

ASPECTOS CLIMÁTICOS DE LAS ZONAS ÁRIDAS DEL NORTE
DE LA ALTIPLANICIE MEXICANA

Enriqueta García*
Rosalía Vidal*
Ma. Engracia Hernández*

RESUMEN

Se analizan, para la región conocida como mesa del norte (desierto chihuahuense), algunos elementos climáticos tales como la precipitación, temperaturas medias, máximas y mínimas, heladas y oscilación térmica, entre otros. Se aplica la función Gamma en el cálculo de la probabilidad de la precipitación y de los valores más frecuentes de la lluvia anual (moda); se utilizan gráficas ombrotérmicas modificadas para diversos regímenes pluviométricos, a fin de cuantificar el número de meses secos, y se tratan de determinar las causas probables de la aridez de la región. El objetivo primordial del trabajo es proporcionar las bases climáticas, en la selección de alternativas para un uso más adecuado del suelo de la región.

SUMMARY

Some climatic elements as precipitation, mean, maximum and minimum temperatures, frost, thermal range, among others, are analyzed for the Mesa del Norte (Chihuahuan desert). The Gamma distribution is used to calculate probability and mode of yearly precipitation; ombrothermic graphs, modified for the different rain regimes are drawn and interpreted to evaluate the number of dry months, and an attempt to explain the dryness of the area is done. The main object of the paper is to give some climatic basis in the selection of alternatives for a rational use of the soil in the area.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y OROGRAFÍA (Fig. 1).

El estudio se refiere al clima de la parte norte de la Altiplanicie Mexicana, así como a las laderas de las sierras que la limitan y se inclinan hacia ella (García *et al.*, 1983). La parte norte de la Altiplanicie Mexicana, conocida también como mesa del norte, es una enorme meseta que se extiende de noroeste a sureste, desde la frontera de EUA hasta el paralelo 21°N; la limitan por el este la Sierra Madre Oriental: sierras de Parras, de Las Mitras, de La Gavia

* Investigadoras del Instituto de Geografía de la UNAM.

y de la Paila; por el oeste la Sierra Madre Occidental: sierras del Nido, Chávez, Choreachic, Carichic, de las Tunas, del Arco y Coneto, y por el sur las sierras transversales: sierras de Zacatecas, de Guajuato y del Doctor, ésta en Querétaro. El área en estudio abarca parte de los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Nuevo León y San Luis Potosí (García y Falcón, 1974).

La altitud de la región es menor de 1 000 m en el cauce del Río Bravo, al norte, y no llega a 2 500 metros en el sur, sobre las sierras transversales; en cambio, sobre la Sierra Madre Occidental alcanza más de 3 000 m. Interrumpen la continuidad de la meseta pequeñas sierras aisladas orientadas de noroeste a sureste, entre las que se extienden multitud de cuencas cerradas, que antiguamente estuvieron ocupadas por lagos hoy convertidos en bolsones salinos, entre los que se encuentran: el Bolsón de Mapimí, los llanos de los Gigantes, de los Cristianos y de los Caballos Mesteños.

Entre los ríos importantes destacan, al noroeste de la región, las cuencas del Nazas y del Aguanaval que bajan, respectivamente, de la Sierra Madre Occidental y de la Sierra de Zacatecas, para descargar en los lechos de las lagunas de Viesca y de Mayrán, las que debido a la captación de sus aguas, para riego, se encuentran secas. El río Conchos baja, también, de la Sierra Madre Occidental, riega la importante zona de Delicias, Chihuahua, y confluye al Río Bravo o Grande del Norte que desemboca en el Golfo de México.

RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS (Fig. 2).

Las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio fueron 206, son escasas especialmente en las zonas más secas, como el norte y este de Coahuila, norte de Zacatecas y San Luis Potosí, así como en áreas abruptas de las sierras. Se localizan principalmente a lo largo de las vías de comunicación y en la región de La Laguna. Las estaciones de largo periodo, con más de 30 años de observación, que son solamente 90 en toda la región, lo que representa el 45% del número total, se señalan en el mapa con un círculo grande; las de 20 a 30 años de servicio representan el 21%, y son las indicadas con un círculo pequeño; las de menos de 20 años constituyen el 34% y están representadas con un punto o con una cruz. Los límites climáticos de algunas áreas pequeñas que carecían de estaciones, o cuyos datos no eran confiables debido al corto periodo de registro, se trazaron calculando gradientes y tomando en cuenta el relieve.

Los datos se obtuvieron de los registros del Servicio Meteorológico Nacional y de la oficina de Climatología de la SARH; también se utilizaron las Normales Climatológicas.

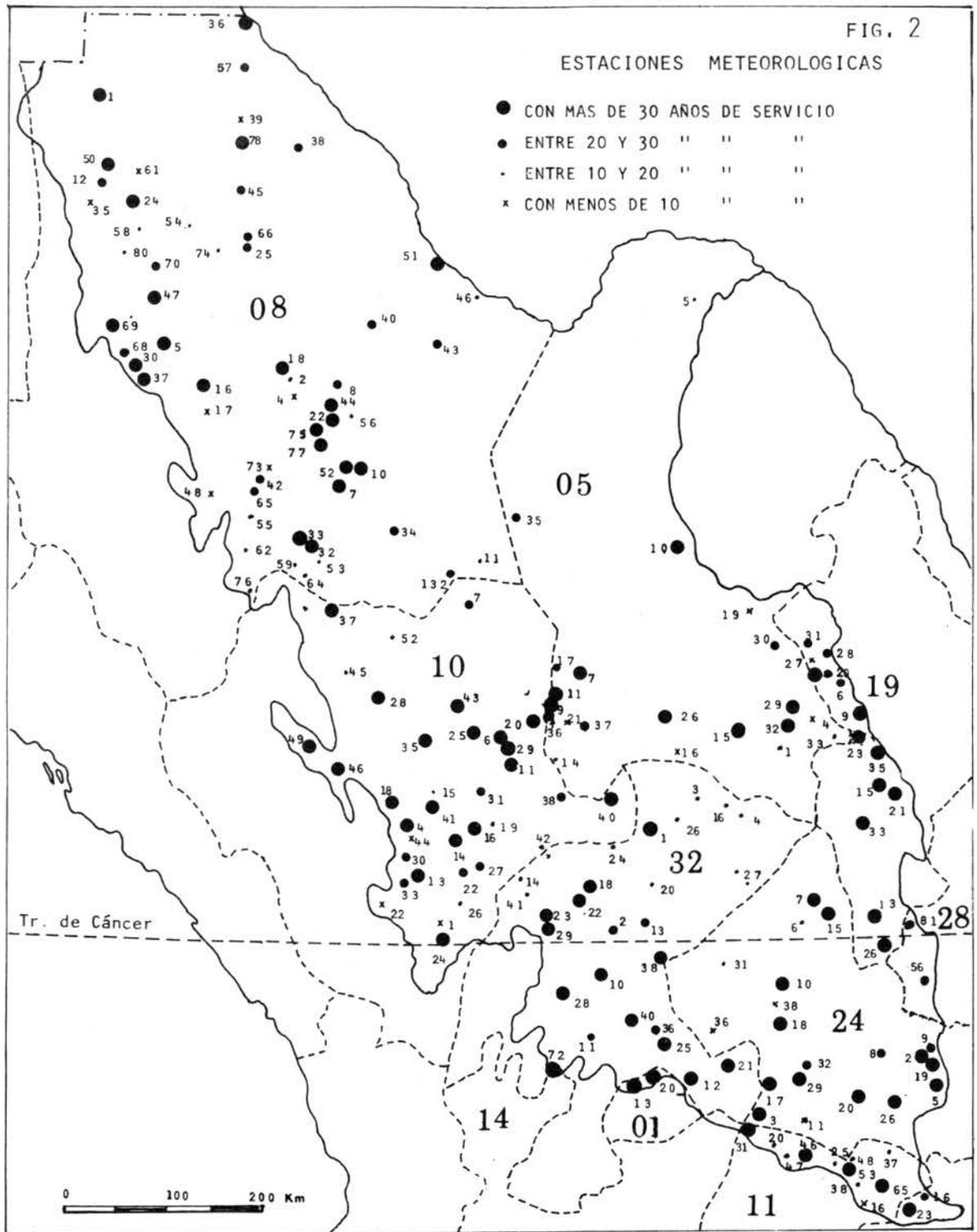
El periodo de años de observación utilizado fue variable, todo lo que hubo en el lapso de 1921 a 1980, pero se dio especial atención a los datos que cubrían un periodo mayor de 30 años.

