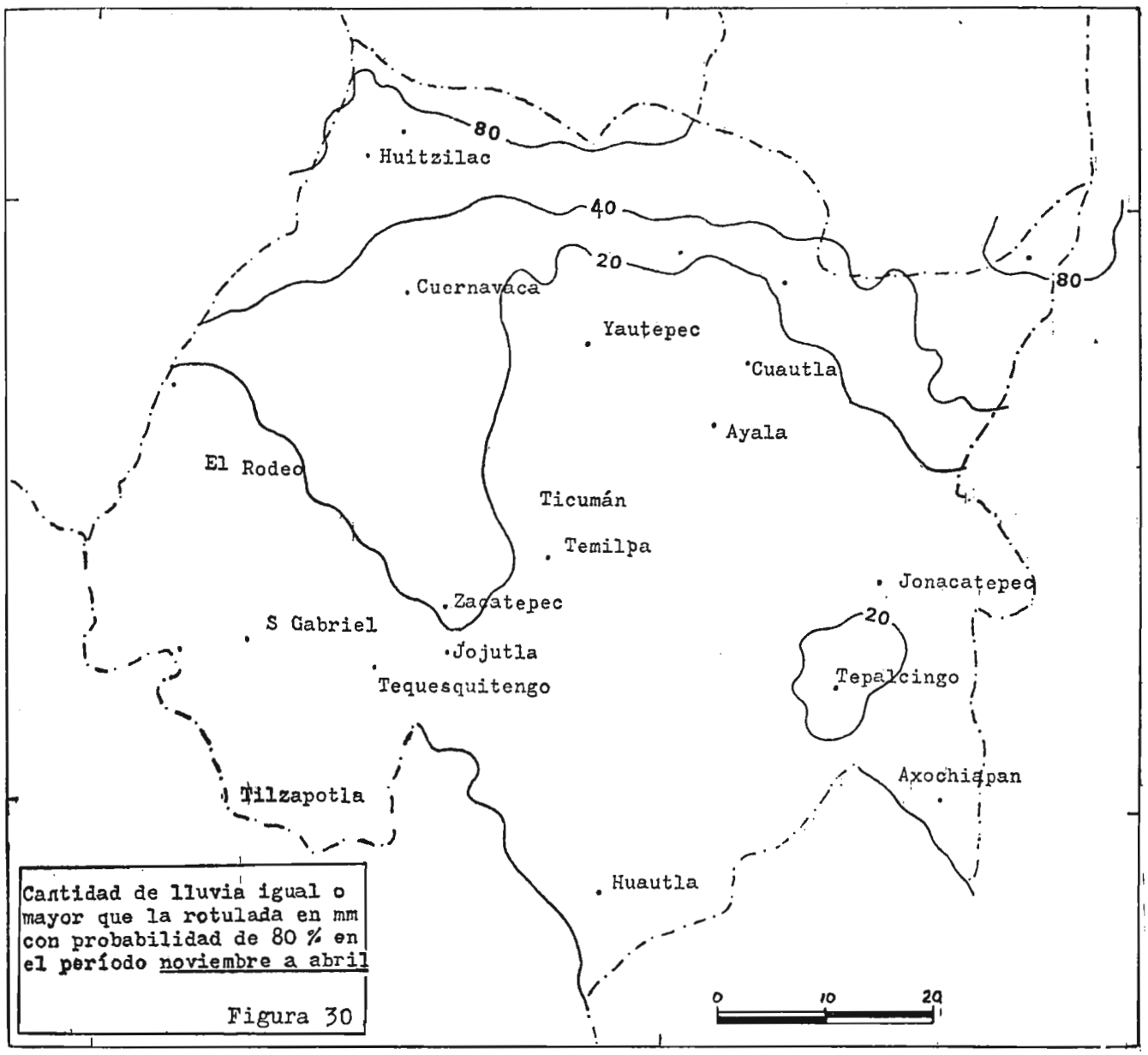
Figura 28



Cantidad de lluvia en mm. con probabilidad de 80 % en el período de mayo-octubre

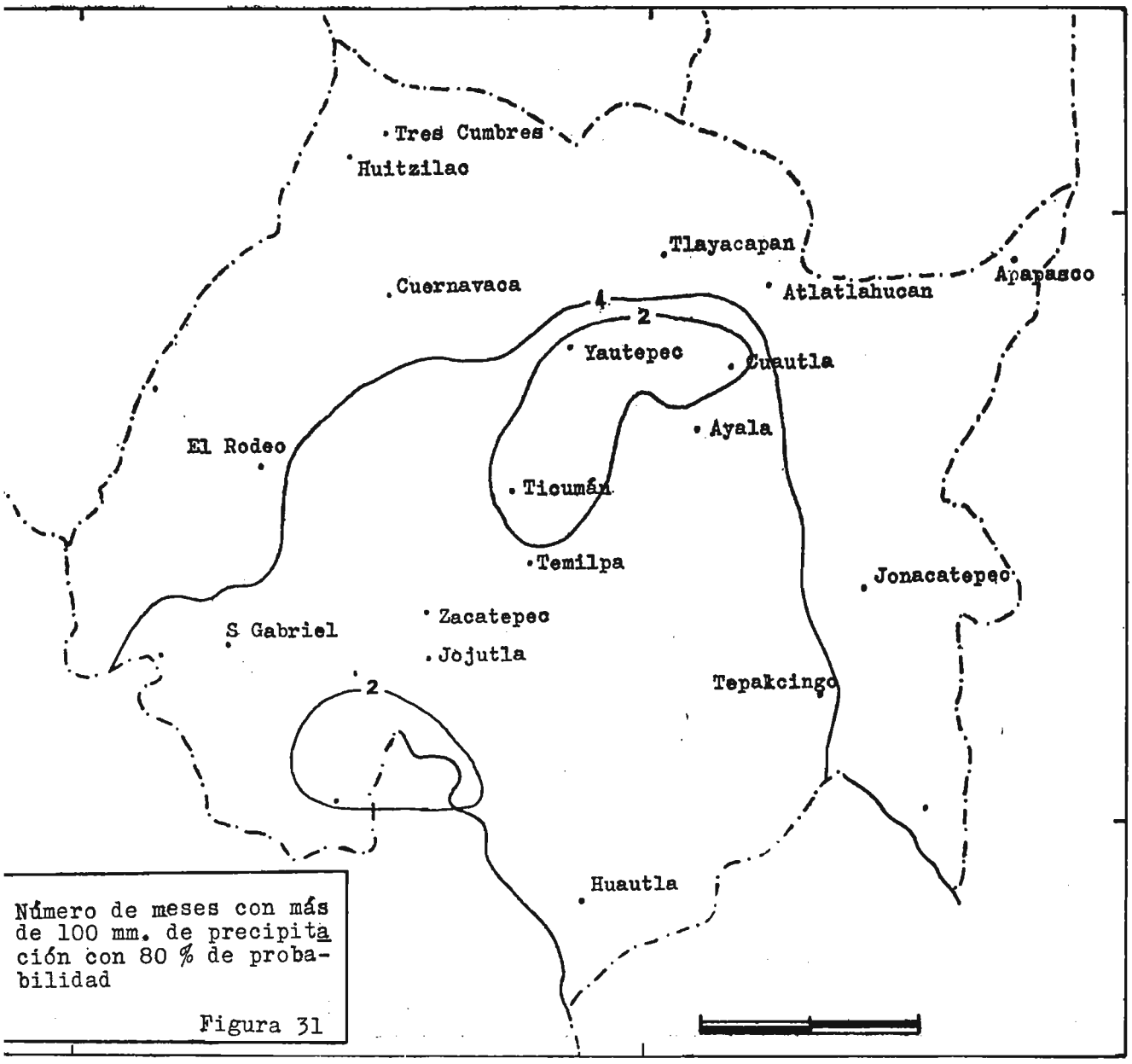
Figura 29

ESTADO DE MORELOS



Cantidad de lluvia igual o mayor que la rotulada en mm con probabilidad de 80 % en el período noviembre a abril

Figura 30



Número de meses con más de 100 mm. de precipitación con 80 % de probabilidad

Figura 31

VI. Climas

Los climas del Estado, según la clasificación de Köppen modificada por E. García (1964), resultan como sigue (figura 32):

A altitudes menores de 1 400 m, abarcando más de la mitad sur del Estado, se presenta el tipo de clima $Aw_0''(w)(i')g$; caliente subhúmedo A, el más seco de los subhúmedos w_0, con cociente P/T (precipitación total anual en mm, entre temperatura media anual, en grados centígrados, menor de 43.2), con régimen de lluvia de verano; las comillas indican la presencia de canícula o sequía de medio verano, y la (w) un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la total anual. La (i') significa con poca oscilación de las temperaturas medias mensuales, es decir, entre 5° y 7°C. La g, marcha de la temperatura de tipo Ganges, o sea que el mes más caliente del año es antes de junio; esta característica se presenta en todo el Estado.

En el extremo suroeste hay dos pequeñas zonas de las estribaciones de la Sierra de Huitzuco, cerca de los límites con el Estado de Guerrero, que presentan clima caliente subhúmedo $Aw_1''(w)(i')g$, pero con un índice de humedad superior al clima anterior, que corresponde en grado de humedad al cálido subhúmedo w_1, intermedio entre w_0 y w_2, con un cociente P/T comprendido entre 43.2 y 55.3.

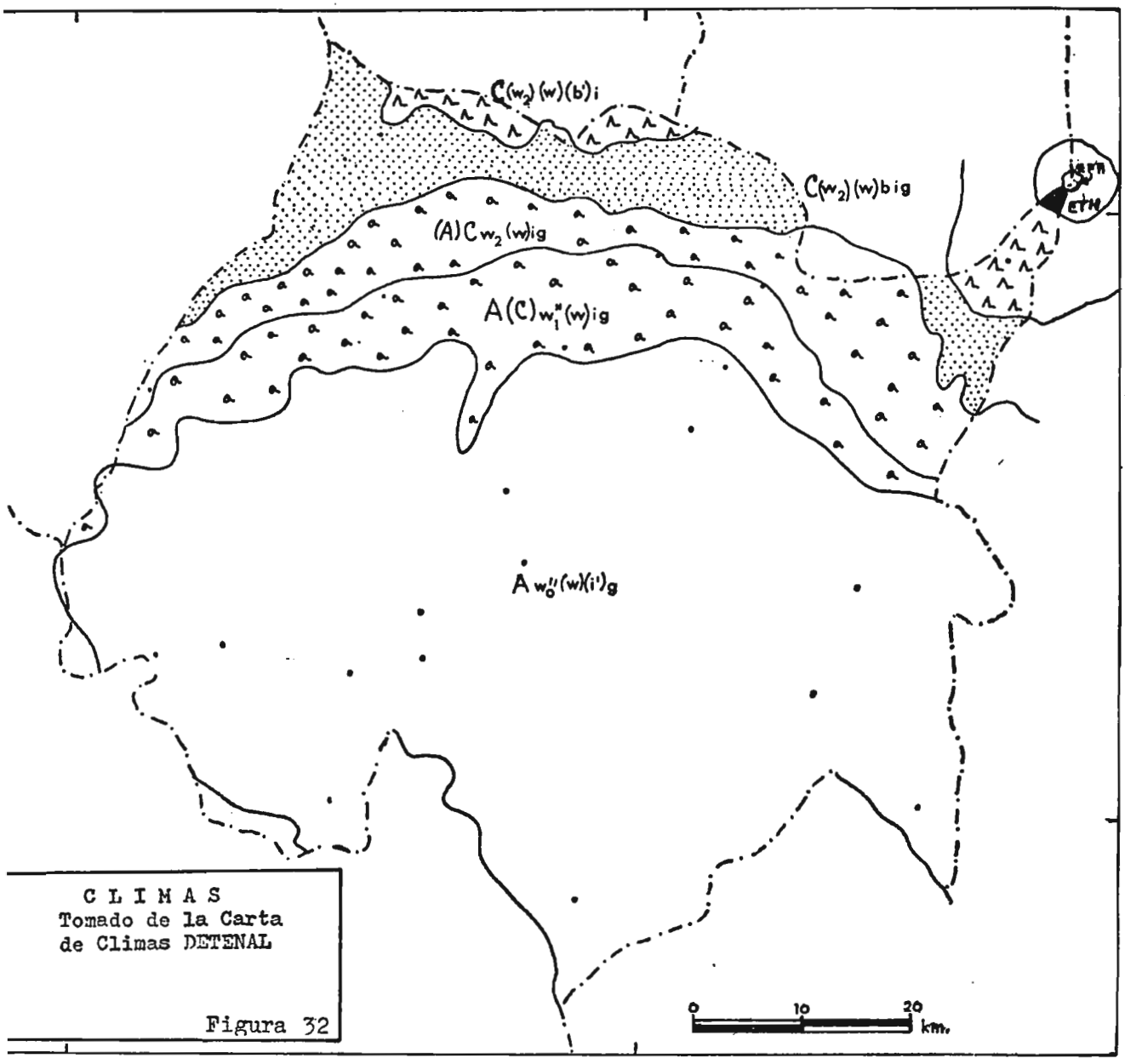
Hacia el norte se presentan dos franjas de climas de transición entre los cálidos A y los templados C, que se denominan semicálidos y se designan con el símbolo A(C).

La primera zona de clima A(C) agrupa las estaciones más frescas del grupo A de Köppen y la segunda área (A)C, las más cálidas del grupo C. Todas estas estaciones se caracterizan por tener temperatura media anual entre 18° y 22°C.

La primera franja corresponde al clima $A(C)w_1''(w)ig$, que puede describirse como de clima semicálido, subhúmedo con lluvia de verano, intermedio, por su humedad, entre w_0 y w_2, con canícula o sequía de medio verano; porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual (w), isotermal, con oscilación menor de 5°C, y marcha de la temperatura tipo Ganges.

Hacia el norte de este clima se encuentra el $(A)Cw_2(w)ig$, que pertenece también al subgrupo de los semicálidos con lluvia de verano, pero es el más húmedo de los subhúmedos (w_2). Se localiza en las estribaciones de la Sierra del Chichinautzin y del Popocatépetl.

Correspondiendo a una parte más elevada de las laderas de la misma Sierra, de 2 200 a 2 800 m, se encuentra una amplia zona de clima templado: $Cw_2(w)big$, con temperatura media anual entre 12° y 18°C, la del mes más frío mayor de −3° y la del mes más caliente mayor de 6.5°C. El símbolo w_2 indica lluvia de verano, y pertenece al más húmedo de los subhúmedos, con cociente P/T mayor de 55.3; la (w) indica un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la total anual, es isotermal y presenta marcha de la temperatura tipo Ganges.



C L I M A S
Tomado de la Carta
de Climas DETENAL

Figura 32

El clima $C(w_2)(w)(b')i$ se encuentra a altitudes superiores a 2 800 m; es éste un clima semifrío, el más húmedo de los subhúmedos (w_2), con verano fresco y largo, la temperatura del mes más caliente, entre 6.5° y 22°C, corresponde a la parte más elevada de la Sierra del Ajusco, en el límite entre el D. F. y el Estado de Morelos; y al Popocatépetl, a altitudes comprendidas entre 2 800 y 4 000 m; este subgrupo de climas semifríos, con temperatura media anual entre 5° y 12°C y la del mes más frío superior a −3°C, comprende las estaciones más frescas del grupo C templado, de Köppen, y las menos frías del grupo E, frío. El símbolo que distingue las estaciones semifrías de las templadas es (b′), que indica verano fresco y largo.

En alturas superiores a 4 000 m, en el Popocatépetl, se presentan los climas fríos ETHw, y los muy fríos EFHw o de hielos perpetuos, ambos con régimen de lluvia de verano w. La altitud calculada como límite entre los ET y el EF, resultó, para García (1968), de 5 272 m, mismo que coincide con el de las nieves perpetuas.

Los climas que se presentan, según el sistema de clasificación corresponden por su grado de humedad a los tres subtipos de climas subhúmedos; quedan por su temperatura en los grupos y subgrupos siguientes:

cálidos	Aw_0 y Aw_1
semicálidos	$A(C)w_1$ y $(A)Cw_2$
templados	Cw_2
semifríos	$Cw_2(b')$
fríos	ETHw
muy fríos	EFHw

VII. Cultivos

El mapa 33 muestra en tono obscuro las regiones donde se practica la agricultura de manera *permanente*; es decir, tierras en las cuales se siembra año con año ininterrumpidamente, y en tono claro las de agricultura *semipermanente*, que corresponden a terrenos de cultivo que no se siembran todos los años; en el mapa original (16) aparecen como "áreas agrícolas estabilizadas" y "agricultura nómada", respectivamente.

Los municipios que tienen agricultura permanente ocupan la porción central del Estado que corresponden, en general, a las mejores tierras de cultivo en los valles y abarcan también las áreas de riego donde es posible tener dos cosechas al año.

Las áreas de agricultura semipermanente se localizan en terrenos con alguna pendiente, en estribaciones de las montañas y, en general, no poseen buenas vías de comunicación.

Es la agricultura la actividad principal de los habitantes de 30 de los 32 municipios del Estado, las excepciones son Cuernavaca y Zacatepec donde las actividades principales son servicios, en el primero, e industria de transformación en el segundo.

Tomando como base la localización de las regiones agrícolas del Estado, que aparecen en el mapa de los Tipos de Vegetación y Uso del Suelo del Inventario Forestal del Estado de Morelos, S. A. G., se señalaron en los mapas siguientes, con puntos de distinto tamaño, la producción de jitomate, maíz, frijol solo y frijol intercalado, de temporal. Estos productos son los mismos que fueron escogidos para tratar de encontrar una posible relación entre su rendimiento por hectárea y algunas de las variables del clima.

La distribución de la producción de *jitomate* de temporal en el Estado se señala en el mapa 34 que representa el promedio de la producción de la década 1960-1969; este periodo corresponde al inicio del incremento en la siembra y producción intensiva de jitomate en el Estado, destacando los municipios de Tlalnepantla, Tlayacapan, Atlatlahucan y Cuautla, situados cerca de los límites con el vecino Estado de México.

Los municipios de Cuautla y Tlalnepantla registraron en este periodo un promedio de producción de 5 500 y 5 900 toneladas anuales, respectivamente; Atlatlahucan produjo 4 830 toneladas, y le siguieron en importancia los municipios de Totolapan y Emiliano Zapata, con producción mayor de 3 500 toneladas anuales.

La segunda zona productora en importancia, abarca los municipios de Emiliano Zapata, Xochitepec y Cuernavaca.

En 1966 la producción total fue de 68 250 toneladas que se recogieron en 6 500 hectáreas dedicadas al cultivo, y tuvieron un rendimiento medio de 10 500 kg por hectárea. El 18% del cultivo fue de riego y el 82% de temporal.