A continuación se incluye un mapa de localización de estaciones en el que éstas fueron numeradas a partir del uno, dentro de cada

FIG. 2

ESTACIONES METEOROLÓGICAS

- CON MAS DE 30 AÑOS DE SERVICIO
- ENTRE 20 Y 30 " " "
- ENTRE 10 Y 20 " " "
- x CON MENOS DE 10 " " "



RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

AGUASCALIENTES (01)
013 Potrerillos, Presa
020 Tele, El

COAHUILA (05)
001 Agua Nueva
004 Artaaga
005 Burro, El, Hacienda
007 Concordia
009 Coyote, Presa
010 Cuatro Ciénegas
011 Cuije, Presa
014 Flor de Jaulco, La
015 General Cepeda
016 Guadalupe, Eranja
017 Guadalupe, Presa
019 Joya, La
021 Matehchos
026 Ferras
027 Ricos Arispe
028 Reata, Ejido
032 Saltillo
033 San Antonio las Alazanas
035 Sierra Mojada
036 Torreón
037 Viesca

CHIHUAHUA (08)
001 Ascensión
002 Avalos
004 Bechimba
005 Bachiniva
007 Boquilla, La
008 Burras, Las
010 Camargo, Ciudad
011 Carrillo
012 Casas Grandes
016 Cuahatéoc
017 Cosihuiriachic
018 Chihuahua
022 Delicias
024 Galeana
025 Sallego
026 Gonzalez Villa
030 Guerrero, Ciudad
032 Hidalgo del Parral
033 Horniguero, El
034 Jivénez
035 Juan Mata Ortiz (Pearson)
036 Juárez, Ciudad
037 Junta, La
038 Laventos, Los
039 Lucero, El, Rancho.
040 Maclovio Herrera
042 Maguey

043 Majoma
044 Mequi
045 Moctezuma
046 Mulato, El
047 Namiquipa
048 Nonoava
050 Nuevo Casas Grandes
051 Ojinaga
052 Ojo Caliente
053 Prieta, La
054 Ricardo Flores Magón
055 Posarío, Valle del
056 Rosetilla
057 Saalayuca
058 San Buenaventura
059 San Francisco del Oro
061 San Luis
062 San Pablo Balleza
064 Santa Bárbara
065 Silio, El, Rancho
066 Sueco, El
068 Tejolocachic
069 Temosachic
070 Tintero, El
073 Valerio
074 Varas, Las
076 Vergel, El, Rancho
077 Villaalba (Villaltil)
078 Villa Ahuada
079 Virgenes, Las
080 Zaragoza
132 Escalón

TIJERANGO (10)
001 Acevedo
004 Canatlán
006 Camón Fernández
007 Ceballos
011 Cuencané
013 Durango
014 Francisco I Madero
015 Francisco Primo de Verdad
016 Guadalupe Victoria
018 Guatimapé
019 Ignacio Allende
020 Lerdo, Ciudad
022 Llano Grande
024 Mezquital
025 Mazas
026 Nombre de Dios
027 Ojo, el, Hacienda
028 Palmito, El, Presa
029 Pedriceña
030 Peña del Aguila, Presa
031 Peñón Blanco

032 Pila, La
033 Planta Impregnación
035 Pódeo, El
037 San Antonio, La Raposa
038 San Bartolo
040 San Juan de Guadalupe
041 San Juan del Río
042 San Marcos
043 San Pedro del Gallo
044 Santa Lucia
045 Santa María del Oro
046 Santiago Papasquiario
049 Tepihuana
052 Villa Hidalgo

MIANAJATO (11)
016 Doctor Mora, Villa
020 Hernandez Alvarez
(Ciudad Gonzalez)
029 Lourdes
034 Ocampo
037 Pilon, Puerto
038 Pozos
046 San Diego de la Unión
047 San Felipe
048 San Isidro, Hacienda
053 San Luis de la Paz
065 Victoria, Villa

JALISCO (014)
072 Ojuelos

NUEVO LEÓN (19)
002 Cawarón
004 Catarina
009 Cositas, Las
013 Doctor Arroyo
015 Galeana
020 Ixcasole
021 Iturbide
023 Laguna Sanchez
026 Kier y Noriega
027 Milagro, El
028 Mina
031 Popa, La
033 Raíces de San Jose
035 Rayones
036 Rinconada

QUETETARO (22)
016 Perawiller
023 Toluán

SAN LUIS POTOSÍ (24)
002 Alvaro Obregón
003 Arriaga
005 Cárdenas
006 Catorce
007 Cedral
008 Cerritos
009 Ciudad del Maíz
010 Charcas
011 Gogorrón, Hacienda
015 Matehuala
017 Mezquitic
018 Moctezuma
019 Palomas, Presa
020 Paso de San Antonio
026 Rio Verde
029 San Luis Potosí
031 Santo Domingo
032 Soledad Diaz Gutiérrez
036 Tepicatala, La
038 Venados

TAMAULIPAS (28)
056 Tula
081 Uvalles

ZACATECAS (32)
001 Casacho
002 Canitas
003 Cedros
004 Concepción del Oro
006 Durazno, El
010 Fresnillo
011 García, Ciudad
012 García, Villa
013 Guadalupe de los Corrientes
014 Honda, La, Hacienda
016 Mazapil
017 Miguel Auza
018 Nieves
020 Pacheco
021 Pinos
022 Rín Grande
023 Saín Alto
024 San Francisco
025 San Pedro Piedra Gorda
026 San Rafael
027 San Tiburcio
028 Santa Rosa
029 Saúz, El
026 Trancoso
038 Villa de Cos
040 Zacatecas
041 Zaragoza

estado, pero se diferencian por el número grande, en gris, que representa en clave a cada estado.

VIENTOS Y PRECIPITACIÓN

Por su situación geográfica, la región que nos ocupa muestra influencias tanto de la circulación del Océano Pacífico como del Golfo de México y de la faja subtropical de alta presión que se sitúa en las proximidades del paralelo 30°N.