En 1972, el Estado ocupó el segundo lugar en la producción de jitomate en el país, con 172 294 toneladas en ese año. El primer productor fue Sinaloa, con 465 217 toneladas. Tomando en cuenta su rendi-

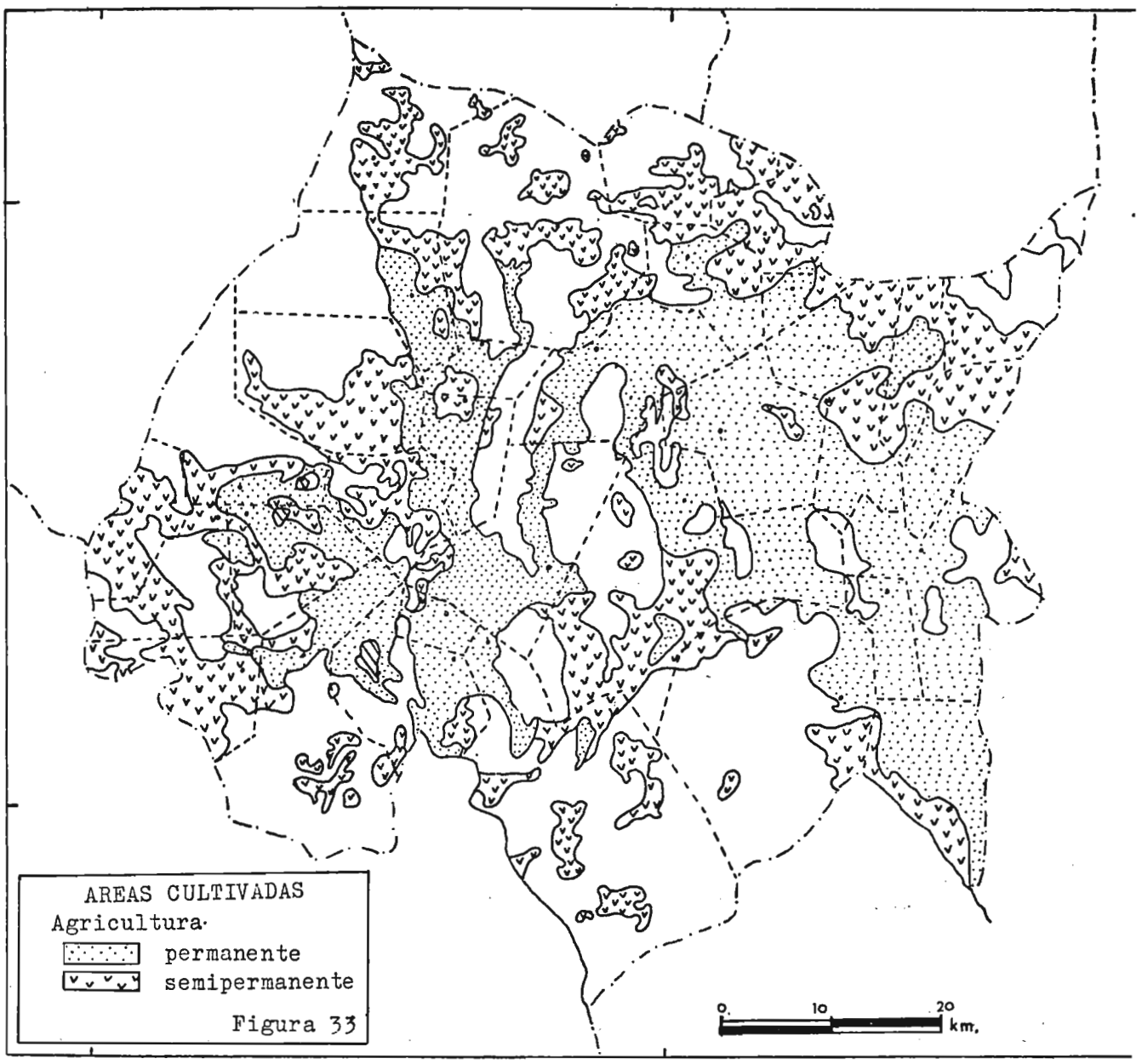

AREAS CULTIVADAS
Agricultura·
permanente
semipermanente
0
10
20
km.

Figura 33

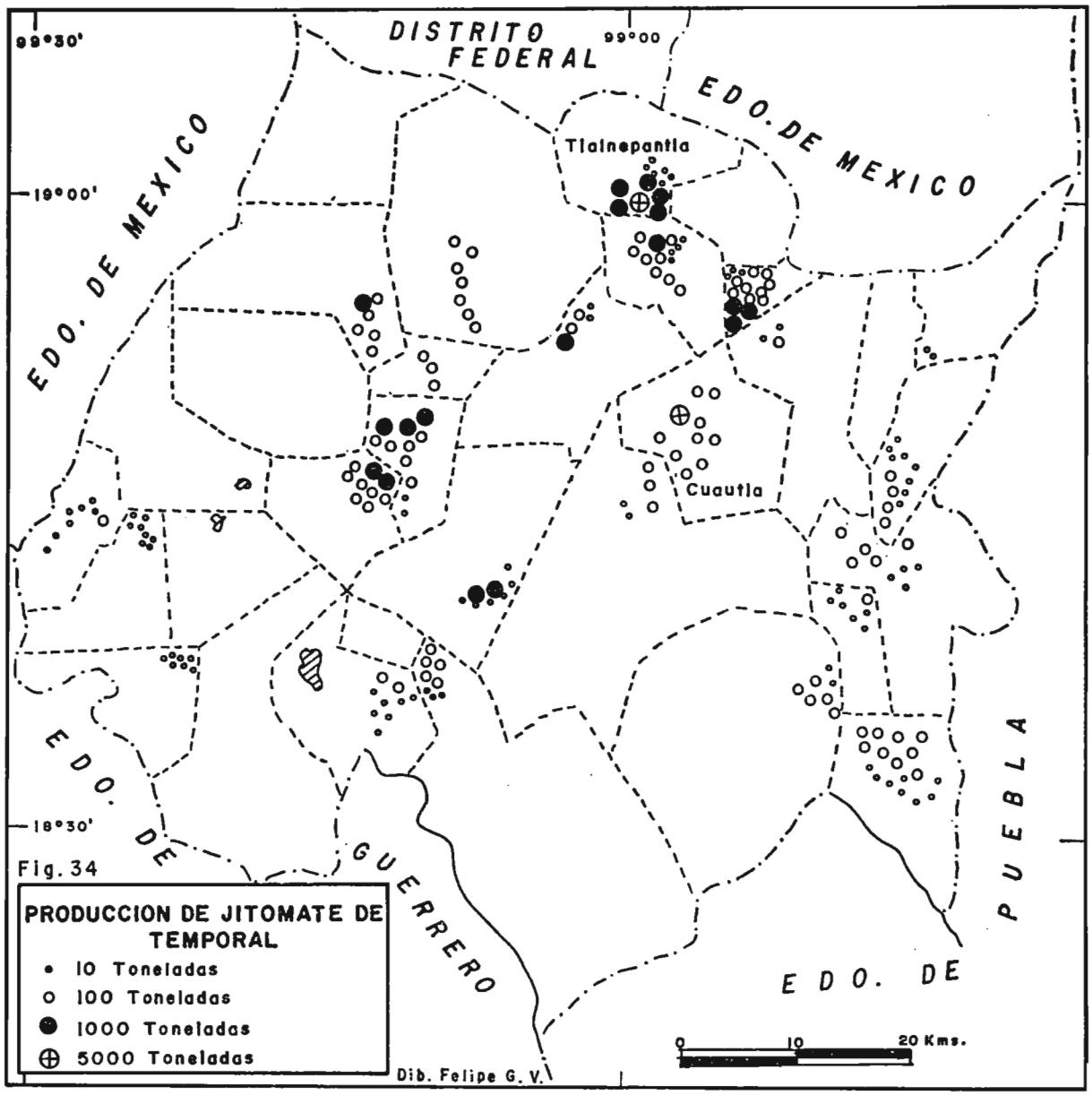

DISTRITO FEDERAL
99°30'
99°00'
19°00'
18°30'
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
Tlalnepantla
Cuautla
EDO. DE GUERRERO
EDO. DE PUEBLA
PRODUCCION DE JITOMATE DE TEMPORAL
10 Toneladas
100 Toneladas
1000 Toneladas
5000 Toneladas
0 10 20 Kms.
Dib. Felipe G. V.

Fig. 34

miento, Morelos ocupa el sexto lugar nacional con 19 000 kg por hectárea, cifra que representa rendimientos moderados si se tiene en cuenta que los Estados de Jalisco y Baja California reportan rendimientos de 29 933 kg y 28 636 kg por hectárea, respectivamente.

Las variedades que se siembran en el Estado son: Nanapal, Homestead 61, Homestead Elite y Homestead 24 (temporal). De jitomate huajito, principalmente la variedad Roma.

La siembra se efectúa de junio a julio y la cosecha de octubre a enero. El 82% del jitomate que se siembra corresponde a terrenos de temporal.

Las plagas principalmente son el "gusano alfiler", el "gusano del fruto", la "mosquita blanca" y el "tizón temprano"; "tizón tardío" o "antracnosis" al que los agricultores llaman "la mancha". Estas plagas son combatidas con productos como Lannate 90 PS, Tamaron 50% LE, Semivol 500 LE, Thiodan 35% LE, Captan 50% PH, en diferentes dosis y aplicaciones cuyo número varía de 1, 3, 6 y hasta 14 para el tizón.

El jitomate es un cultivo que representa alto riesgo para los campesinos, pues además de ser atacado por diversas plagas, la variación de humedad y el tipo de precipitación puede dañar con rapidez a la planta.

El granizo tiene influencia nociva muy importante en este cultivo; en algunas encuestas hechas en municipios productores, como Cuautla, Yecapixtla y Atlatlahucan, los campesinos informaron que utilizan cohetones para tratar de provocar lluvia antes de que el granizo se forme.

Desgraciadamente no fue posible trabajar el variable número de días con granizo, debido a que los registros contienen únicamente ceros, lo cual indicaría que el fenómeno no se presenta en ninguna de las estaciones. Los campesinos de diversos lugares indicaron que, por lo menos, se presentan cuatro o cinco granizadas en la temporada lluviosa cada año.

Maíz. Debido a que este producto sigue siendo la base de la alimentación del mexicano, pues es una planta que casi no tiene restricciones climáticas, todos los municipios del Estado lo producen aunque en distinta medida.

En 1945, México importó entre 15 y 20% de sus cereales en grano, principalmente maíz y trigo, para cubrir la demanda de la población. Esta situación cambió drásticamente en las siguientes dos décadas en que hubo un fuerte aumento en la producción de granos para alimentación básica. Para 1960 el déficit de alimentos había desaparecido, en 1963 el suministro empezó a exceder a la demanda doméstica y durante los siguientes cinco años fueron exportadas considerables cantidades de maíz (5.4 millones de toneladas en el periodo 1964-1969).

Pero en los años setenta esta dinámica de crecimiento se perdió y México tuvo otra vez que importar entre 15 y 20% de estos granos básicos.

La producción de maíz se ha incrementado en más de 250% durante el cuarto de siglo 1945-1970. Los rendimientos subieron de 700 a 1 300 kg por hectárea, pero la población también subió y, por tanto, la demanda creció 220%.

Después de experimentación extensiva, se encontró que el nitrógeno fue el principal elemento limitante en la mayoría de los suelos. Por tanto, en el Estado de Morelos, como sucede en la mayoría de los estados del país, el maíz ha sido relegado a los más pequeños y menos avanzados campesinos, en áreas de temporal donde las condiciones son difíciles.

Las áreas de riego son utilizadas para sembrar, generalmente, arroz, jitomate y caña de azúcar.

En 1974 se importaron 4 millones de toneladas de granos, en su mayoría maíz, y para el consumo de 1975 las importaciones fueron de 2.55 millones de toneladas de maíz. Debe tenerse en cuenta que un incremento en los precios del mercado mundial elevó los costos de estas importaciones en más de 10% sobre los años anteriores. En 1976 se necesitaron 2 millones de toneladas, y la primera compra de 1977 fue de

500 000 toneladas, según declaraciones del director de CONASUPO, en enero de 1977.

Los campesinos de cultivos de subsistencia necesitan más asistencia directa, y deben resolverse muchos problemas de la comercialización de semillas mejoradas, a menores precios, para hacerlas más accesibles al campesino. Además, hay otros productos tales como el sorgo, mijo y pastos para ganado, que son más eficientes con bajas y erráticas condiciones de lluvia, pero la gente no gusta de substituir el maíz por ningún otro alimento en su dieta.

En el mapa de producción de maíz, figura 35 se aprecia que Tepoztlán, con 8 800 toneladas y Ayala con 5 100 toneladas, son los primeros productores en el Estado; les siguen en orden de importancia en la producción los municipios de Tepalcingo, Zacualpan, Jonacatepec y Cuautla, con más de 2 000 toneladas de producción promedio anual.

La mayor parte de la producción del Estado se utiliza para el autoconsumo; esto pudo comprobarse con las visitas que se hicieron a las casetas fiscales en las carreteras que comunican al Estado con otros estados vecinos, en las cuales llevan registro de los productos que salen del Estado, para su comercialización, y deben, por tanto, pagar impuesto fiscal. Existe alguna comercialización de los excedentes de producción, en los tianguis o mercados regionales en la entidad.

Frijol. La producción de frijol está considerada también, en su mayor parte, para el consumo de la población del Estado. Se siembran diversas variedades y en dos modalidades: frijol solo y frijol intercalado con maíz.

La figura 36 muestra la producción promedio de frijol solo, con círculos de diferente tamaño.

Los municipios productores más importantes son: Cuautla, Yautepec, Miacatlán y Tlaltizapán que producen cantidades mayores de 100 toneladas anuales.

Hay seis municipios que no reportan producción de frijol solo: Huitzilac, Mazatepec, Ocuituco, Temixco, Tepoztlán y Zacatepec.

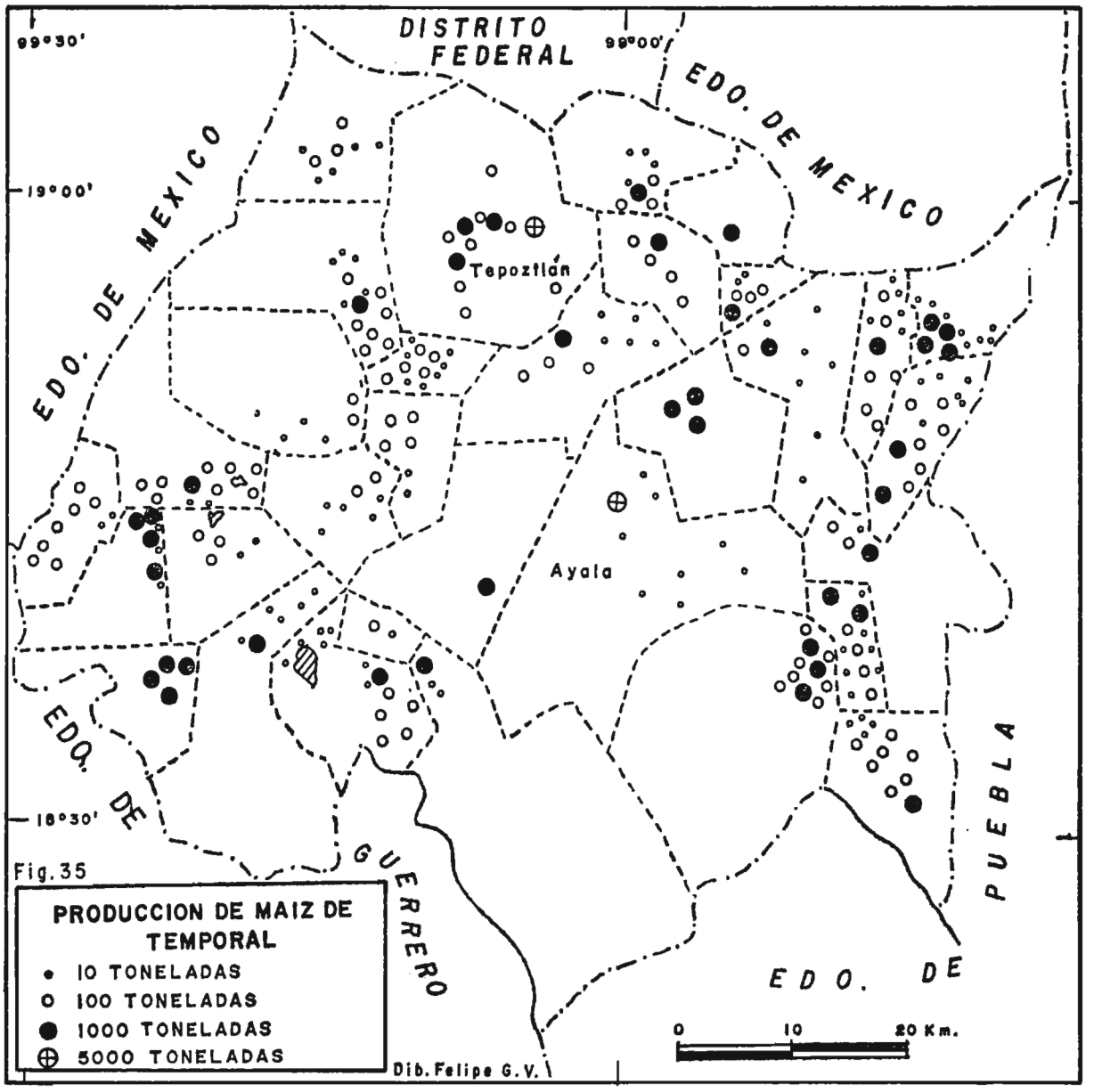
Un número menor de municipios tienen cultivos de frijol intercalado, figura 37; en ella se observa que los más productivos son Ocuituco, con 245 toneladas anuales; Yautepec y Jojutla, con 160 y 140 toneladas, respectivamente. Los demás municipios productores no alcanzan las 100 toneladas anuales.

En 1966 se cosecharon 4 505 toneladas de frijol en el Estado, con un rendimiento de 447 kilogramos por hectárea. En 1972 se reportaron 6 935 toneladas como producción total y el rendimiento aumentó a 687 kilogramos por hectárea. Como puede apreciarse, los rendimientos han subido; sin embargo, la producción de frijol es deficitaria, anualmente tienen que ser adquiridas alrededor de 4 000 toneladas para satisfacer el consumo del Estado.

El Estado se encuentra entre los de menor producción de frijol en el país y sus rendimientos no son altos, siendo los mayores en Sonora (1 626 kg/ha) y en Baja California (1 462 kg/ha). El primer productor es el Estado de Veracruz.

Tierras laborables. Según el Censo Agrícola 1970, en el Estado existen 124 564 hectáreas de tierras de labor, de las cuales 87 406 hectáreas son de temporal, 36 726 de riego y 431 de jugo o humedad.

La misma fuente reporta que se perdieron en el Estado 6 086 hectáreas cultivadas, en el ciclo primavera-verano 1969, por las siguientes causas: sequías, 3 016 ha; inundaciones, 1 377 ha; plagas y enfermedades 761 ha; heladas 51 ha y por otras causas 879 ha.