La parte norte de la Altiplanicie es una zona enorme de escasa precipitación; su aridez se debe a su situación respecto a la faja subtropical de alta presión que domina sobre ella la mayor parte del año; a la orientación general de las sierras que la limitan y la aíslan de los mares; y a su continentalidad, ya que los océanos se encuentran a una distancia mayor de 400 km.

Durante la mitad caliente del año, la faja de alta presión se desplaza hacia el norte, y en su lugar se forma, a consecuencia de la elevada temperatura, un centro de baja presión que se sitúa sobre el norte de la región. Este centro de baja presión ocasiona circulación monzónica del Océano Pacífico, Golfo de California y Golfo de México hacia la Altiplanicie, circulación que es reforzada, de julio a octubre, por los vientos alisios del noreste; no obstante, la precipitación que se recibe en la zona es de escasa cuantía, pues los vientos húmedos del mar descargan su humedad en las laderas a sotavento de las sierras y pasan ya como vientos secos a las de barlovento. La escasa precipitación, en la parte plana, es causada por movimientos convectivos del aire ocasionados por el calentamiento excesivo del suelo, y en las zonas montañosas por el enfriamiento adiabático del aire que se ve obligado a subir por las laderas en donde produce chubascos esporádicos.

En el invierno, la situación cambia: masas frías polares profundas, provenientes de la Gran Cuenca, EUA, entran a esta parte del país detrás de una vaguada superior (área alargada de baja presión), lo que origina que la temperatura descienda y se presente precipitación, la cual es escasa por el carácter continental de las masas de aire invasoras; en general, es en forma de nieve. También durante el invierno penetran algunos de los vórtices subtropicales fríos (especie de remolinos dentro de los vientos del oeste) procedentes del Pacífico, y suelen ocasionar nevadas sobre la Sierra Madre Occidental y las elevaciones de la mesa del norte (García y Mosiño, 1968).

La carta de isoyetas anuales, que fue trazada para este trabajo con datos hasta 1980 (Fig. 3), muestra que la zona más árida, con menos de 300 mm de lluvia al año, se extiende en la parte norte central de la región y abarca desde la frontera con los Estados Unidos hasta las inmediaciones del paralelo 24°N. La precipitación aumenta ligeramente sobre las laderas de las sierras que limitan a la Altiplanicie, como son las vertientes interiores de las sierras Madre Occidental y Oriental, en donde se registran entre 400 y 600 mm anuales, lo mismo que en las sierras transversales; en las sierritas



aisladas que surcan la Altiplanicie llega hasta unos 400 mm (García, 1965).

El máximo de lluvias se presenta en el verano, la temporada lluviosa abarca de mayo a octubre, el porcentaje de precipitación en esta época, respecto a la total anual, varía de 70% en el norte, a 90% en el límite sudoccidental.

En mayo las laderas de la Sierra Madre Oriental presentan precipitaciones comprendidas entre 32 y 60 mm, y para junio ya son mayores de 60 mm en la parte sur de la región. Julio, agosto y septiembre son los meses que registran mayor precipitación, mismos en los que las sierras que bordean a la Altiplanicie reciben más de 100 mm.

La temporada de mayor sequedad se inicia en noviembre, mes en que la distribución de lluvia es similar a la de abril. Los meses más secos son febrero y marzo; en ellos, gran parte de la porción central de la región recibe menos de 4 mm de lluvia. En diciembre y enero hay un leve aumento de precipitación a consecuencia de las ondas frías y de la circulación del oeste.

VALOR MÁS FRECUENTE DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL (moda).

La Fig. 4 muestra la distribución anual de la precipitación modal, esto es, los valores más frecuentes de la lluvia en el área en estudio (ver García y Mosiño, 1978 y 1981).

Se ha encontrado que la moda de precipitación es más significativa para el crecimiento de las plantas que la media aritmética, por encontrarse éstas mejor adaptadas a los valores más frecuentes de la precipitación (Mosiño y García, 1981 b). En efecto, la probabilidad de que se alcance la precipitación media anual o más, es, en la región, del orden del 42 al 46% solamente.

En el presente estudio, la moda de precipitación se calculó, para el periodo anual, a partir de los datos proporcionados en el trabajo de García et al titulado "Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación", publicado por la DETENAL de 1973 a 1978, en el que se utiliza la función Gamma para ajustar curvas de probabilidad a los datos de precipitación.

Las fórmulas para el cálculo de la moda son las siguientes (Mosiño y García, 1981a): $M_0 = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \bar{x}$, la media \bar{x} se incluye como

dato al pie de cada una de las gráficas de probabilidad de unas 1 800 estaciones meteorológicas de largo periodo utilizadas en dicho trabajo, y la gamma γ puede calcularse a partir del coeficiente de variación C_v que se incluye también en cada gráfica, mediante la fórmula

$$\gamma = \frac{1}{C_v^2}$$

También puede calcularse la moda si se cuenta con los datos de

precipitación año con año, por medio de la fórmula $M_o = \bar{X} - \frac{\sigma^2}{\bar{X}}$ en que σ es la desviación estándar de la serie.

El mapa 4 muestra la distribución geográfica de la moda anual en mm. Como puede observarse, los valores más frecuentes de la precipitación en el área en estudio son menores que los que señalan las isoyetas medias anuales, pues sólo sobrepasan los 400 mm de precipitación sobre las partes altas de las sierras Madre Occidental, de Zatecas y Madre Oriental. En contraste, toda la parte plana de la Altiplanicie recibe menos de 300 mm anuales; la sequedad se acentúa en la porción norte central de la región, que señala menos de 200 mm anuales.

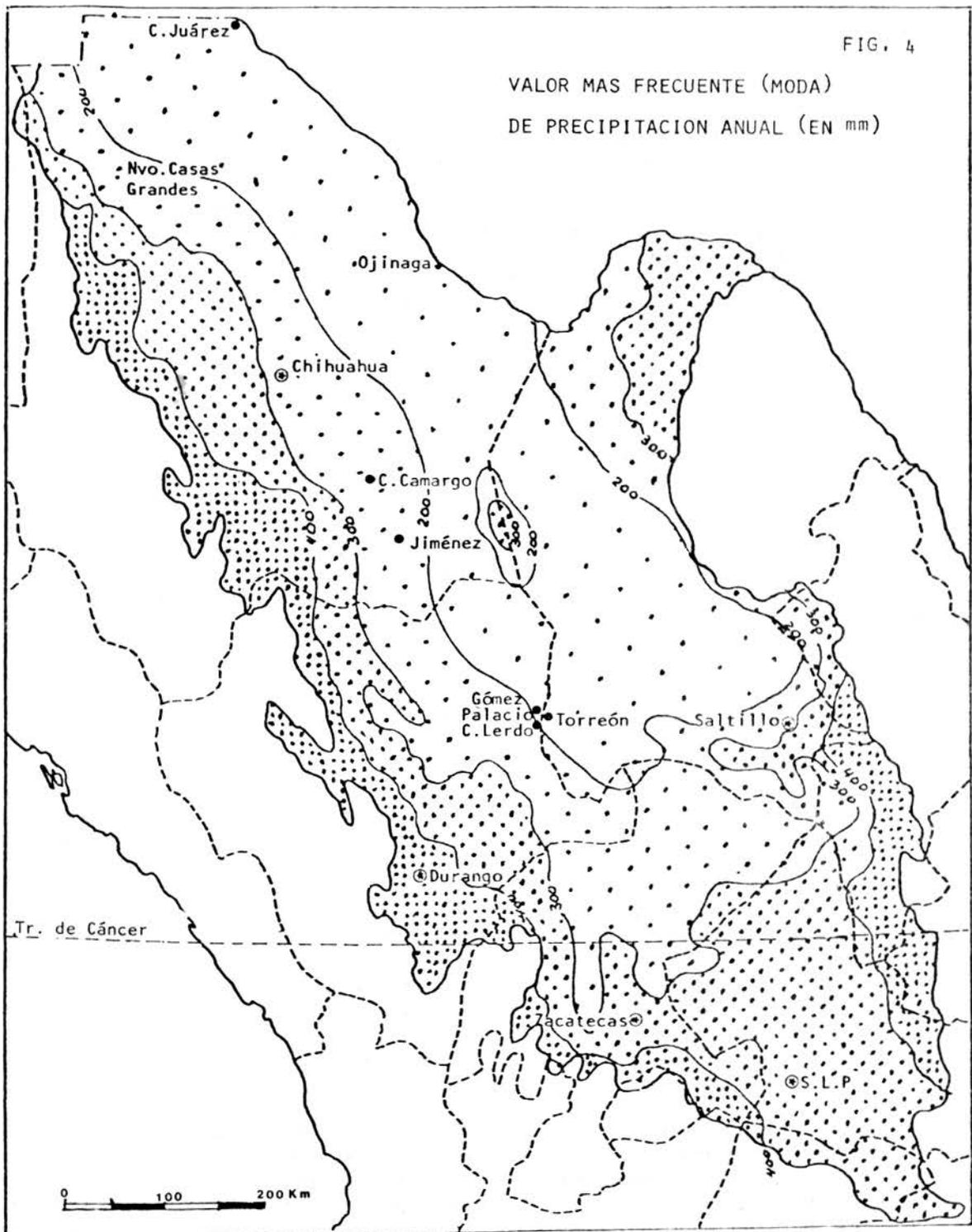
PROBABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL

La Fig. 5 muestra las isoyetas anuales, en mm, con el 80% de probabilidad de que se registren las cantidades acotadas o mayores, esto es, que en 8 de cada 10 años o en 4 de cada 5 es factible contar, por lo menos, con dichas cantidades de precipitación. Los datos se obtuvieron leyéndolos directamente de las gráficas de probabilidad de las estaciones de largo periodo contenidas en el trabajo anteriormente mencionado. El mapa señala que las áreas acotadas con 300 mm al año corresponden con las de 500 mm del mapa de precipitación media anual y con las de 400 mm en el de moda anual.

RÉGIMEN DE LLUVIAS (Fig. 6).

La estación menos seca en la mayor parte de la región es el verano, así, en una franja central que se extiende desde Ojinaga hacia el sur el régimen de lluvias es el típico w , con un porcentaje de lluvia invernal comprendido entre 5 y 10.2% de la anual (García, 1964); este régimen se extiende hacia el extremo oriental en las sierras de Parras y Las Mitras; al occidente, en la base de la Sierra Madre Occidental hay una amplia zona que presenta menos del 5% de lluvia invernal, respecto de la total anual, lo cual se representa con los símbolos $w(w)$ en la fórmula climática; la escasa precipitación invernal se debe al efecto de sombra pluviométrica que ejerce la Sierra Madre Occidental a los vientos del oeste predominantes en invierno. El mismo efecto de sombra se produce en el valle del Río Verde, S.L.P., en el extremo sureste de la región, en donde el régimen es también $w(w)$.

En el extremo noroeste, la disminución en altitud de la Sierra Madre Occidental permite que los vientos del oeste introduzcan en invierno humedad del Océano Pacífico, ocasionando un aumento substancial de la lluvia invernal, que representa más del 10.2% de la anual, por lo que el régimen pluviométrico, a pesar de ser de verano, tiene tendencia a ser intermedio x' , lo cual se indica en la fórmula climática con los símbolos $w(x')$; en esta área el mes más lluvioso es julio. El mismo régimen $w(x')$ se presenta en la región de El Salado de San Luis (norte de San Luis Potosí), en el sur de Nuevo León y en el