DISTRITO FEDERAL
99°30'
99°00'
19°00'
18°30'
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
EDO. DE GUERRERO
EDO. DE PUEBLA
Tepoztlán
Ayala
PRODUCCION DE MAIZ DE TEMPORAL
10 TONELADAS
100 TONELADAS
1000 TONELADAS
5000 TONELADAS
0
10
20 Km.
Dib. Felipe G.V.
Fig. 35

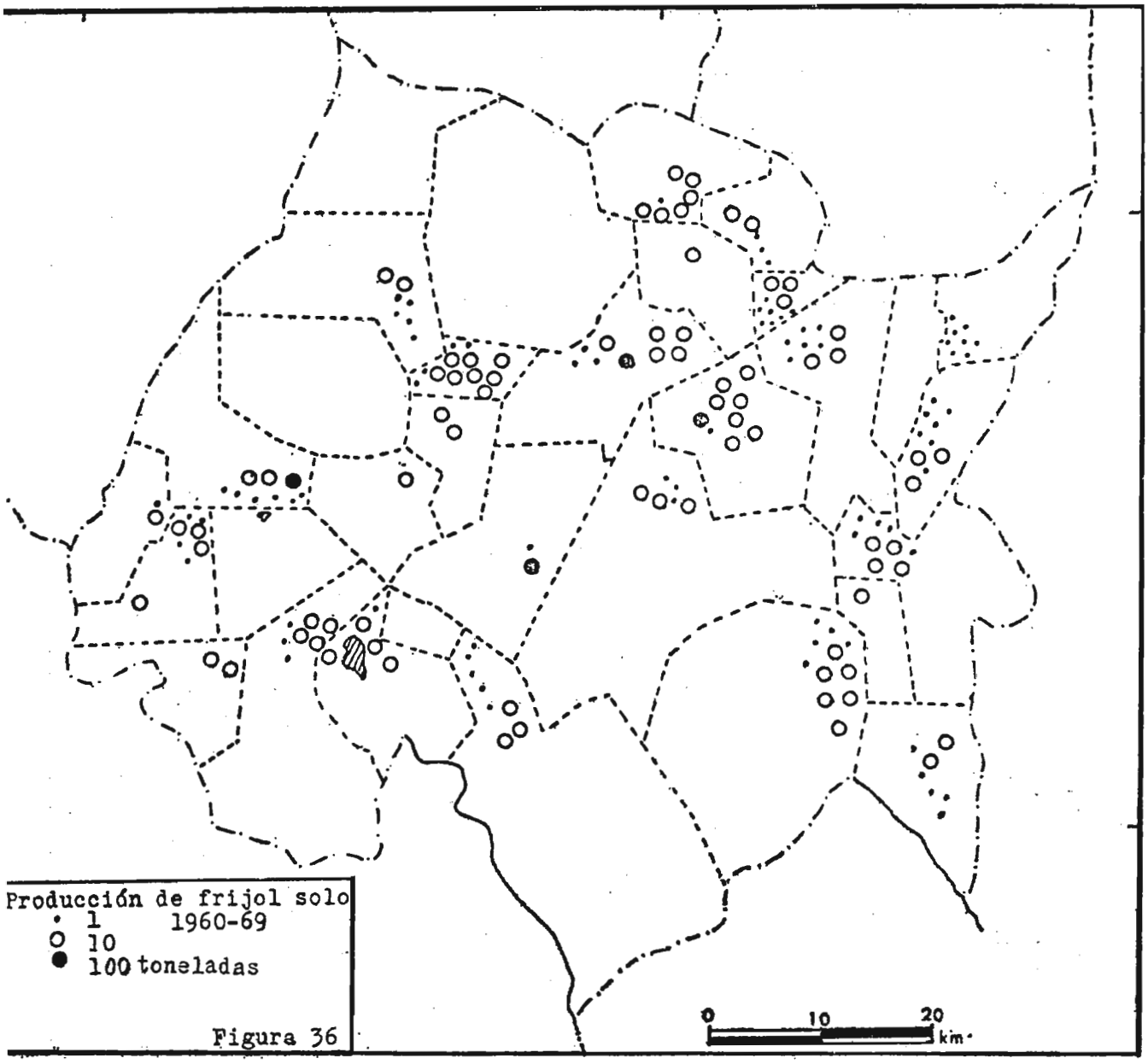
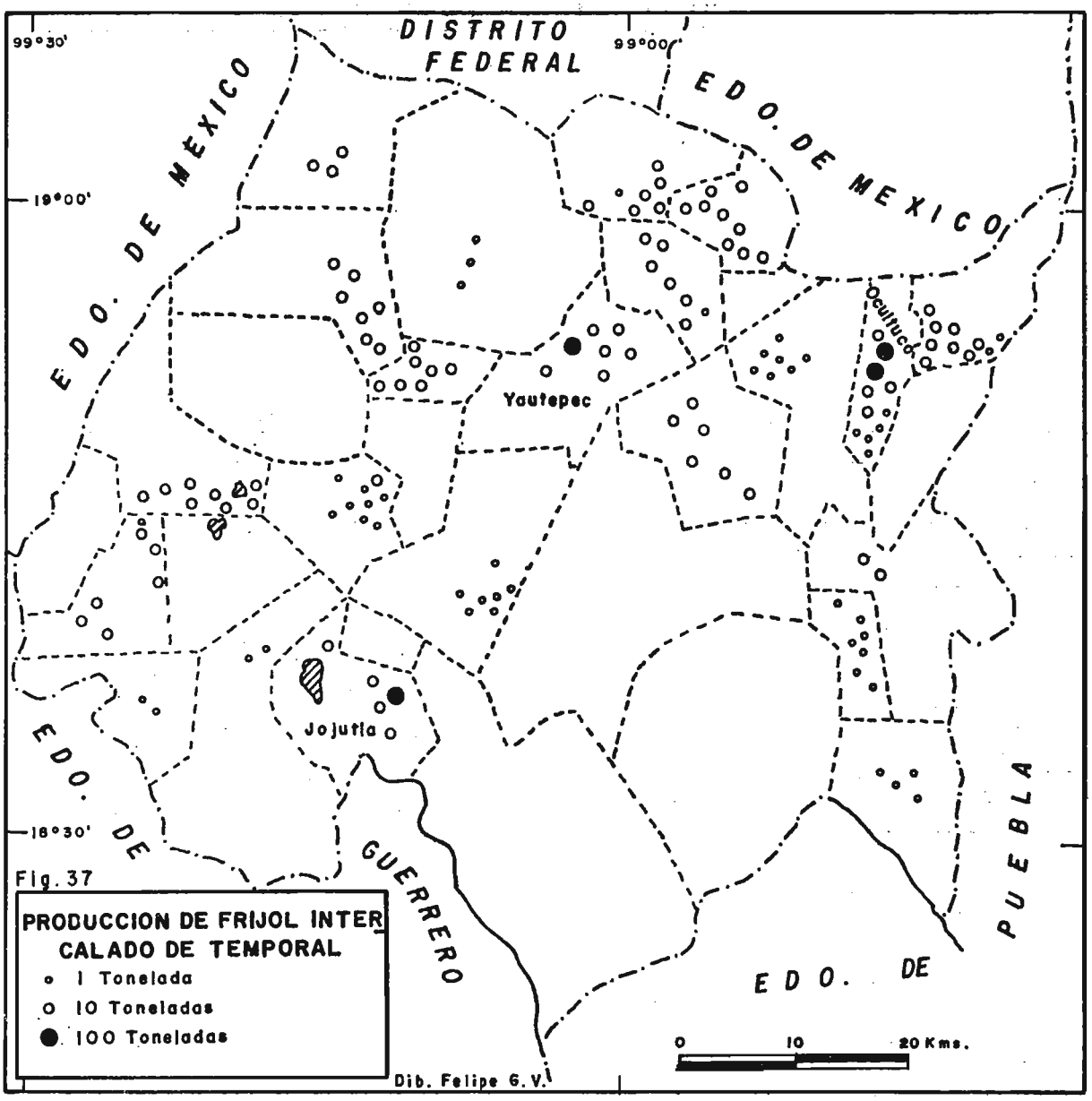

Producción de frijol solo
1 1960-69
10
100 toneladas
0 10 20
km

Figura 36


DISTRITO FEDERAL
EDO. DE MEXICO
EDO. DE MEXICO
EDO. DE GUERRERO
EDO. DE PUEBLA
99°30'
99°00'
19°00'
18°30'
Yautepec
Ocuituco
Jojutla
PRODUCCION DE FRIJOL INTERCALADO DE TEMPORAL
1 Tonelada
10 Toneladas
100 Toneladas
0
10
20 Kms.
Dib. Felipe G.V.
Fig. 37

VIII. Algunas relaciones clima-cultivos

Es muy importante en la investigación geográfica reconocer y describir similaridad y diferencia entre el comportamiento físico y cultural de un lugar a otro.

A veces se hacen generalizaciones vagas al tratar de relacionar dos elementos, los datos en que se basan estas conclusiones pueden tener más valor si se cuantifican; pueden, entonces, aplicarse los términos "ligera tendencia o fuerte tendencia", o utilizar una gradación, como se desee.

El método que aquí se aplica sirve para relacionar dos mapas de distribución, cuyo resultado será un tercer mapa que indica el grado de correlación por áreas. El autor del método, John K. Rose, sugiere el término *líneas de isocorrelación,* para establecer las isolíneas empleadas en este tercer mapa, que describe la correlación. El proceso para medir la relación entre dos mapas incluye algunos sencillos cálculos estadísticos y algo de cartografía aplicada.

Relación entre precipitación total y maíz. En este primer ejemplo se trata de relacionar el mapa de distribución de la lluvia en el Estado de Morelos, con la correspondiente distribución del rendimiento de maíz por hectárea, para el mismo periodo considerado: la década 1960-1969.

Los mapas que se van a relacionar son: figura 38, mapa de distribución de la precipitación pluvial anual para el periodo 1960-1969.

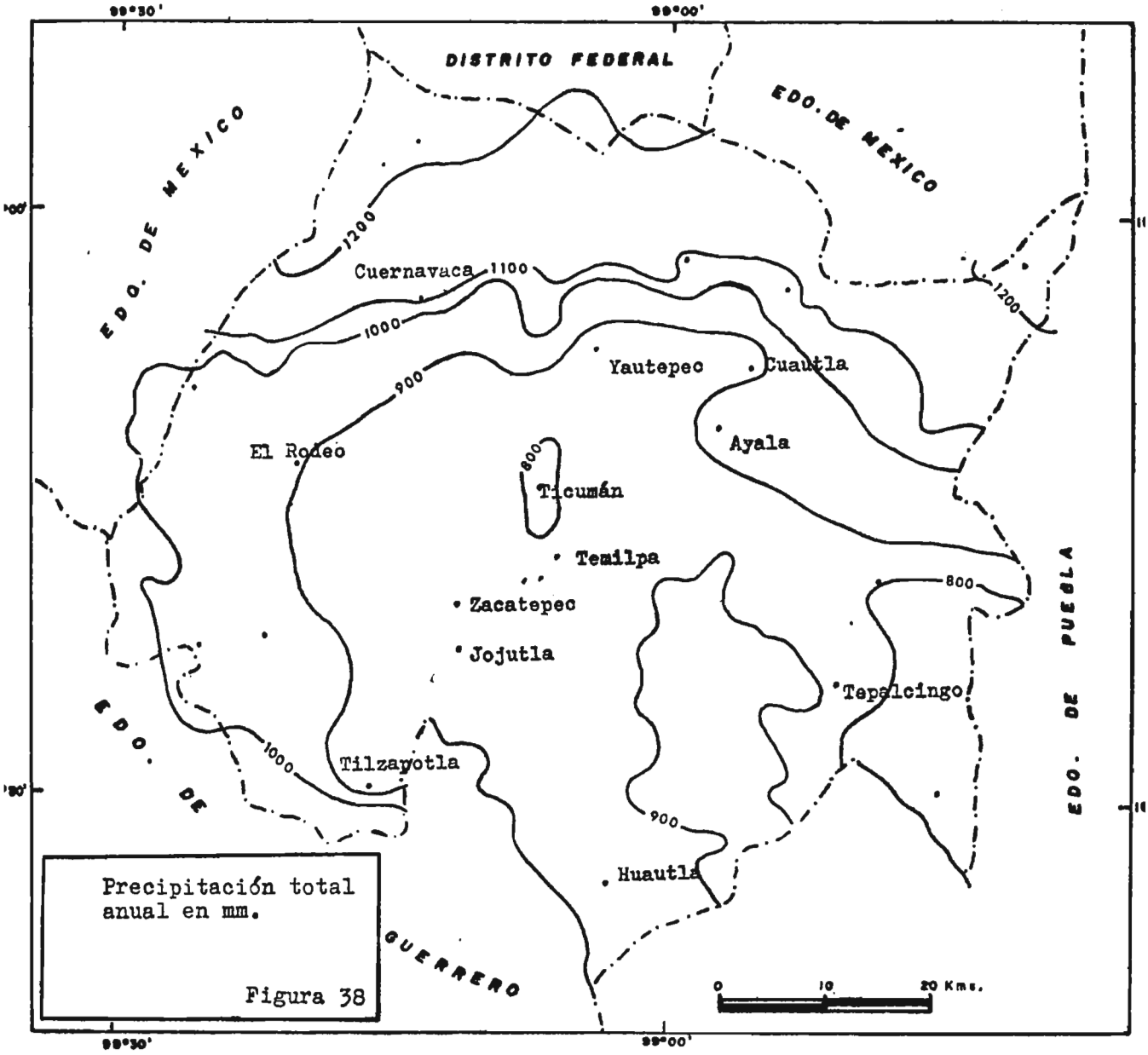
Fue trazado utilizando 26 estaciones meteorológicas que funcionan regularmente en el Estado de Morelos y pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional y a la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Figura 39, mapa de distribución del rendimiento de maíz en kilogramos por hectárea, en el mismo periodo 1960-1969, utilizando los datos proporcionados por la Dirección General de Economía Agrícola, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, para los 32 municipios del Estado; las isolíneas muestran áreas de diferente grado de rendimiento.

En relación con la figura 38, como ya se dijo en el capítulo titulado precipitación, en el Estado de Morelos se aprecia claramente la influencia de la orografía en la distribución de la lluvia. Las estribaciones de la Sierra de Chichinautzin y del Popocatépetl representan los lugares de mayor altitud y mayor cantidad de lluvia del Estado; tienen precipitación superior a 1 200 mm y son las regiones más lluviosas.

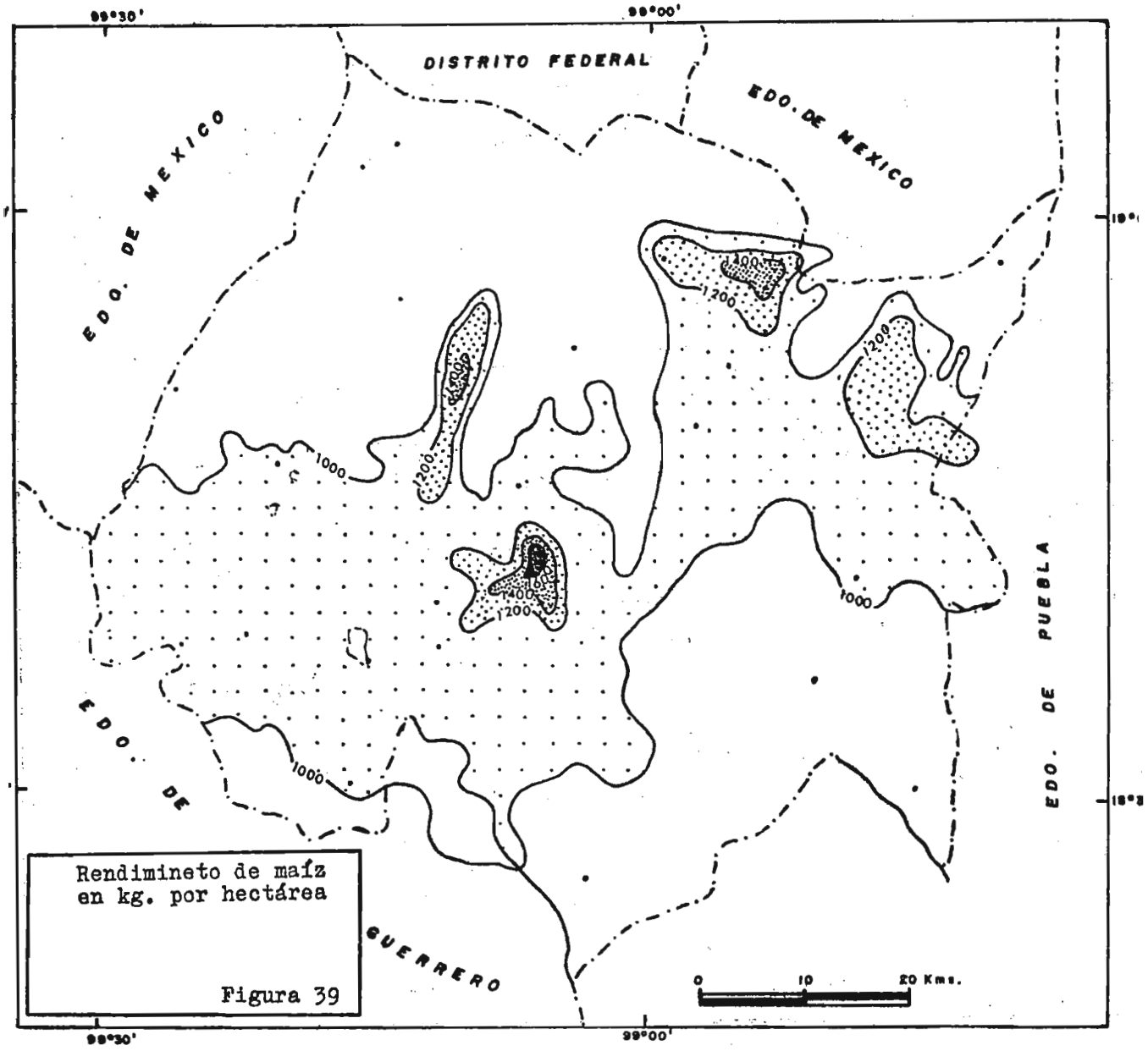
En la zona norte del Estado hay una franja que cruza de este a oeste, que corresponde también a abundantes lluvias que se encuentran entre 1 000 y 1 200 milímetros; en ella queda incluida la capital del Estado, Cuernavaca. Esta faja recurva en el extremo suroccidental del Estado, abarcando las faldas de la Sierra de Huitzuco en los límites con el vecino Estado de Guerrero.

La isoyeta de 800 mm marca una pequeña zona en el municipio de Ticumán, como la de menor lluvia en el centro del Estado y otra área en el extremo sureste, en los límites con Puebla, que abarca parte de los



Precipitación total anual en mm.

Figura 38



Rendimineto de maíz en kg. por hectárea

Figura 39

municipios de Jantetelco, Jonacatepec y Axochiapan.

En la figura 39, que corresponde al mapa de distribución del rendimiento en kilogramos de maíz por hectárea, se observa cómo el cultivo se realiza en todos los municipios del Estado, debido, sin duda, a que sigue constituyendo la dieta básica del mexicano. En su mayor parte el cultivo es de tipo de temporal y en muy pocos lugares de riego.

Los datos que aquí se trabajaron corresponden exclusivamente al tipo de cultivo de temporal, debido a que se busca una relación entre el mapa de rendimiento y el de distribución de la precipitación.

Las isolíneas fueron trazadas utilizando los datos de rendimiento en kilogramos por hectárea cultivada, proporcionados por la S. A. y R. H., para los 32 municipios del Estado.

Se observan cuatro zonas con rendimiento mayor de 1 200 kg por hectárea: el municipio de Tlaltizapán, en su zona sur, tiene el rendimiento más alto del Estado, con más de 1 700 kg por hectárea cultivada de maíz; los municipios de Jiutepec y Emiliano Zapata, al sureste de Cuernavaca, forman la segunda zona con rendimientos superiores a 1 400 kg por hectárea; la tercera zona se localiza hacia el norte, en los municipios de Atlatlahucan y Tlayacapan que tienen rendimientos superiores a 1 400 kg por hectárea, y la cuarta zona se localiza al noreste del Estado y abarca la mitad sur del municipio de Ocuituco, con rendimiento superior a 1 300 kg por hectárea.

Ha sido marcada en el mapa, con achure de puntos, la zona que registra rendimientos mayores a 1 000 kg como se observa, es ésta una amplia área que corresponde a la parte central del Estado, y hacia el noreste llega hasta las faldas del Popocatépetl.

Para encontrar la relación que hay entre los dos mapas, el primer paso fue trazar una red de puntos equidistantes o cuadrícula que cubre todo el Estado. Los puntos de intersección aparecen numerados siguiendo líneas horizontales en dirección de oeste a este. Se utilizaron 32 puntos.

La figura 40 muestra esta red; obsérvese que junto a cada punto han sido anotados dos valores que fueron obtenidos por interpolación, de las figuras 38 y 39. Cada uno de los valores de la red ha sido medido separadamente para cada distribución.

El dato que aparece en la parte superior del punto corresponde a la precipitación en milímetros y el de la parte inferior al rendimiento de maíz en kilogramos por hectárea.

Ejemplo:

820 precipitación

1 200 rendimiento

Las columnas que en sentido vertical forman esta red de puntos, que fueron también numeradas de oeste a este, resultaron en número de 7. Se calculó la media para cada columna, de cada uno de los dos tipos de valores y se trazó una gráfica en la que aparecen las dos variables por separado (parte inferior de la figura 40). Cada punto en la gráfica es el promedio de toda la columna de valores en dirección norte-sur. La línea punteada representa el rendimiento de maíz en kilos por hectárea, y la línea continua la precipitación en milímetros.