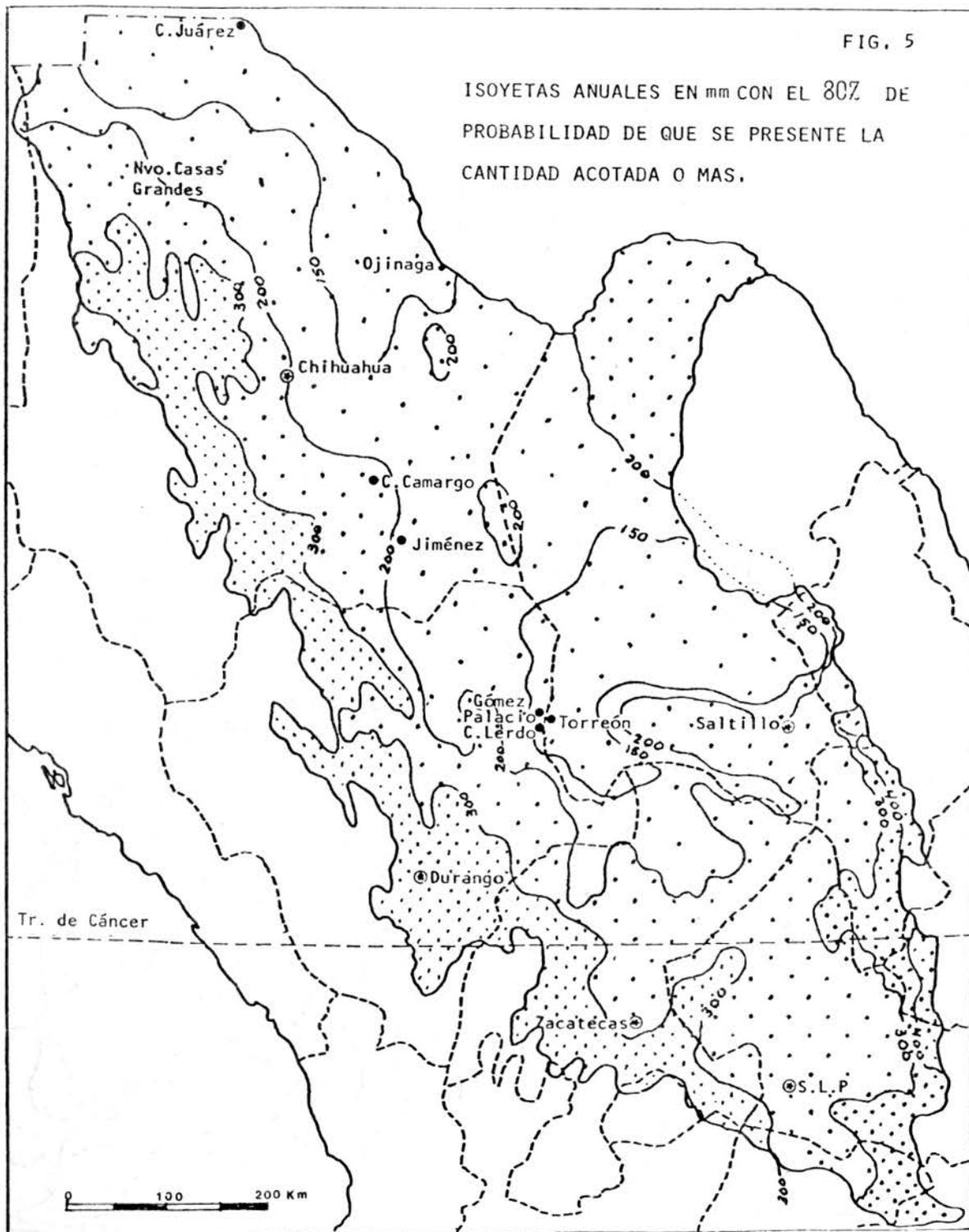
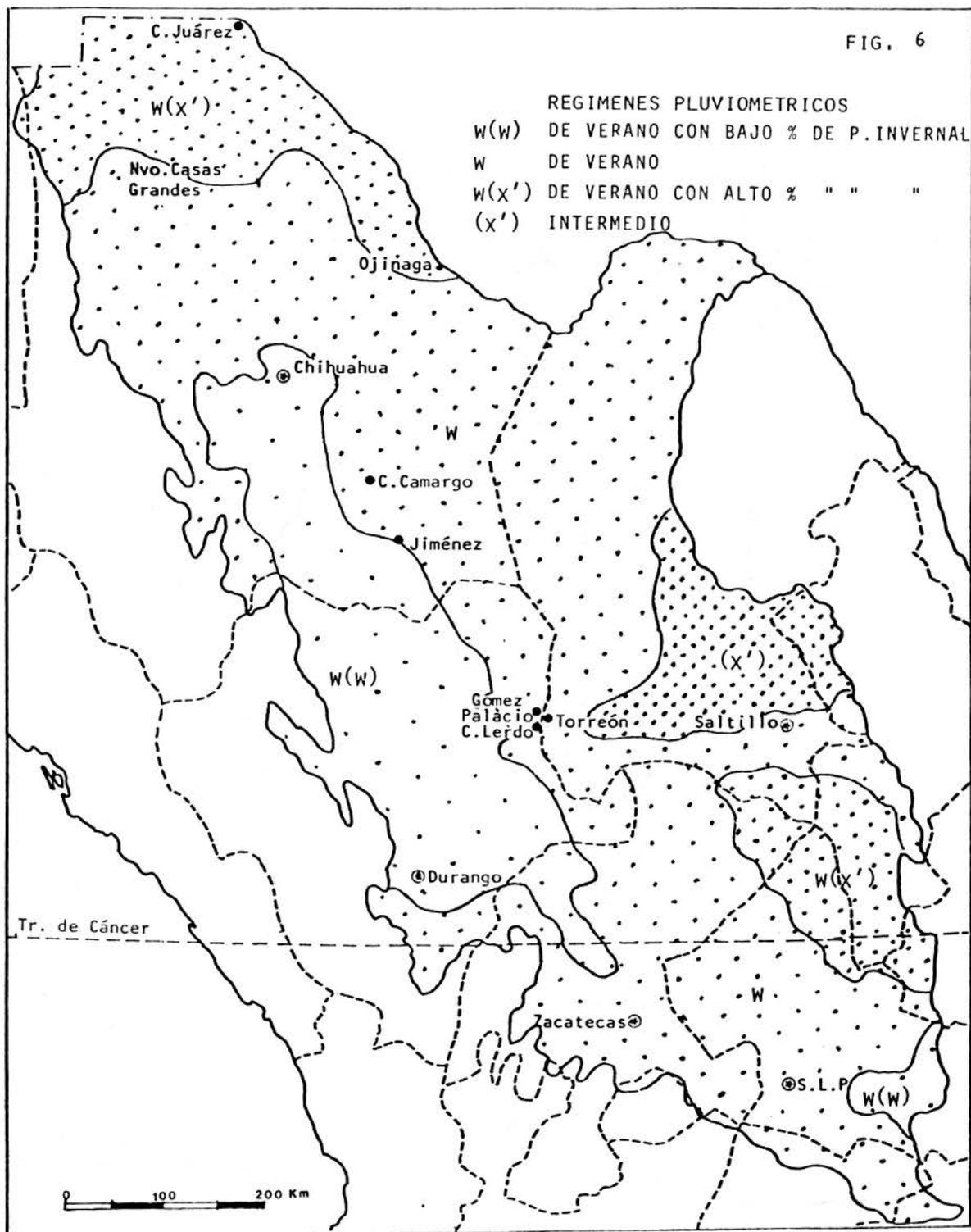


FIG. 6



noreste de Zacatecas; esta área se abre hacia el sureste, en donde la altitud de la Sierra Madre Oriental disminuye considerablemente, lo que permite la entrada de algo de humedad proveniente del Golfo de México, así en verano como en invierno.

El régimen x', ya propiamente intermedio entre verano e invierno, se presenta en los declives de la Sierra Madre Oriental que se inclinan, hacia el noreste, a la cuenca del río Salado (sierras de La Gavia y de La Paila) pues se ven afectados, en invierno, por la humedad introducida por los nortes del Golfo de México.

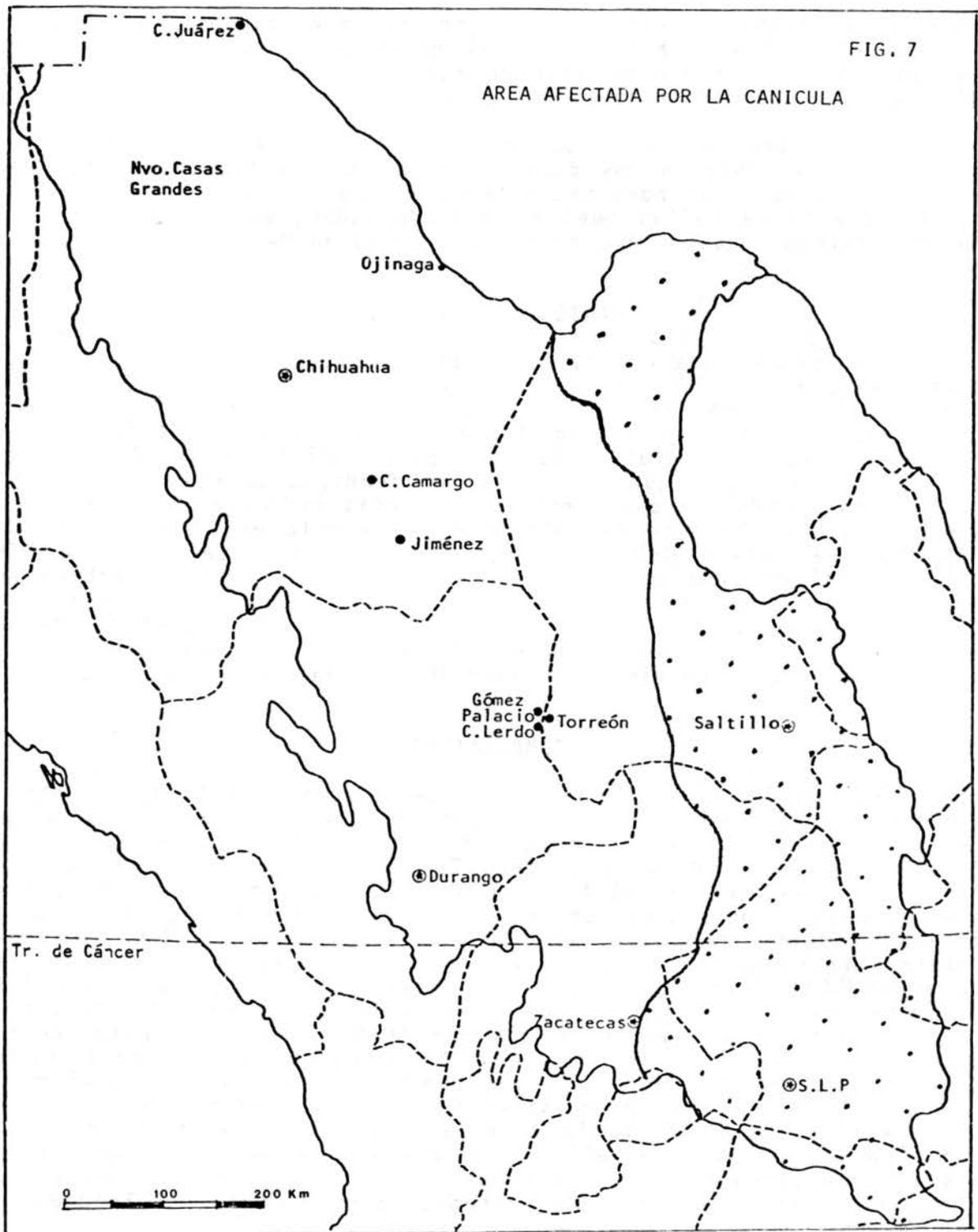
CANÍCULA (Fig. 7).

Se conoce como canícula, sequía de medio verano o sequía intraestival, a un mínimo de precipitación secundario que se presenta frecuentemente a mediados de la estación lluviosa, como una disminución temporal en la cantidad de precipitación de esta época, que afecta la mitad oriental y sur del país (Mosiño y García, 1966 y 1974). En la región que nos ocupa, el fenómeno se presenta al este de una línea ondulada que corre con diversas inflexiones, de norte a sur, desde los límites de Chihuahua y Coahuila en la frontera con EUA, pasa a través del estado de Coahuila, incluye la parte más oriental del de Zacatecas y todo el de San Luis Potosí; también se registra en algunos sitios aislados localizados al este y muy cercanos a la línea ondulada que se describió antes. Es importante tomar en cuenta la canícula en la planeación de la agricultura, pues el fenómeno tiene lugar en plena estación de crecimiento de cultivos.

TEMPERATURA

La región está situada, en su mayor parte, en la zona subtropical del hemisferio norte; el trópico de Cáncer la atraviesa en su parte austral y cruza por el sur del estado de Durango, centro de Zacatecas y norte de San Luis Potosí. Su temperatura varía más con la altitud que con la latitud. Las porciones norte y noreste, que son más bajas, son más calientes que las del sur y oeste. En las primeras las temperaturas medias anuales, actualizadas a 1980, se encuentran entre 18°C y 22°C, lo que da a esta área la característica de semicálida (Fig.8). Las partes austral y occidental, ocupadas respectivamente por las sierras de Zacatecas y Sierra Madre Occidental, son templadas, pues registran temperaturas medias anuales entre 12°C y 18°C; sólo en los lugares más elevados de la Sierra Madre Oriental y de la Occidental, de altitud mayor a 2 800 metros, el clima es semifrío, ya que se registran temperaturas menores de 12°C. En las sierritas aisladas de la Altiplanicie las temperaturas son del orden de 18°C, o sea, en ellas el clima es templado. Hay dos áreas aisladas de clima cálido cuya temperatura media anual es superior a 22°C, una abarca la región de Torreón, Coah. y otra los alrededores de Cerritos, S.L.P.

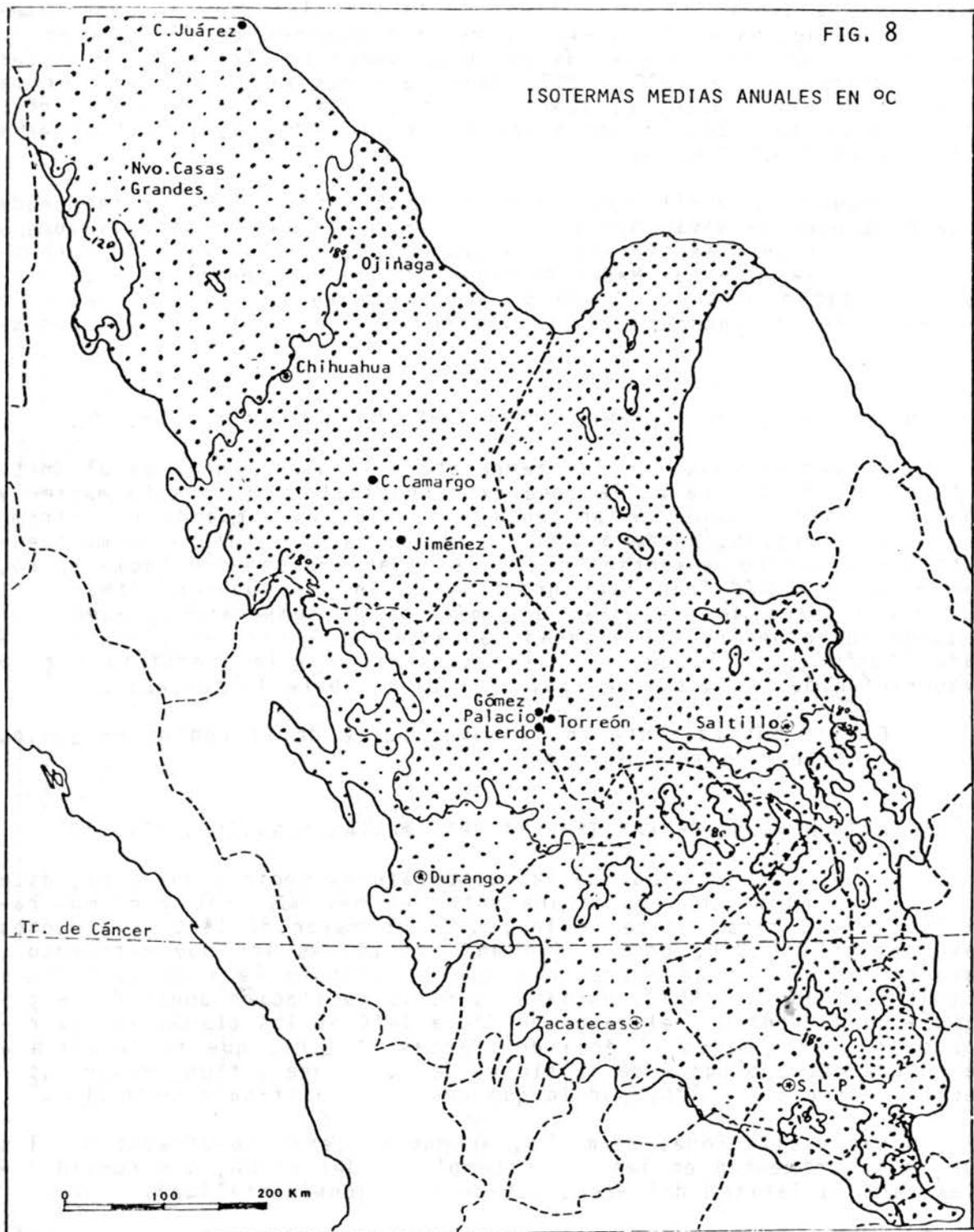
La temporada cálida, en la mayor parte del área en estudio comprende de mayo a septiembre. Los meses más calientes son junio y