El propósito de estos dos perfiles promedio es ilustrar más claramente el problema y, en vista de que fueron empleadas dos escalas de medida, es necesario hacer la normalización de los datos a fin de poder comparar las dos series de números. Esto se hace transformando una serie a la escala de la otra, de modo que las variaciones en rendimiento correspondan a variaciones en precipitación; con este propósito se empleó la regresión de rendimiento sobre precipitación, de la siguiente manera: se hizo un diagrama de dispersión de los valores originales de los pares de valores X y Y obtenidos en las intersecciones de la red utilizada en la figura 40. Estos puntos aparecen ahora en una gráfica de dispersión cuyas coordenadas son Y de rendimiento y X de precipitación (figura 41).

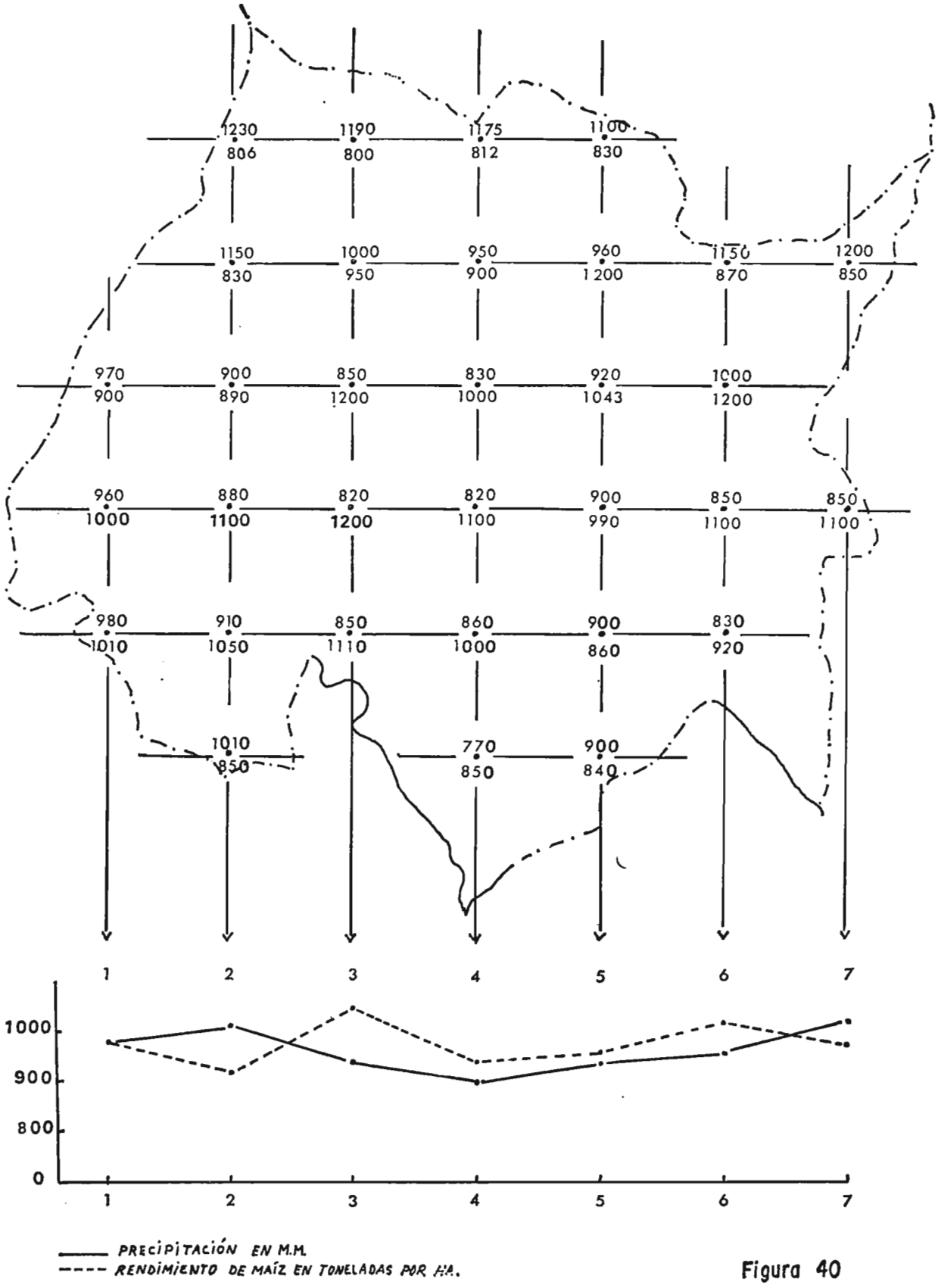

1230 806
1190 800
1175 812
1100 830
1150 830
1000 950
950 900
960 1200
1150 870
1200 850
970 900
900 890
850 1200
830 1000
920 1043
1000 1200
960 1000
880 1100
820 1200
820 1100
900 990
850 1100
850 1100
980 1010
910 1050
850 1110
860 1000
900 860
830 920
1010 850
770 850
900 840
1 2 3 4 5 6 7
1000
900
800
0
1 2 3 4 5 6 7
PRECIPITACIÓN EN M.M.
RENDIMIENTO DE MAÍZ EN TONELADAS POR HA.

Figura 40

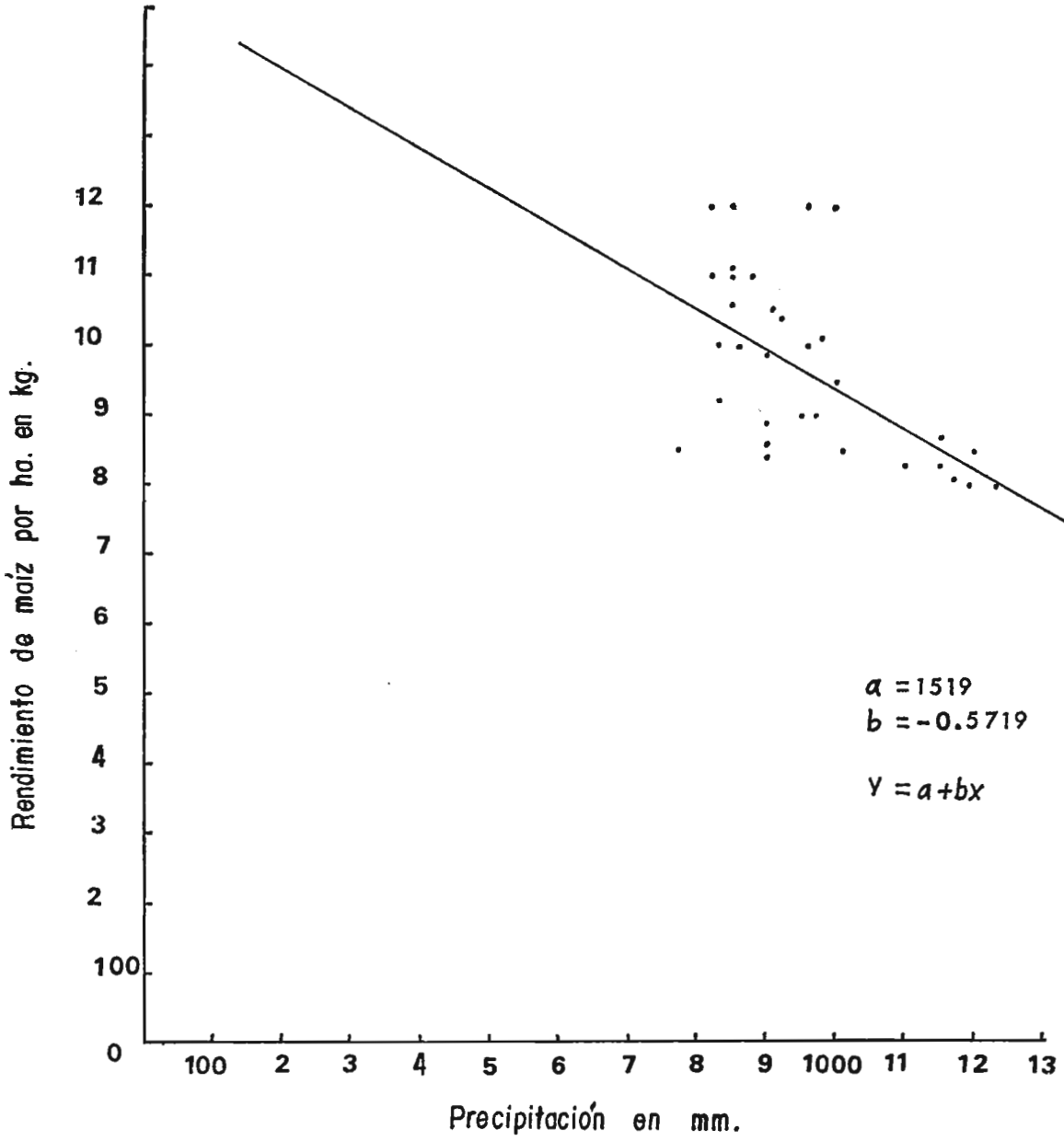


Diagrama de dispersión de los 32 puntos de la red.

Figura 41

Con sólo observar directamente un diagrama de dispersión se puede determinar de manera cualitativa si una recta o una curva dada describe la relación entre variables. Pero cuando se desea conocer la relación de manera cuantitativa, se hace por medio de una ecuación matemática que ligue las variables. Es decir, al diagrama de dispersión le puede ser ajustada una curva de aproximación.

El tipo más sencillo de curva de aproximación es la línea recta conocida como regresión lineal ordinaria, cuya dirección e inclinación puede describirse por la ecuación lineal general:

$$Y = a + bX$$

en la cual X y Y son las dos variables; a y b son constantes que pueden ser determinadas por el método de mínimos cuadrados.

Las siguientes son las llamadas ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados que fueron utilizadas para calcular las constantes a y b.

$$a = \frac{\Sigma y \,.\, \Sigma x^2 - \Sigma x \,.\, \Sigma xy}{N\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{N\Sigma xy - \Sigma x \,.\, \Sigma y}{N\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

Al unir los puntos a y b sobre la gráfica, se tiene la dirección de la recta que se aprecia en la figura 41. Resultó una correlación negativa; es decir, la línea se inclina hacia la derecha, lo que se interpreta en la zona como que a mayor precipitación menor rendimiento de maíz por hectárea. Esto se debe al hecho de que las mayores precipitaciones se presentan en zonas montañosas de gran pendiente, que no son las más aptas para el cultivo.

El coeficiente a es la ordenada en el origen; b es la pendiente.

La figura 42 muestra una gráfica en la que aparecen dos líneas que son las mismas de la parte de abajo de la figura 40, pero se ha agregado una línea más gruesa que representa el perfil original de precipitación expresado a la misma escala que el rendimiento. Ésta fue ajustada por medio de la ecuación de regresión, para las series de los 32 promedios de precipitación anual. Ahora tienen la misma media y desviación estándar que la serie de valores del rendimiento de maíz.

La ecuación de regresión se calculó sólo con los datos de precipitación, para dar valores comparables de rendimiento; el resultado se denominó rendimiento calculado Rc.

Utilizando $Y = a + bX$, y conociendo los valores

$$a = 1\,520$$
$$b = -0.5\,719$$
$$\text{Si } X = 970 \text{ mm}$$
$$Y = 1\,520 - 0.5\,719 \times 970 = 965.3$$

De acuerdo con la relación que se deduce de esta muestra, se espera que un lugar del Estado de Morelos que tenga 970 mm de lluvia anual tenga un rendimiento de maíz de 965.3 kilos por hectárea.

En la gráfica aparecen los valores de los puntos que se utilizaron para el trazo de la línea que sirvió como base para el cálculo de una nueva red de puntos con los que se trazaron las isolíneas de correlación. Este mapa mostraría la distribución del rendimiento de maíz si sólo dependiera de la distribución anual de la precipitación.

Para calcular si los valores de estos nuevos puntos son positivos o negativos se midió la distancia en la gráfica, entre la línea gruesa y el valor de cada uno de los datos de rendimiento de maíz. Esto es una simple resta entre los valores mencionados.

Si la correspondencia de las distribuciones fuera perfecta, las dos líneas coincidirían.

La figura 43 es el mapa de los resultados, obtenido de la comparación de los otros dos; las áreas punteadas son las regiones de mayor correspondencia, y las sombreadas con achure las de menor correspondencia, entre los dos mapas originales.

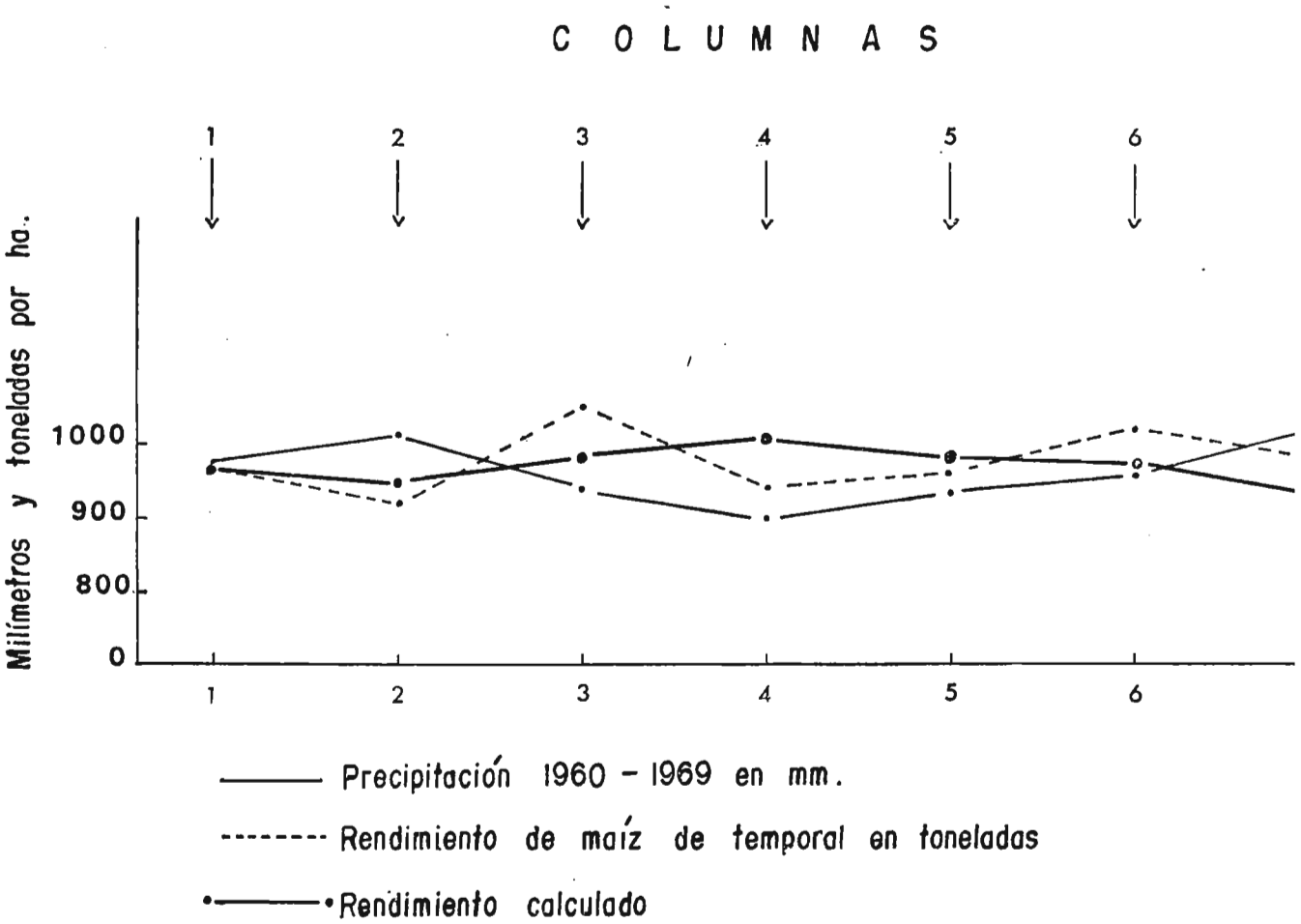
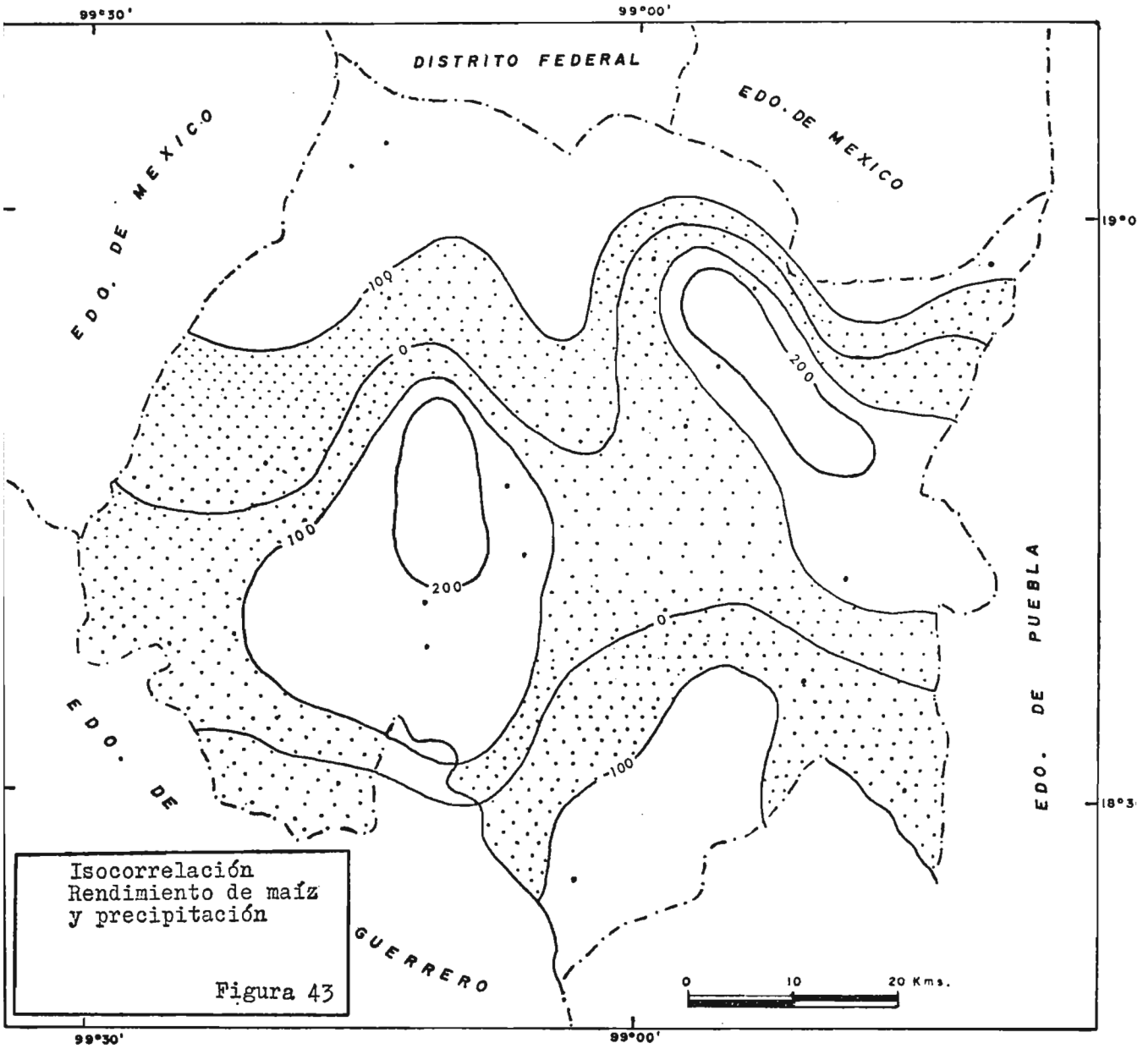

C O L U M N A S
1
2
3
4
5
6
Milímetros y toneladas por ha.
1000
900
800
0
Precipitación 1960 - 1969 en mm.
Rendimiento de maíz de temporal en toneladas
Rendimiento calculado

Figura 42



Isocorrelación
Rendimiento de maíz
y precipitación

Figura 43

La región central del Estado resultó tener valores positivos; pero la rodean dos franjas, una hacia el norte y otra hacia el sur, de valores negativos.