Tomado de Mosiño y García, 1966

FIG. 8

ISOTERMAS MEDIAS ANUALES EN °C



julio en los que en la parte plana de la Altiplanicie las temperaturas medias mensuales se elevan a valores mayores de 26°C, y en la cuenca del Río Bravo hasta más de 30°C; sobre la Sierra de Zacatecas se encuentran entre 18°C y 22°C dando a estos meses el carácter de semicálidos; en cambio, ya sobre las partes más altas de las sierras el clima es templado (temperatura menor de 18°C) durante los meses anteriormente mencionados.

Octubre y abril son meses de transición, pues la temporada fría comprende de noviembre a marzo, siendo los más fríos diciembre y enero, en los que las temperaturas semifrías, menores de 12°C, predominan sobre las sierras Madre Oriental, Madre Occidental y de Zacatecas, a altitud mayor de 1 800 m, así como en la mitad norte de la Altiplanicie, descendiendo hasta valores menores de 8°C en el noroeste.

MARCHA ANUAL DE LA TEMPERATURA Y MES MÁS CALIENTE (Fig. 9).

La marcha anual de las temperaturas medias mensuales al norte del trópico es típica de la zona extratropical: con un solo máximo y un solo mínimo; aquél se presenta en junio, exceptuando el extremo norte de la región, donde ocurre en julio; la temperatura se mantiene alta hasta agosto o septiembre, para bajar bruscamente hacia enero, que es el mes más frío (ver gráficas). En los lugares situados al sur del trópico se presentan dos máximos de temperatura, aunque el segundo se encuentra muy atenuado a causa de ocurrir en plena temporada lluviosa, en la que el calor substraído a la atmósfera por la evaporación de las gotas de lluvia al caer, abate la temperatura.

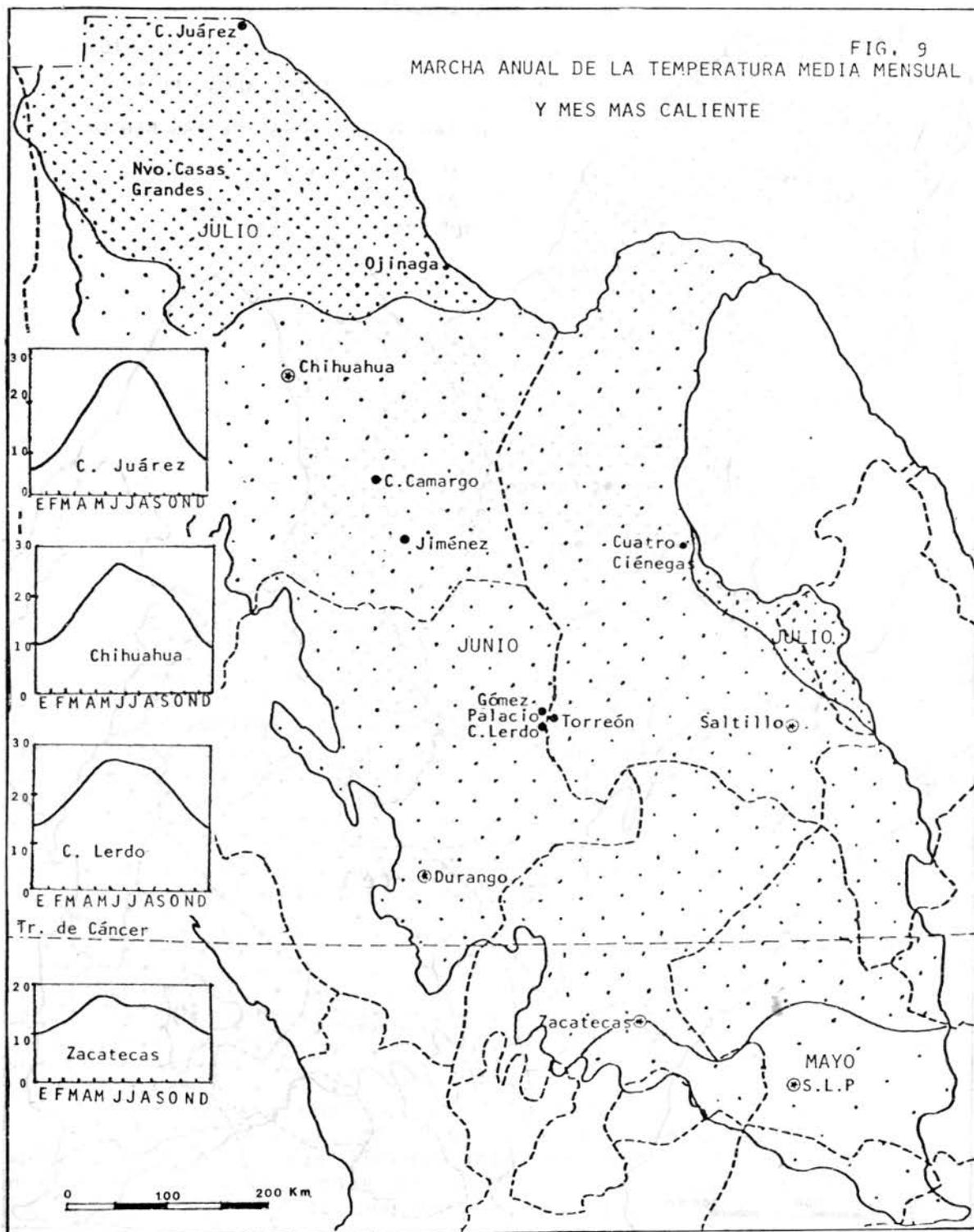
El mes más caliente en la mayor parte de la región es junio, julio al norte y este, y mayo al sur.