Los valores son positivos o negativos según se localicen en la gráfica, hacia arriba o por abajo de la curva de línea gruesa.

Las regiones que resultaron con mínima relación entre los mapas fueron tres, dos de ellas se encuentran hacia el centro del Estado; una abarca los municipios de Emiliano Zapata, Xochitepec, Tlaltizapán y Zacatepec. La segunda abarca la parte sur del municipio de Tlayacapan, Atlatlahucan, Yecapixtla y Zacualtipan.

La tercera es una franja que abarca las estribaciones de la Sierra del Chichinautzin, en el norte del estado.

Los lugares por donde pasa la isolínea cero son los que registran mayor relación entre las distribuciones que se estudian y, como puede observarse en el mapa, son franjas que cruzan el Estado de este a oeste y corresponden a las áreas punteadas.

Debe tenerse en cuenta que hay muchos factores, además de la precipitación, que influyen en el rendimiento del maíz, y deben ser estudiados por separado, tales como el tipo de suelo, clases de semillas, uso de fertilizantes, etcétera. El mapa que resultó es una generalización por zonas, y recordemos que todas las generalizaciones están sujetas a mayor o menor grado de error; éste depende, desde luego, de la veracidad de los datos que se emplean.

Relación entre precipitación total y frijol solo. Aplicando el mismo método se relacionaron los mapas de distribución de la lluvia anual (figura 38), y el mapa de distribución de rendimiento de frijol, en toneladas por hectárea (figura 44).

Al observar el mapa de rendimiento del frijol sólo destacan dos zonas de alto rendimiento, la primera corresponde al municipio de Tepalcingo, que produce cantidades superiores a 1 700 toneladas por hectárea, y la segunda corresponde al municipio de Totolapan, que produce más de 1 500 toneladas por hectárea.

Las regiones del Estado donde el rendimiento es menor, coinciden con las partes altas de las sierras Nevada (Popocatépetl) y de Chichinautzin, al norte, y la Sierra de Huautla, en el sur.

Hay otra región semejante a las ya citadas, con rendimiento inferior a 80 toneladas por hectárea, que abarca los municipios de Jiutepec, Emiliano Zapata, Xochitepec, Puente de Ixtla, Mazatepec, Miacatlán y Temixco, en la mitad noroeste del Estado. En el resto del Estado, el rendimiento de frijol está muy cercano a las 1 000 toneladas por hectárea.

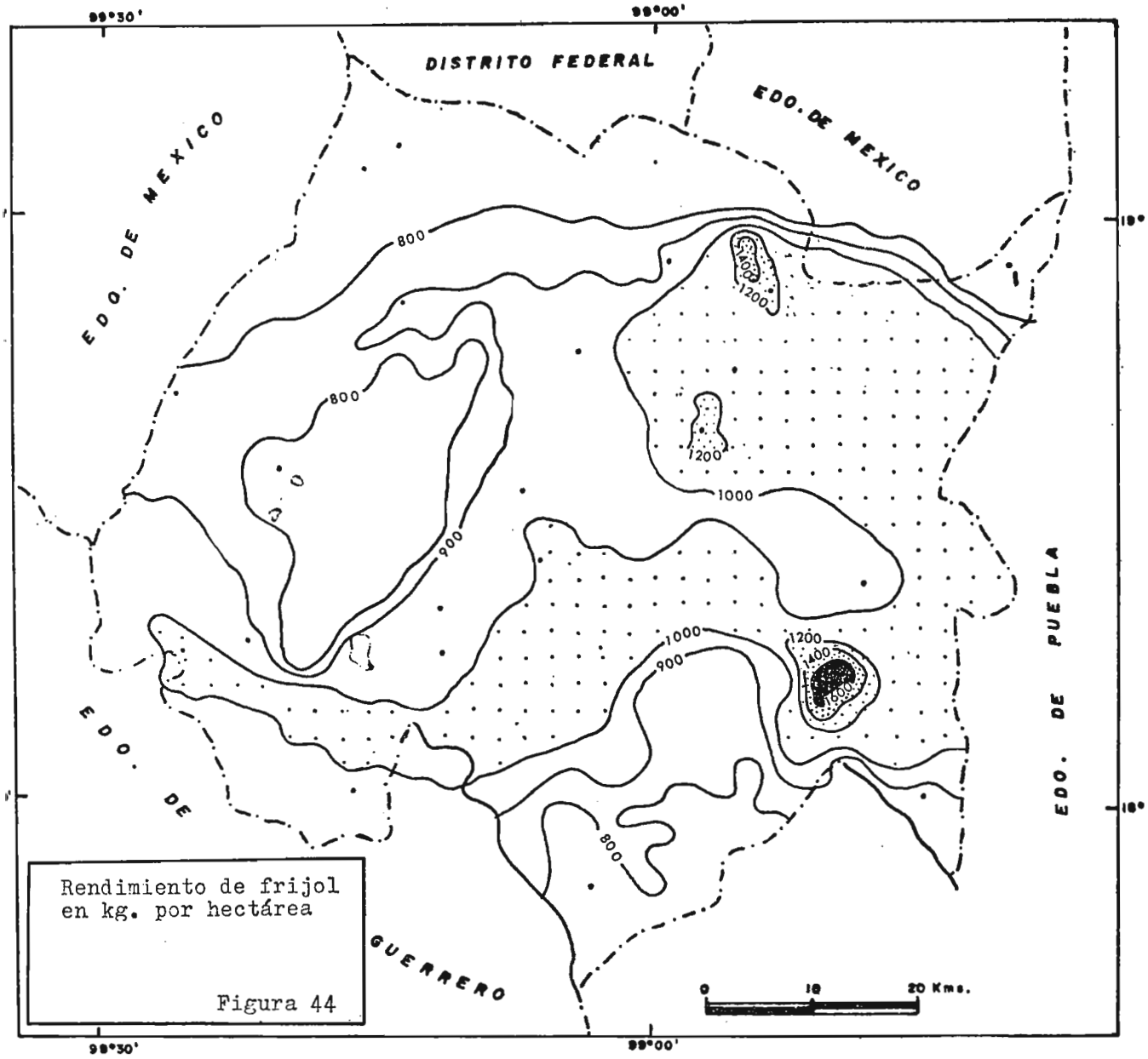
Se trazó en seguida la red de puntos, 32 en total, para cubrir todo el Estado (figura 45); las intersecciones de la cuadrícula están numeradas siguiendo líneas horizontales en dirección de oeste a este, y muestran los valores que fueron obtenidos por interpolación a partir de los mapas de isolíneas (figuras 38 y 44).

Las columnas que en sentido vertical forman esta red de puntos fueron también numeradas de oeste a este, y resultaron en número de siete; se calculó la media para cada columna de cada una de las variables y con este valor se trazó la gráfica que aparece al pie de la misma figura.

Como se mencionó antes, el propósito de estos dos perfiles promedio es ilustrar más claramente el problema, y notar que fueron empleadas dos escalas de medida. En seguide es necesario hacer la normalización de datos, transformando una serie a la escala de la otra, con el objeto de que variaciones en rendimiento correspondan a variaciones en precipitación.

Se trazó para esto el diagrama de dispersión de los valores originales de la red de intersecciones, y resultó la figura 46 en la cual se puede observar también la línea recta ajustada mediante el procedimiento de ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados y, así, calcular las constantes a y b. Las fórmulas que fueron utilizadas aparecen en el primer ejemplo.

Los coeficientes a y b tuvieron los siguientes valores:



Rendimiento de frijol en kg. por hectárea

Figura 44

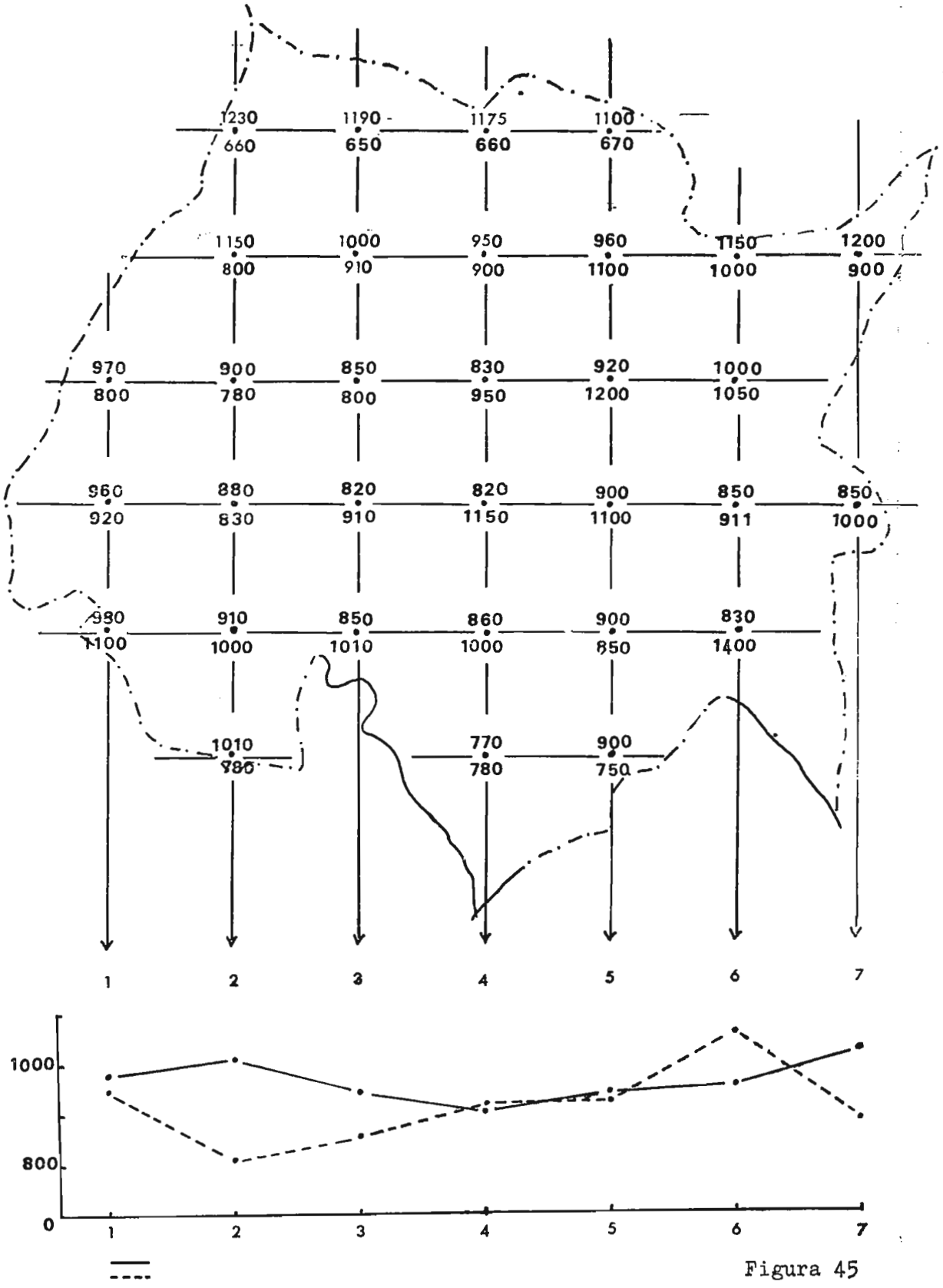

1230 660
1190 650
1175 660
1100 670
1150 800
1000 910
950 900
960 1100
1150 1000
1200 900
970 800
900 780
850 800
830 950
920 1200
1000 1050
960 920
880 830
820 910
820 1150
900 1100
850 911
850 1000
980 1100
910 1000
850 1010
860 1000
900 850
830 1400
1010 780
770 780
900 750
1
2
3
4
5
6
7
1000
800
0
1
2
3
4
5
6
7

Figura 45

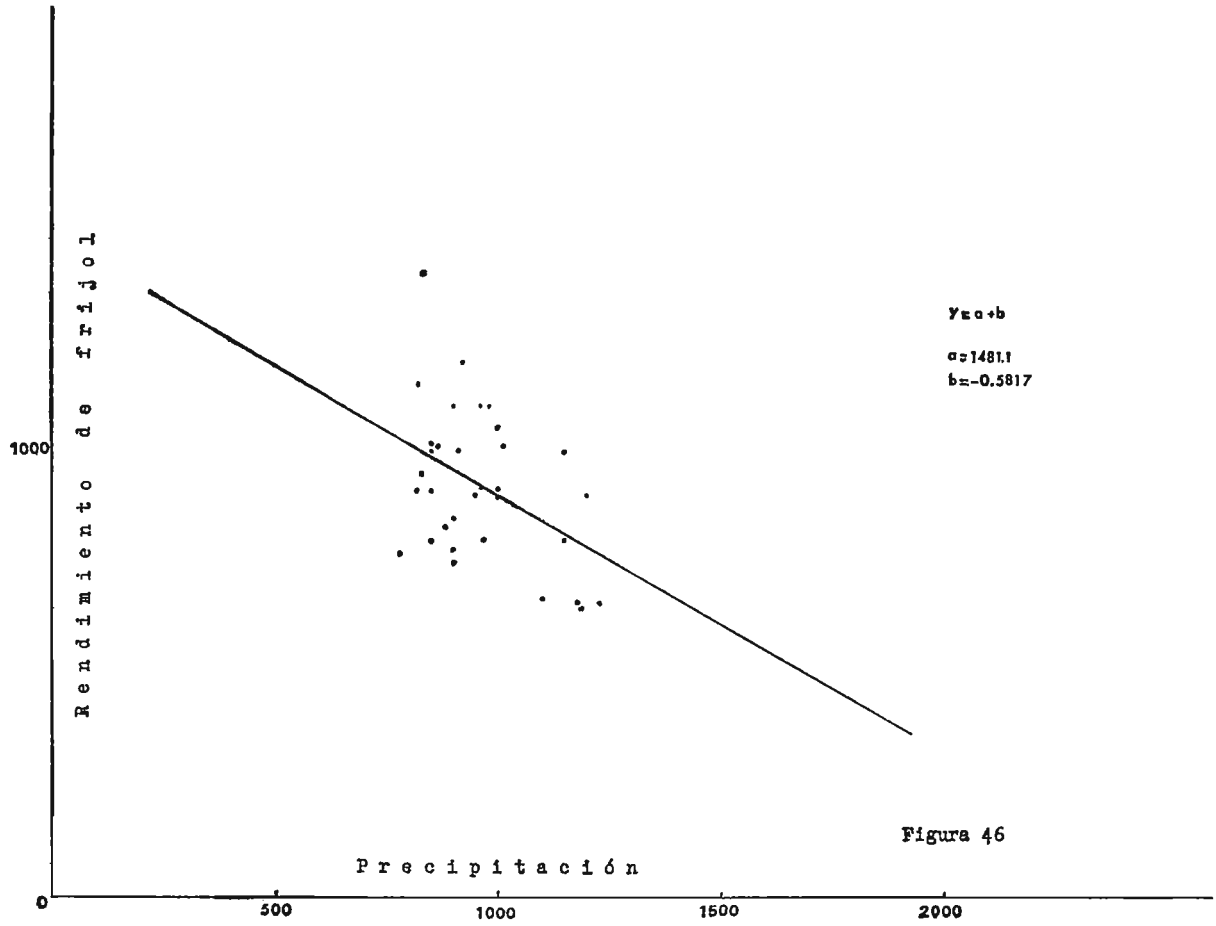

Rendimiento de frijol
1000
0
500
1000
1500
2000
Precipitación
y=a+b
a=1481.1
b=-0.5817

Figura 46

$$a = 1\,481.1$$
$$b = 0.5\,817$$

La línea recta se ajustó aplicando estos valores en la ecuación lineal general:

$$Y = a + bX$$

En la figura 47 aparece una gráfica mostrando el perfil de la precipitación expresada en la misma escala que el rendimiento de frijol por hectárea, en línea gruesa; también están los valores que fueron utilizados para el trazo de una nueva red de puntos con los que se trazaron las isolíneas de correlación.

Este mapa de relación (figura 48), muestra cómo serían las áreas de rendimiento de frijol si su distribución dependiera únicamente de la cantidad de lluvia anual. Si la correspondencia entre las dos distribuciones fuera perfecta, ambas líneas coincidirían.

Las regiones marcadas con achure en el mapa, en cuyo centro pasa la isolínea de cero, son las que tienen relación más estrecha, y las marcadas con puntos se alejan de ella. Obsérvese que las primeras comprenden amplias zonas que cruzan el Estado de este a oeste.

Relación entre la precipitación total y el rendimiento de jitomate

Se buscó también la posible relación entre los mapas de distribución de la lluvia (figura 38) y el mapa que representa el rendimiento en kilogramos de jitomate por hectárea sembrada (figura 49), ambos correspondientes al periodo 1960-69.

Resulta interesante observar la forma como se distribuyen los rendimientos de jitomate en los distintos municipios del Estado. En Emiliano Zapata y Xochitepec, al sur de Cuernavaca, se cosechan entre 12 000 y 15 000 kilogramos por hectárea, que son los mayores rendimientos del Estado. El municipio de Tepalcingo, hacia el sureste, registra un promedio de 13 000 kilos por hectárea, en el periodo considerado. Sigue en importancia la región de Tlayacapan-Tetelcingo-Cuautla, con rendimientos superiores a 10 000 kilos, y una cuarta zona que corresponde al municipio de Tlaquiltenango, se encuentra localizada en el área de Zacatepec-Jojutla, muy conocida por su producción azucarera y arrocera.

El resto del Estado de Morelos cuenta con rendimientos inferiores a 8 000 kg por hectárea, mismos que descienden en algunos lugares a 5 000 kg y aun a 4 000 kg en los municipios de Tlalnepantla y Totolapan al noreste del Estado.

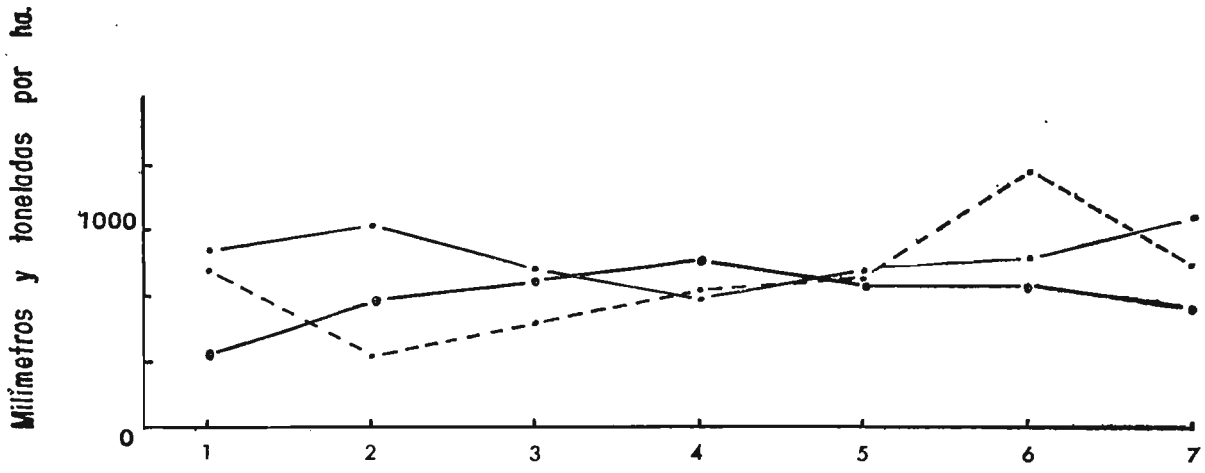
Se procedió, en primer término, a trazar la red de 32 puntos guía que se emplearon como base en la relación que se piensa debe existir entre las dos variables. Esta red aparece en la figura 50. En seguida se trazó la gráfica que representa los valores promedio de cada una de las siete columnas que en sentido vertical resultan de la red de puntos, cuyos perfiles aparecen en la figura 51; en éstos se observa la diferencia de escalas en que se representan los parámetros que se estudian y que hace obligada una transformación de los valores de una variable a la escala de la otra; esto es lo que se llama homogeneizar los datos.

Para ello, se procedió a trazar el diagrama de la dispersión de los 32 puntos empleados en la red, mismo que aparece en la figura 52, y en seguida se le ajustó una recta mediante el procedimiento de ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados. El resultado fue, como se observa en la figura, una correlación negativa, lo que significa que, a mayor rendimiento corresponden precipitaciones del orden de los 800 mm, y cuando las precipitaciones se presentaron en cantidades mayores los rendimientos disminuyeron.

Los valores de los coeficientes a y b resultaron como sigue:

$$a = 16\,013$$
$$b = -9.007$$

Utilizando estos valores se ajustó la línea más gruesa a la parte superior de la gráfica de la figura 53, que representa la precipitación expresada en la misma escala

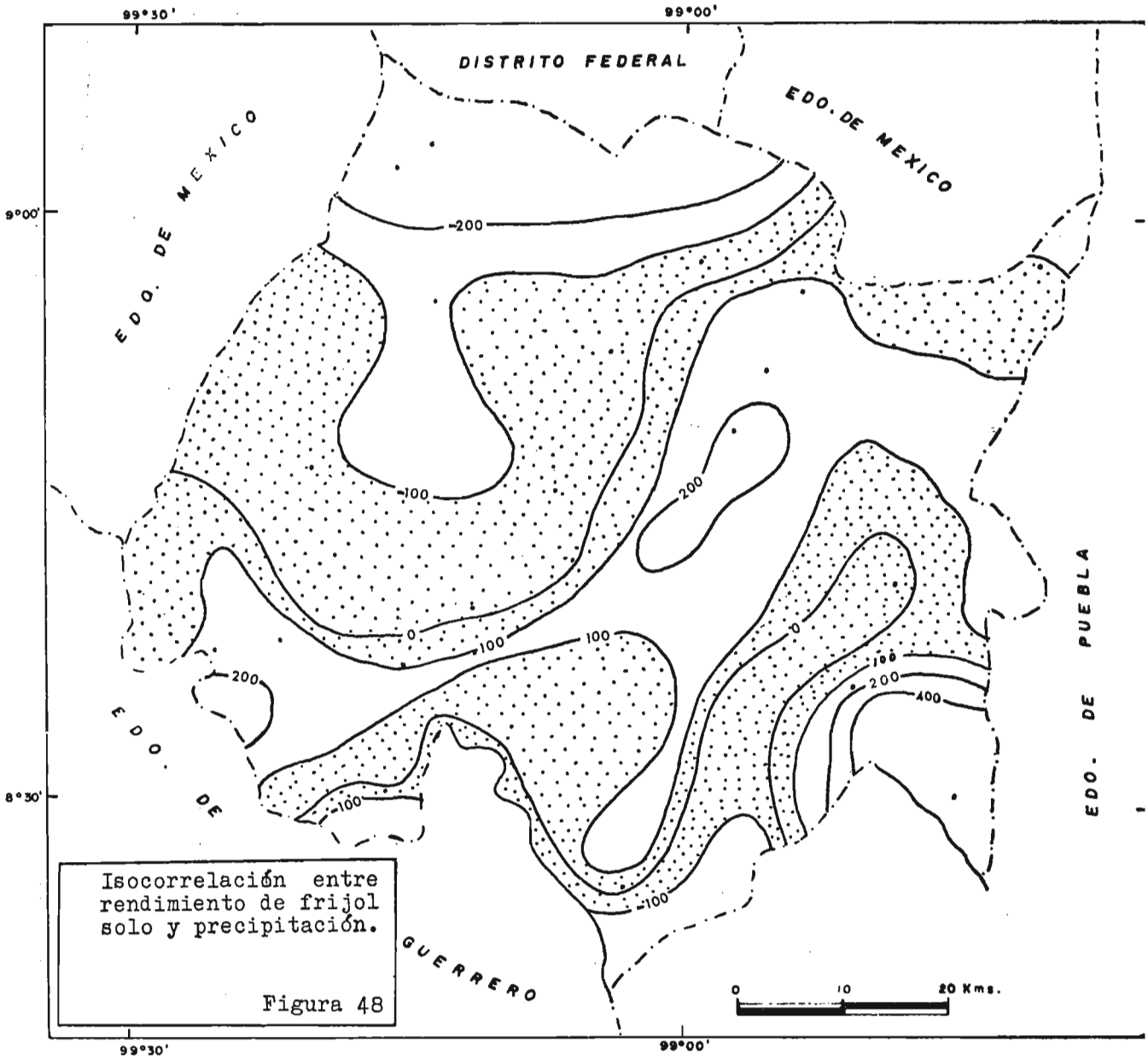


——— Precipitación total.

------ Rendimiento de frijol

•———• Rendimiento calculado

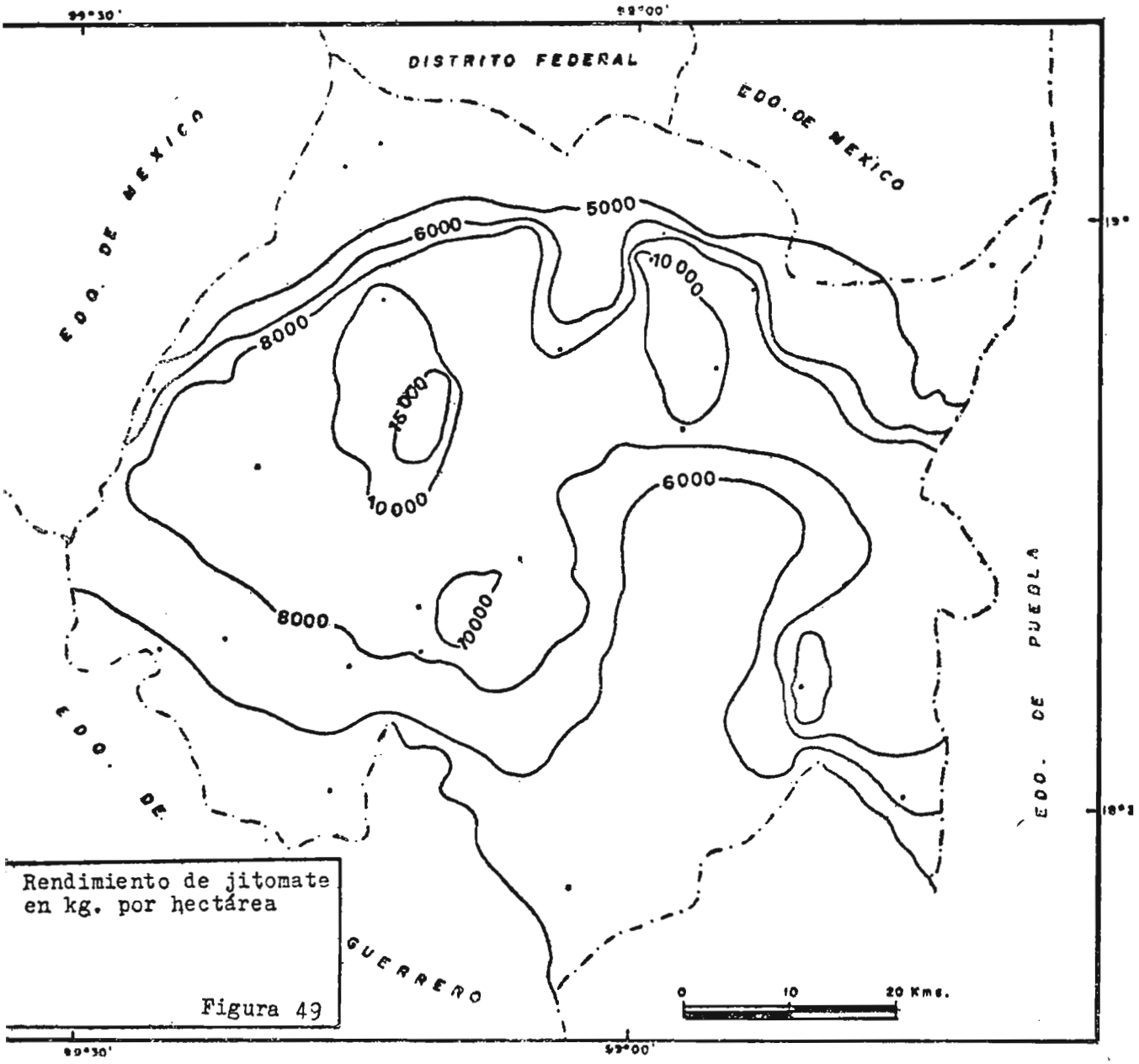
Figura 47



Isocorrelación entre rendimiento de frijol solo y precipitación.

Figura 48

U N A M
GEOGRAF
BIBLIOTECA



Rendimiento de jitomate en kg. por hectárea

Figura 49

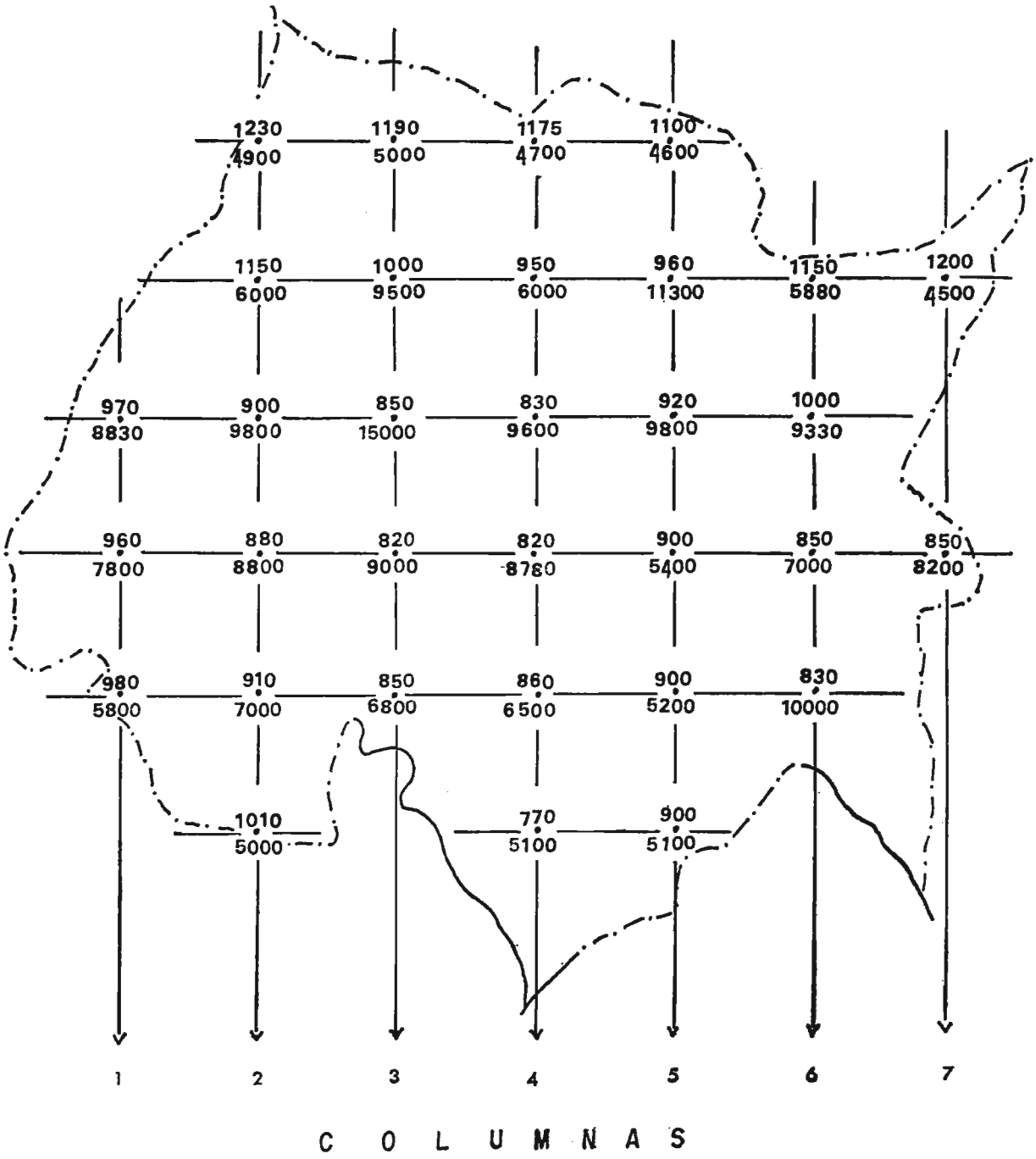

1230 4900
1190 5000
1175 4700
1100 4600
1150 6000
1000 9500
950 6000
960 11300
1150 5880
1200 4500
970 8830
900 9800
850 15000
830 9600
920 9800
1000 9330
960 7800
880 8800
820 9000
820 8780
900 5400
850 7000
850 8200
980 5800
910 7000
850 6800
860 6500
900 5200
830 10000
1010 5000
770 5100
900 5100
1
2
3
4
5
6
7
C O L U M N A S

Figura 50

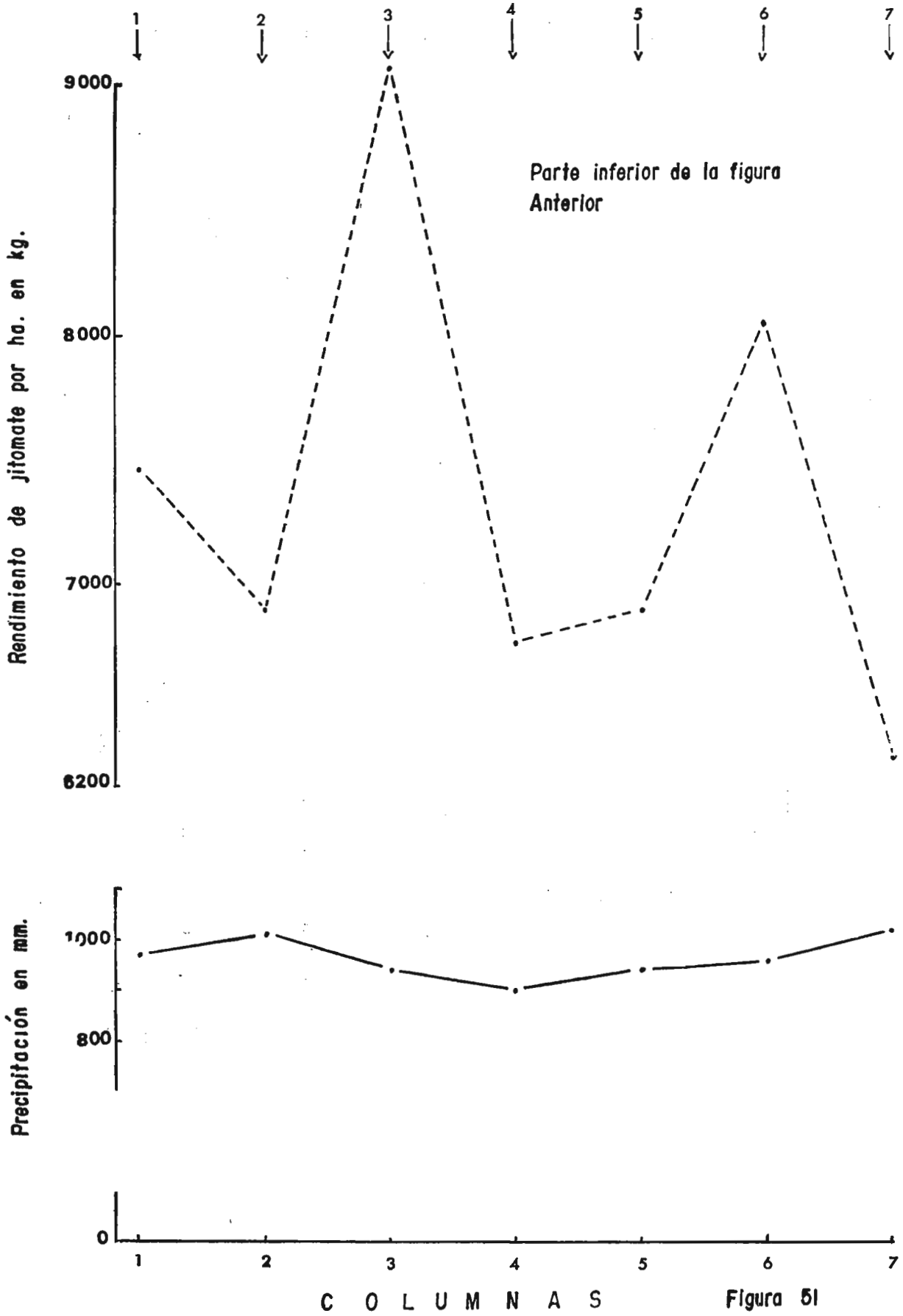

1
2
3
4
5
6
7
9000
8000
7000
6200
Rendimiento de jitomate por ha. en kg.
Parte inferior de la figura
Anterior
1000
800
0
Precipitación en mm.
1
2
3
4
5
6
7
C O L U M N A S

Figura 51

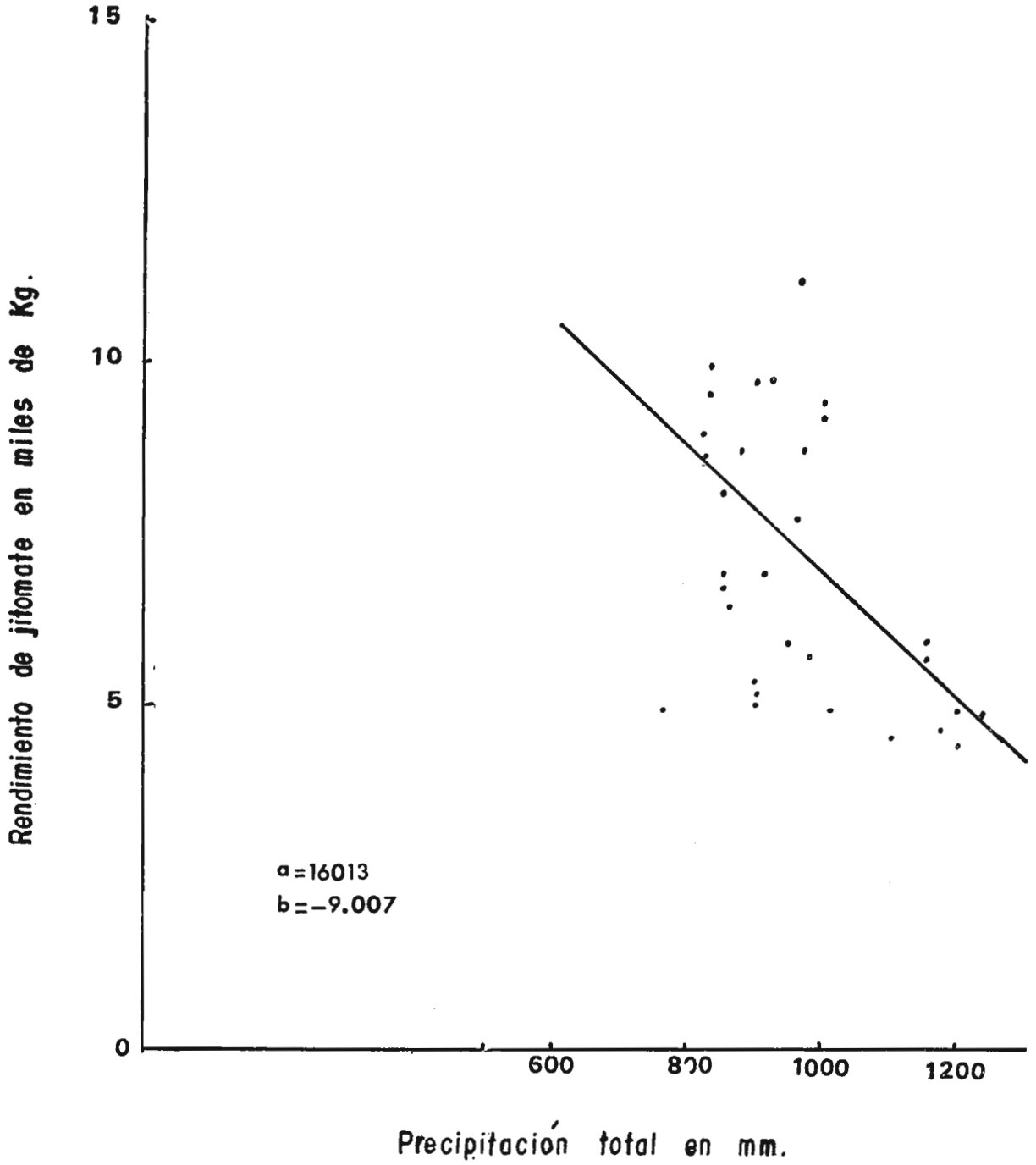

15
10
5
0
Rendimiento de jitomate en miles de Kg.
a=16013
b=-9.007
600
800
1000
1200
Precipitación total en mm.

Figura 52

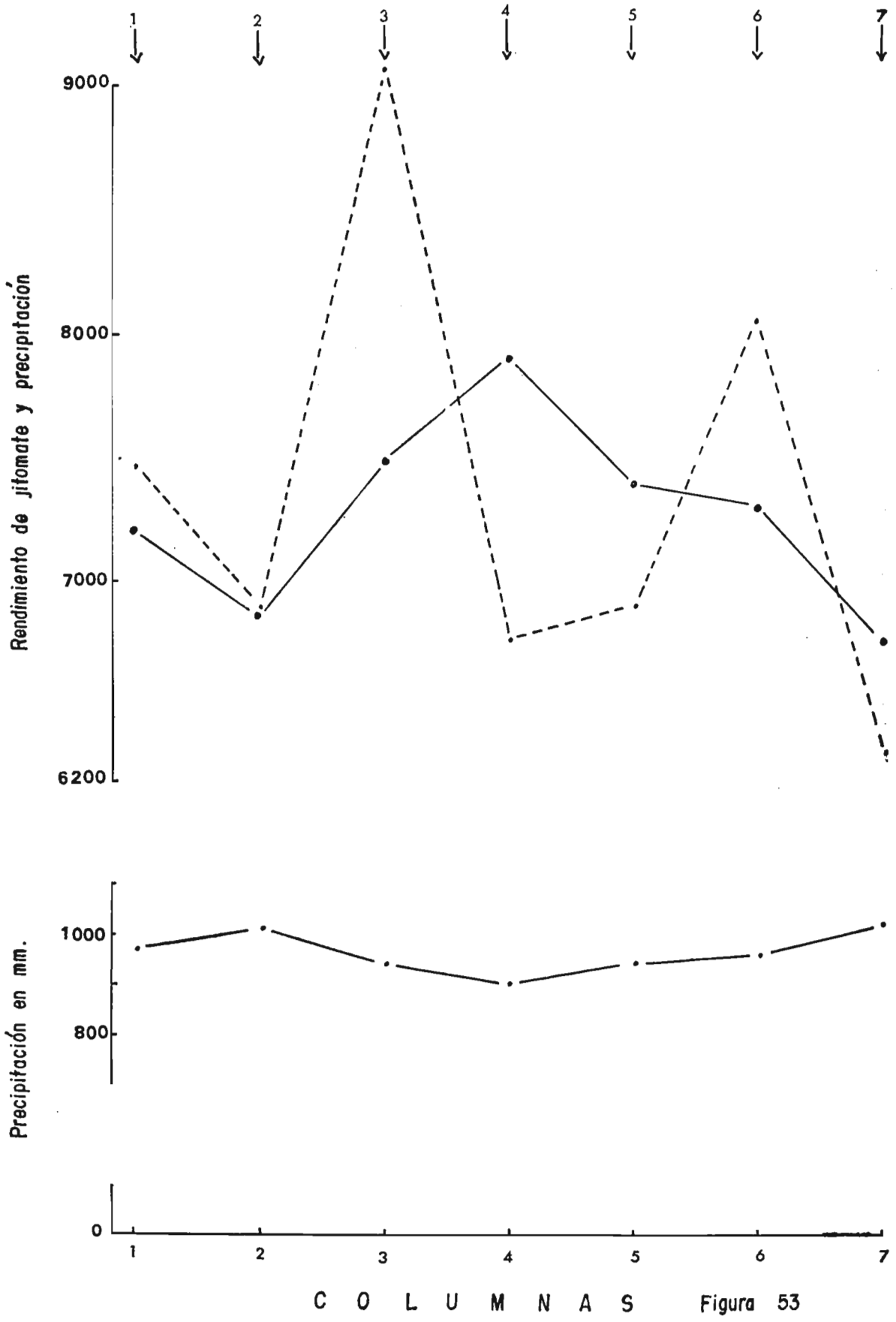

1
2
3
4
5
6
7
9000
8000
7000
6200
Rendimiento de jitomate y precipitación
1000
800
0
Precipitación en mm.
1
2
3
4
5
6
7
C O L U M N A S

Figura 53

que el rendimiento, cuyos valores sirvieron como base para el cálculo de los nuevos puntos de otra red con los cuales se trazó el mapa de isocorrelación, o sea el mapa que representa la relación existente entre las dos distribuciones originalmente presentadas.

En este mapa (figura 54) se observan dos áreas reducidas en las que existe estrecha relación; están marcadas con puntos y abarcan dos franjas que cruzan el Estado de este a oeste.

Como se mencionó con anterioridad, no se aspira a explicar aquí las variaciones en el rendimiento de la producción del jitomate, basándose únicamente en la distribución de la cantidad de precipitación pluvial, pues hay otros muchos factores que influyen en ella, pero se considera que puede ser de utilidad conocer las áreas que presentan mayor o menor relación entre las dos variables que se estudian.

Relación entre la precipitación total y la altitud

Al aplicar el mismo método para relacionar el mapa de distribución de la precipitación total anual, figura 38, y el de altitud sobre el nivel del mar o topografía del terreno, figura 1, representada por curvas de nivel, se procedió a trazar la red de puntos que, en número de 32, cubren la totalidad del Estado, y a trazar las gráficas representativas de los promedios de las columnas en sentido vertical de esta red, ver figura 55.

Se aprecia claramente en la gráfica que aparece en la figura 56, la diferencia de escalas utilizadas para representar las dos variables que se estan relacionando, por este motivo se hizo necesario efectuar la normalización de los datos; es decir, transformando los valores de una escala en la otra.

Como siguiente paso se trazó el diagrama de dispersión, figura 57, de los valores de la red de puntos, y se le adaptó la línea recta mediante el procedimiento de ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados, misma que resultó una correlación positiva, pues a menor altitud se registra menor cantidad de lluvia y a mayor altitud mayor lluvia; para esto se calcularon los coeficientes a y b que son necesarios para trabajar los valores que aparecen en la figura 58 en línea gruesa, misma que representa la precipitación a la misma escala que la altitud.

Los valores a y b resultaron como sigue:

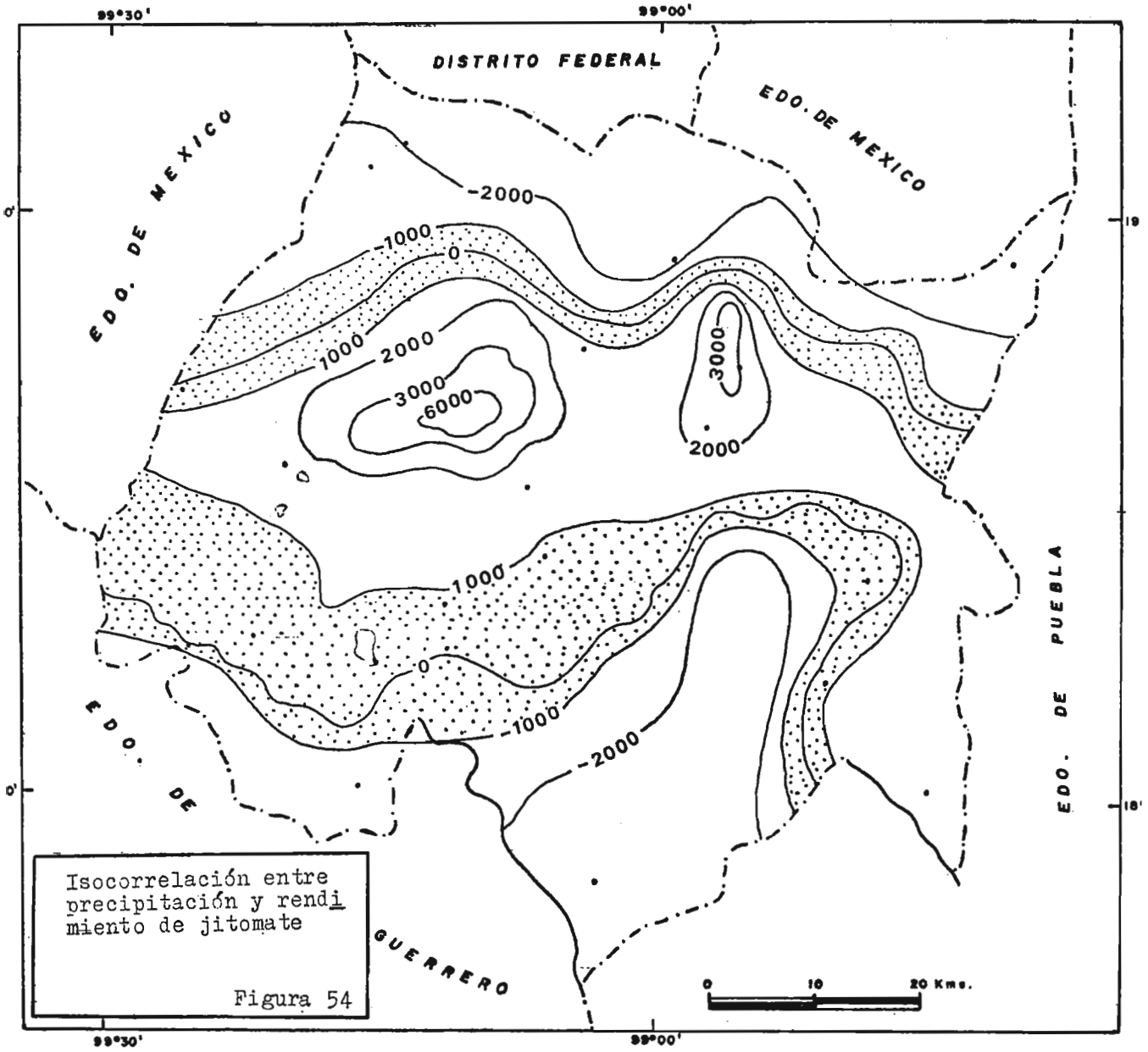
$$a = 2\,345.9$$
$$b = 4.\ 03$$

Las fórmulas empleadas ya fueron mencionadas con anterioridad.

A partir de los valores de esta línea se obtuvieron los nuevos valores con signo positivo o negativo que sirven como base para trazar el mapa en el que se observan áreas con mayor o menor grado de relación entre la precipitación y la altitud (figura 59).

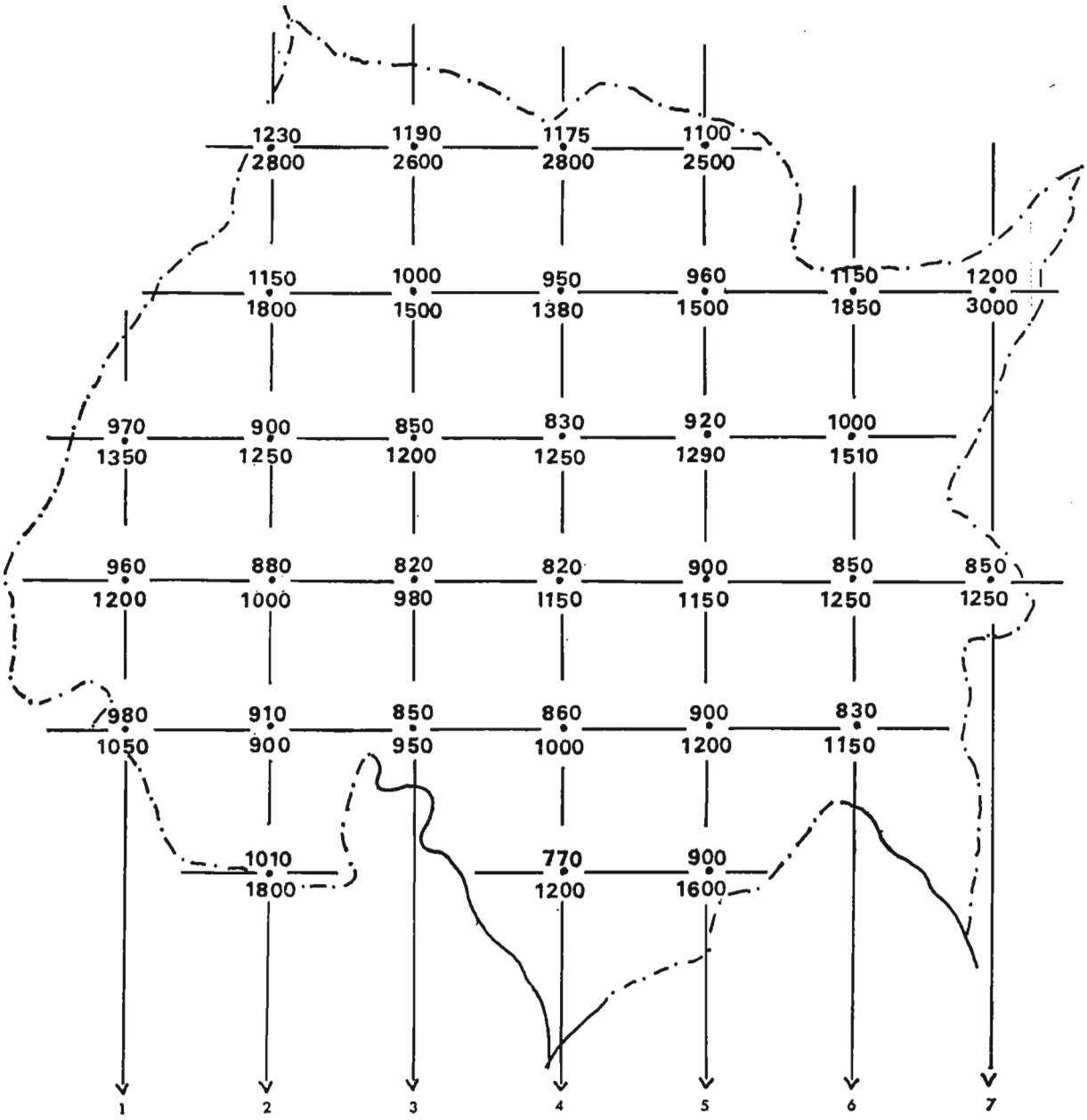
Las áreas en las cuales la lluvia se explica por la altitud, aparecen achuradas. La primera abarca parte de la mitad norte del Estado, las estribaciones bajas del Chichinautzin y de la Sierra Nevada y los valles de Yautepec, Cuernavaca y Cuautla.

Otra región que presenta marcada relación entre las variables precipitación y altitud corresponde a la parte sur del Estado, en Tilzapotla, abarca parte de la Sierra de Huitzuco y la Sierra de Huautla en los límites con los estados de Guerrero y Puebla. En el resto del área se encuentran con signo (+) positivo desviaciones muy fuertes en exceso, y con signo (−) negativo desviaciones muy fuertes en defecto.



Isocorrelación entre precipitación y rendimiento de jitomate

Figura 54



C O L U M N A S

Figura 55

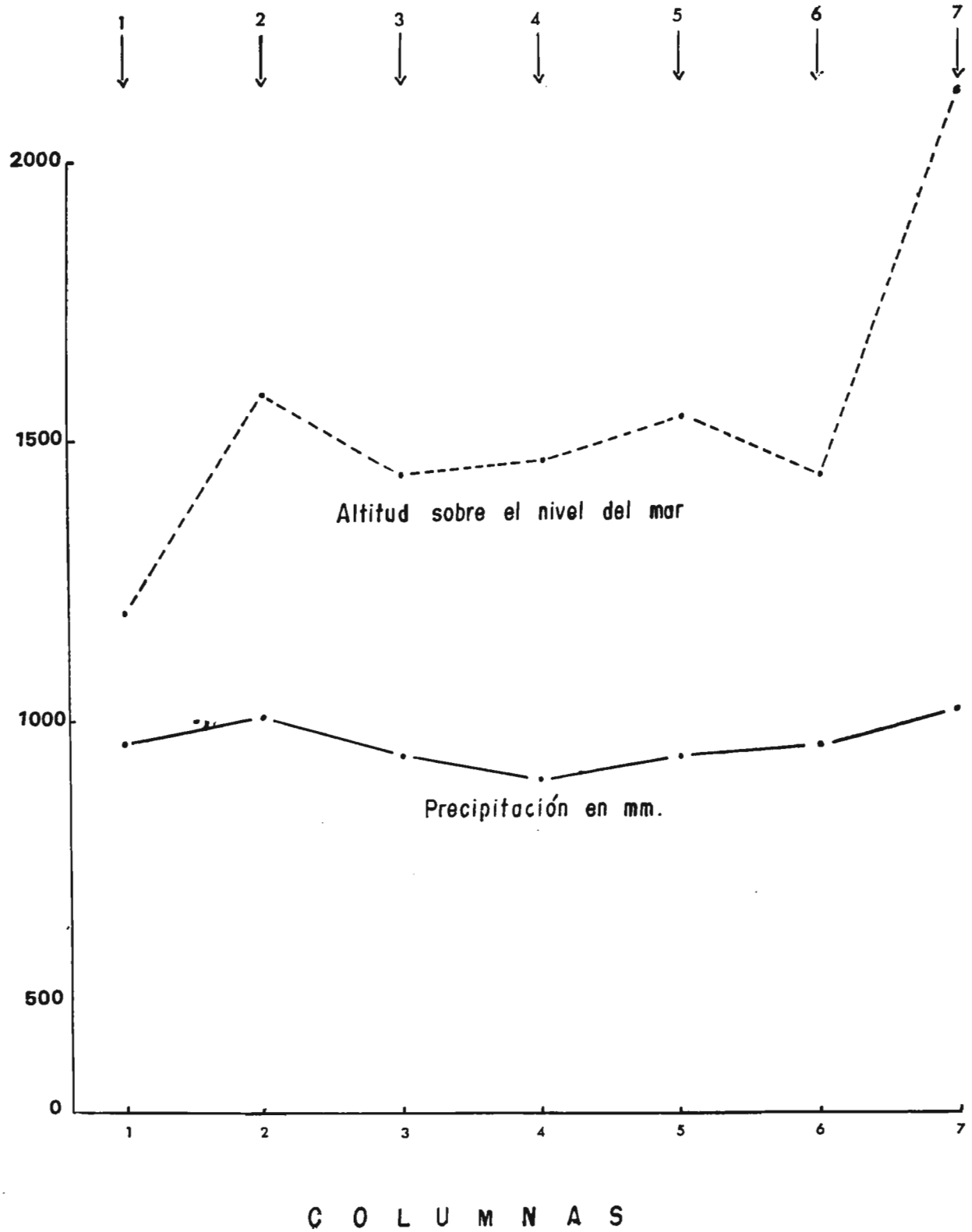

1
2
3
4
5
6
7
2000
1500
1000
500
0
Altitud sobre el nivel del mar
Precipitación en mm.
1
2
3
4
5
6
7
C O L U M N A S

Figura 56

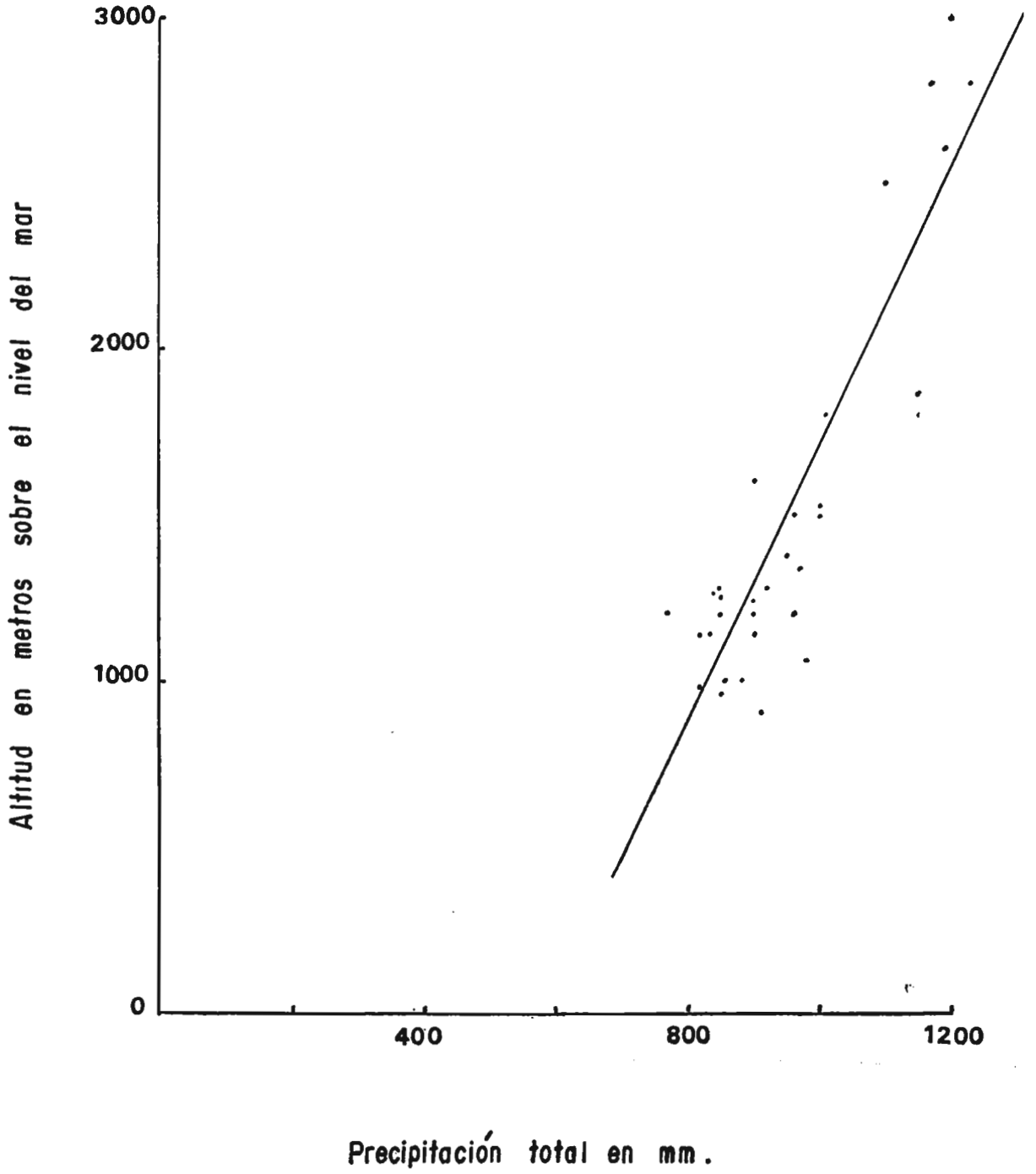

3000
2000
1000
0
400
800
1200
Altitud en metros sobre el nivel del mar
Precipitación total en mm.

Figura 57

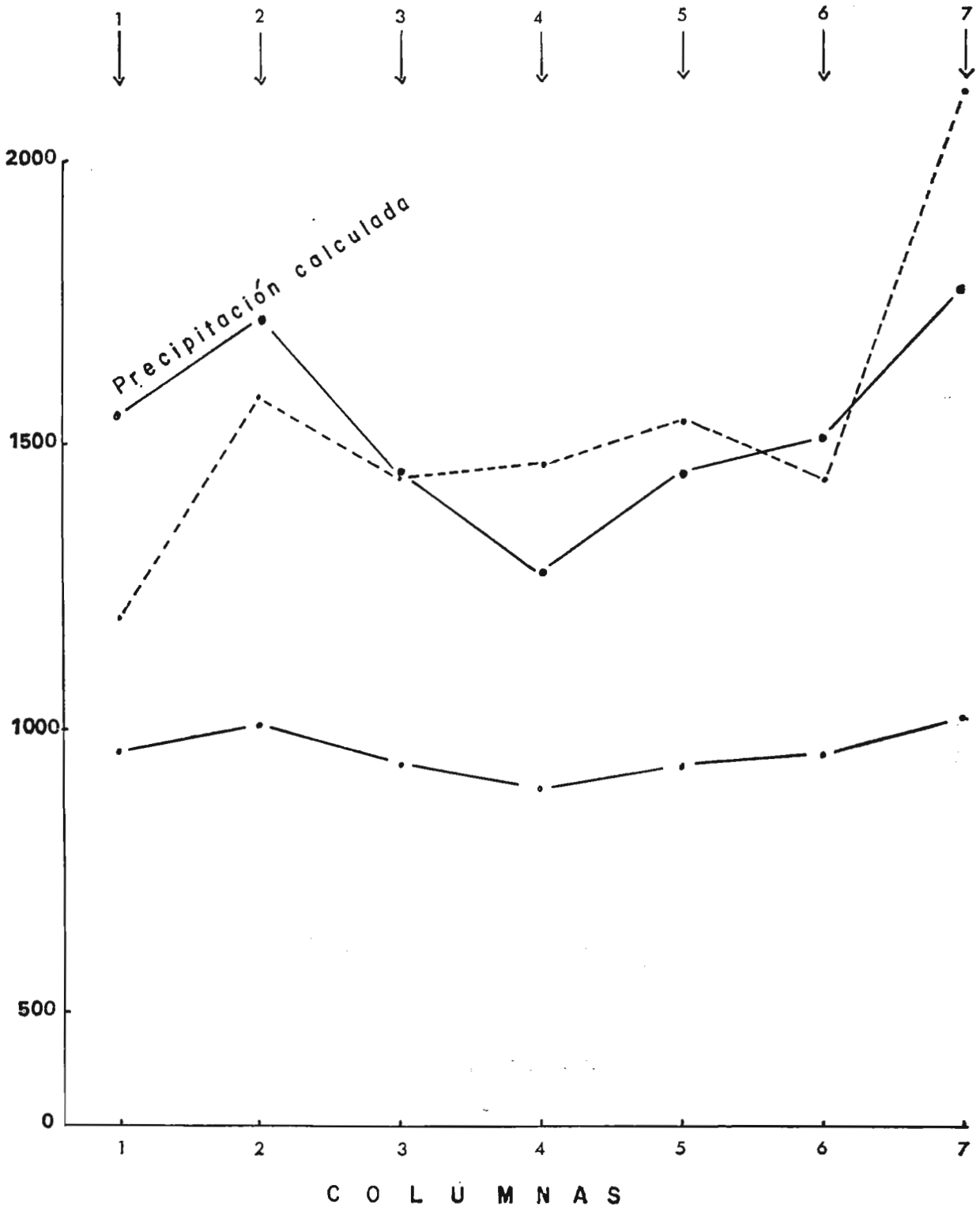
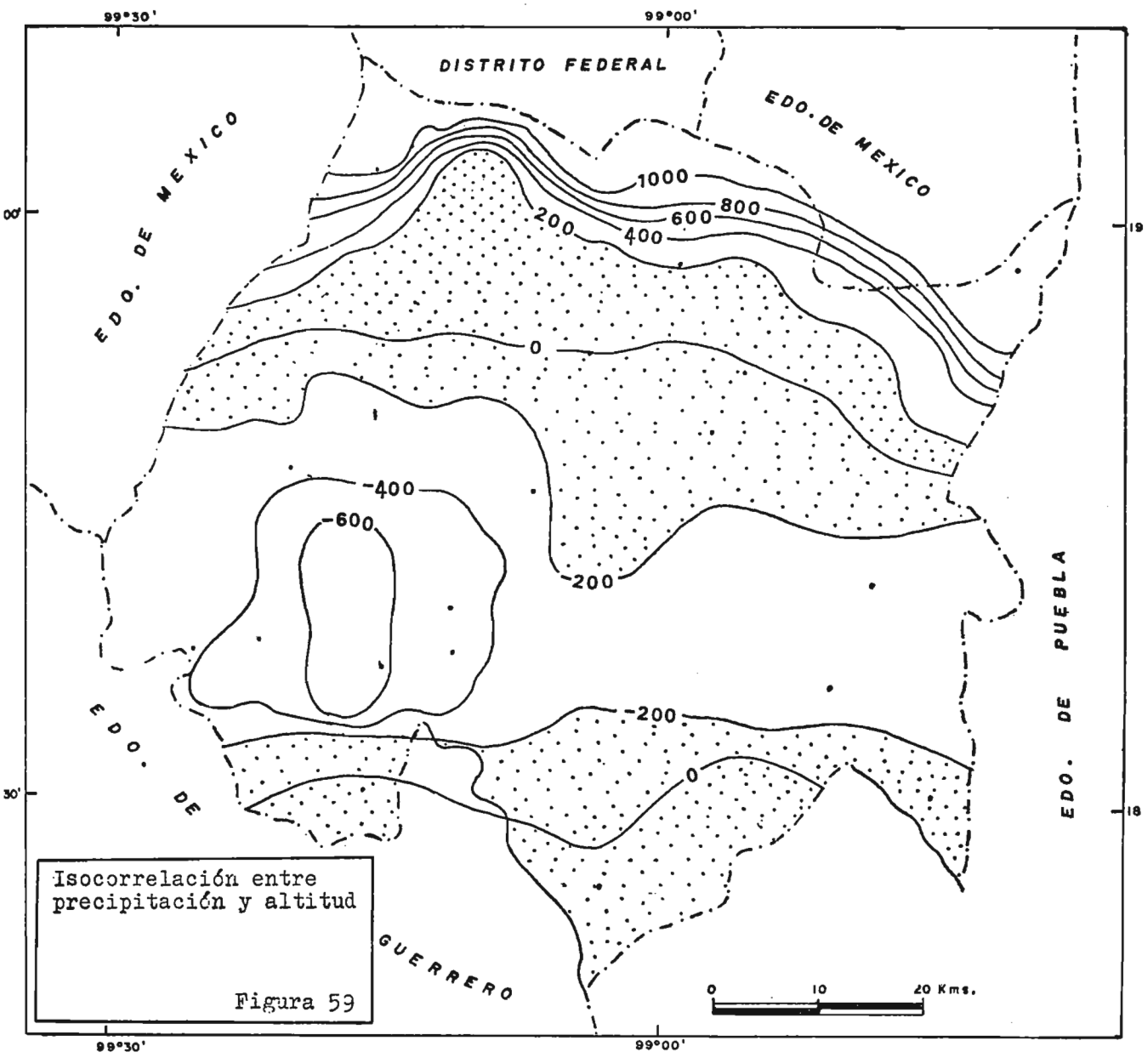

1
2
3
4
5
6
7
2000
1500
1000
500
0
Precipitación calculada
C O L U M N A S

Figura 58



Isocorrelación entre precipitación y altitud

Figura 59

IX. Resumen y conclusiones

1. Este trabajo intenta dar a conocer estadísticamente la gran diversidad de condiciones climáticas en el Estado, con el objeto de ayudar a escoger los cultivos que pueden intentarse. Estos varían desde cereales y frutales de las zonas templadas a cultivos tropicales y de zonas áridas, pues diversas condiciones ecológicas se suceden de norte a sur del Estado. De hecho, se hacen estas siembras de manera esporádica y a prueba, pero no de manera intensiva y generalizada. Por ejemplo, en los recorridos de campo se encontró cultivo de henequén en la ladera de una pequeña elevación, en el municipio de Ticumán.

2. Se relacionó la precipitación con la altitud, y la correlación lineal resultó ser positiva; es decir, que a mayor altitud la precipitación es mayor tomando en cuenta las estaciones empleadas que corresponden hasta los 3 000 m sobre el nivel del mar.

3. Asimismo, se calcularon las correlaciones lineales entre la precipitación y los rendimientos por hectárea de maíz, frijol y jitomate, resultando ser negativos; lo que significa que no son las áreas más lluviosas las de mayor producción, ni tampoco los años más lluviosos. La utilización del método expuesto para hacer *isocorrelación* permite observar de manera objetiva, sobre el mapa, las áreas en la cuales existe estrecha relación entre la precipitación y el rendimiento de maíz, frijol y jitomate. Como se observa en los mapas, las regiones de mayor relación son diferentes para cada cultivo, y es la del maíz la que tiene el área de mayor tamaño (figura 43) al comparar los tres productos. En el mapa de relación entre rendimiento de frijol y precipitación se formaron dos franjas que cruzan el Estado (figura 48), mientras que en el mapa de relación entre rendimiento de jitomate y precipitación las áreas de coincidencia se reducen, quedando una en la zona norte del Estado, precisamente al pie de las laderas de las sierras del norte, y la otra, meridional, evadiendo también las montañas del sur del Estado.

4. Los mapas de isocorrelación muestran las zonas en las que el cultivo es adecuado, tomando como única variable la precipitación. Hay zonas de isocorrelación positiva que indica un exceso en rendimiento, para la cantidad de lluvia registrada, lo cual significa que hay otros factores (físicos o humanos), ajenos a la precipitación, que mejoran las condiciones de productividad. Por otra parte, las zonas de relación negativa ponen de relieve condiciones adversas o poco adecuadas para el rendimiento, cuyas causas también pueden ser físicas (altitud, pendiente, pedregosidad del suelo, etcétera), o humanas.

5. No todas las áreas de buena relación están cultivadas; según el levantamiento censal que se efectuó en 1970, todavía cuenta el Estado con 4 490 ha de tierras incultas productivas y 13 707 ha susceptibles de ser abiertas al cultivo; las primeras aparecen en el mapa del Inventario Forestal del Es-

tado de Morelos (figura 33), en que se señalan como terrenos de agricultura semipermanente. Con base en los mapas de isolíneas de rendimiento por hectárea y las áreas de mayor isocorrelación entre rendimientos y precipitación presentadas en este trabajo, podría intentarse la introducción de estos cultivos en esas tierras.

6. El cultivo de jitomate, uno de los más importantes en el Estado, tiene todavía amplias zonas para aumentar su producción; éstas se señalan en el mapa de isocorrelación como dos franjas que cruzan de este a oeste.

7. Los mapas de isolíneas de probabilidad de la lluvia (de 80% para varios meses del año, así como para la época lluviosa y la seca) marcan las zonas más aptas para los cultivos según sus requerimientos de agua en el año.

X. Bibliografía

1. Agro-Síntesis. *Revista de Agricultura, Ganadería y Avicultura,* vol. 7, núm. 2, Editorial Año Dos mil. México, 1977. pp. 45-46.
2. CONRAD, VICTOR. *Methods in Climatology* Harvard University Press. Cambridge, Mass. USA, 1946.
3. *Diccionario geográfico, Histórico y biográfico.* Editorial Porrúa. México, 1964.
4. Dirección General de Estadística. *Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal. 1970. Resumen General.* SAG, México, 1971.
5. Dirección General de Estadística. *Censo General de Población del Estado de Morelos, 1970.* Secretaría de Industria y Comercio, México 1971.
6. FRANZBLAU ABRAHAM N. A. *Primer of statistics for non-statisticians.* Harcourt, Brace & World, Inc. USA, 1958.
7. GARCÍA ENRIQUETA, VIDAL ROSALÍA, TAMAYO LUZ MA., REYNA TERESA, SÁNCHEZ RUBÉN, SOTO MARGARITA y SOTO ENRIQUE. *Precipitación y Probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación. Estado de Morelos.* Serie Climas. Instituto de Geografía, UNAM-CETENAL, Secretaría de la Presidencia, 1974.
8. GARCÍA ENRIQUETA. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen.* Instituto de Geografía, UNAM, México, 2ª Edición, 1973.
9. LIST ROBERT J. *Smithsonian Meteorological Tables.* Smithsonian Miscellaneous Collection, vol. 114, Washington D.C., 1968.
10. MOSIÑO PEDRO A. y GARCÍA ENRIQUETA. *Evaluación de la Sequía Intraestival en la República Mexicana.* Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México, 1968.
11. MURRAY R. SPIEGEL. *Teoría y Problemas de Estadística.* McGraw Hill Serie Compendios Schaum, México, 1973.
12. OLIVER JOHN E. *Climate and Man's enviroment. An introduction to applied climatology.* Editor John Wiley and Sons, Inc. USA, 1973.
13. ROBINSON ARTHUR H. and BRYSON REID A, "A method for describing quantitatively the correspondence of geographical distributions". *Annals of the Association of American Geographers,* vol. 47, núm. 4, pp. 379-391. University of Wisconsin, USA, 1957.
14. Secretaría de Agricultura y Ganadería. *Normales Climatológicas.* Dirección General de Geografía y Meteorología, periodo 1941-1970. México, 1976.
15. Secretaría de la Defensa Nacional. *Cartas Tlancualpican, Cuernavaca, Atlixco y Taxco,* Escala 1: 100 000. México, 1957.
16. Secretaría Forestal y de la Fauna. *Inventario Nacional Forestal.* SAG, núm. 32, México 1975.
17. Secretaría de la Presidencia. CETENAL-Instituto de Geografía UNAM, *Carta de Climas de la República Mexicana,* Escala 1: 500 000, México, 1970.
18. Secretaría de la Presidencia. CETENAL, *Cartas Tenancingo, Milpalta, Cuernavaca, Jojutla, Taxco, Tilzapotla e Iguala,* Escala 1: 50 000. México, 1973 y 1975.
19. WELLHAUSEN EDWIN J, *The Agriculture of México. Scientific American,* vol. 235, núm. 3, pp. 128-152. NY, USA, 1976.

Índice

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA BIBLIOTECA

I. Introducción 7

II. Situación geográfica 8

III. Circulación atmosférica y vientos superficiales 11

IV. Temperatura 15
- a) Temperatura media 15
- b) Zonas térmicas 15
- c) Oscilación anual de las temperaturas medias mensuales . . . 17
- d) Temperatura máxima 17
- e) Temperatura mínima 22
- f) Marcha anual de las temperaturas máxima y mínima . . . 22

V. Precipitación 28
- a) Precipitación media anual 28
- b) Intensidad de la lluvia 30
- c) Precipitación y número de días nublados 30
- d) Precipitación apreciable y precipitación inapreciable 34
- e) Días despejados 34
- f) Precipitación total y evaporación 38
- g) Probabilidad de la lluvia 38

VI. Climas 53

VII. Cultivos: maíz, frijol solo, frijol intercalado y jitomate. Producción y rendimiento 56

VIII. Algunas relaciones clima-cultivos 64

IX. Resumen y conclusiones 92

X. Bibliografía 94

Siendo director general de Publicaciones José Dávalos, se terminó la impresión de *Algunas relaciones clima-cultivos en el Estado de Morelos*, en la Imprenta Universitaria, el día 29 de agosto de 1980. Su composición se hizo en tipo Old Style 12:12, 10:11 y 8:10. La edición consta de 2 000 ejemplares.