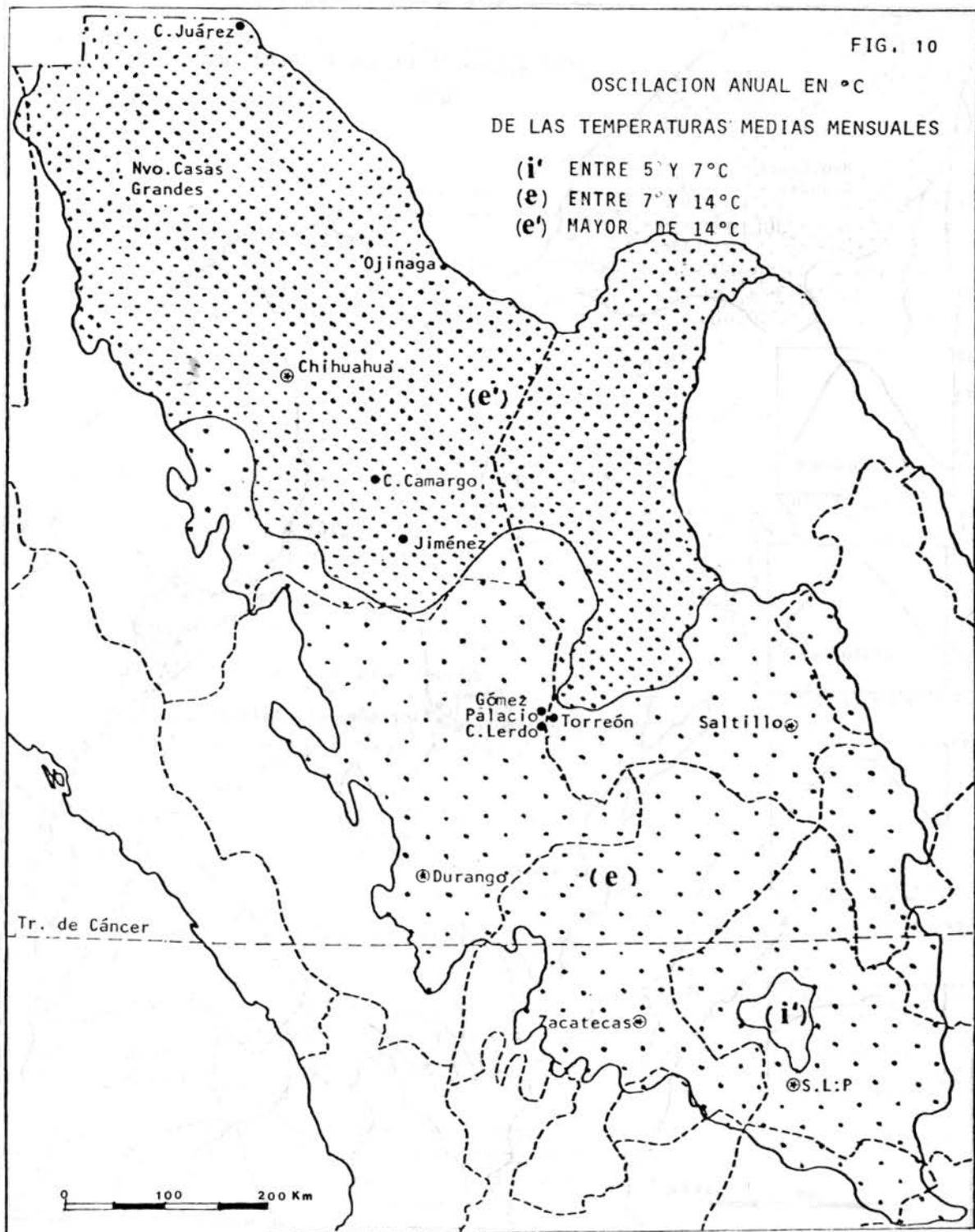
OSCILACIÓN ANUAL DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (Fig.10).

La oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, esto es, la diferencia en temperatura entre el mes más frío y el más caliente, en la mitad norte de la región es mayor de 14°C y en muchos casos mayor de 20°C, por lo que ahí los climas son muy extremos, característica que se representa con el símbolo (e') en la fórmula climática (García, 1964). Hacia el sur, la oscilación anual de temperatura queda dentro del rango de 7°C a 14°C, y los climas son extremos (e) exceptuando el área de Charcas, S.L.P., que se localiza a la sombra meteorológica de la sierra de su nombre y tiene menor oscilación, entre 5°C y 7°C, por lo que resulta clasificada como (i').

Las oscilaciones térmicas, aunque pequeñas comparadas con las que se experimentan en las zonas templadas del globo, son considerables para la latitud del área, debido a su continentalidad.

FIG. 9
 MARCHA ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL
 Y MES MAS CALIENTE





TEMPERATURAS MÁXIMAS

En general, hay tendencia a que las temperaturas diurnas del verano se eleven a valores mayores de 40°C; en Ciudad Juárez la máxima absoluta llegó a 49°C por varios días en junio de 1958, en Ojinaga ha alcanzado 48.7°C en varias ocasiones.

El promedio de temperaturas máximas del mes más caliente, que es junio en casi toda la región (Fig. 11), sobrepasa los 36°C en el área comprendida entre Ciudad Camargo, Ojinaga y Ciudad Juárez, así como en la de Cuatro Ciénegas, Coah. Las altas temperaturas se deben a la intensa insolación recibida a través de la atmósfera seca y despejada. Como es natural, la temperatura alcanza valores algo menores sobre las laderas montañosas, en las que los promedios de temperatura máxima en el mes de junio son del orden de 28°C a 30°C.

La Fig. 12 muestra el promedio anual de temperaturas máximas, esto es, el promedio de las máximas de todos los meses del año (Normales Climatológicas, 1976 y Soto & Jáuregui, 1965). En ella se puede apreciar que las partes más cálidas son la próxima al Río Bravo y la región de Torreón, Coah.; por otra parte, sobre las montañas se desciende a valores inferiores a 24°C.

TEMPERATURAS MÍNIMAS

La región que nos ocupa es la porción de la República Mexicana que registra los inviernos más fríos, ya que, por estar abierta hacia el norte, facilita en invierno la invasión de masas de aire frío polar continental provenientes del norte de Estados Unidos y sur de Canadá que la afectan sin ningún obstáculo, y si a ello se añade la pérdida nocturna de calor por radiación bajo cielos claros, se entiende que se presenten temperaturas mínimas muy bajas, especialmente en el noroeste de la región y sobre las grandes altitudes de la Sierra Madre Occidental, que en algunos sitios sobrepasan los 3 000 msnm. Es frecuente que las temperaturas nocturnas alcancen valores menores de 0°C y que la precipitación invernal sea en forma de nieve, especialmente sobre la Sierra Madre Occidental.

El mes más frío es enero, mismo en que el promedio de temperatura mínima (Fig. 13) es inferior a -2°C sobre el norte de la Sierra Madre Occidental, y menor de 0°C en el noroeste de la Altiplanicie. Las áreas con temperaturas mínimas menos frías, del orden de 6°C, se localizan al sureste de Torreón, y en la región de Río Verde, S.L.P., son del orden de 8°C.

La temperatura mínima absoluta registrada en Ciudad Juárez fue de -23°C el 30 de enero de 1949, y de -26°C en Galeana, Chih., el 11 de enero de 1962. Las mínimas absolutas sobre la Sierra Madre Occidental han sido del orden de -20°C; son menos marcadas en el sur de la región donde, desde que existen registros, no han descendido por debajo de -12°C.

El promedio anual de las temperaturas mínimas (Fig. 14) señala

FIG. 11

JUNIO

PROMEDIO DE TEMPERATURAS MAXIMAS

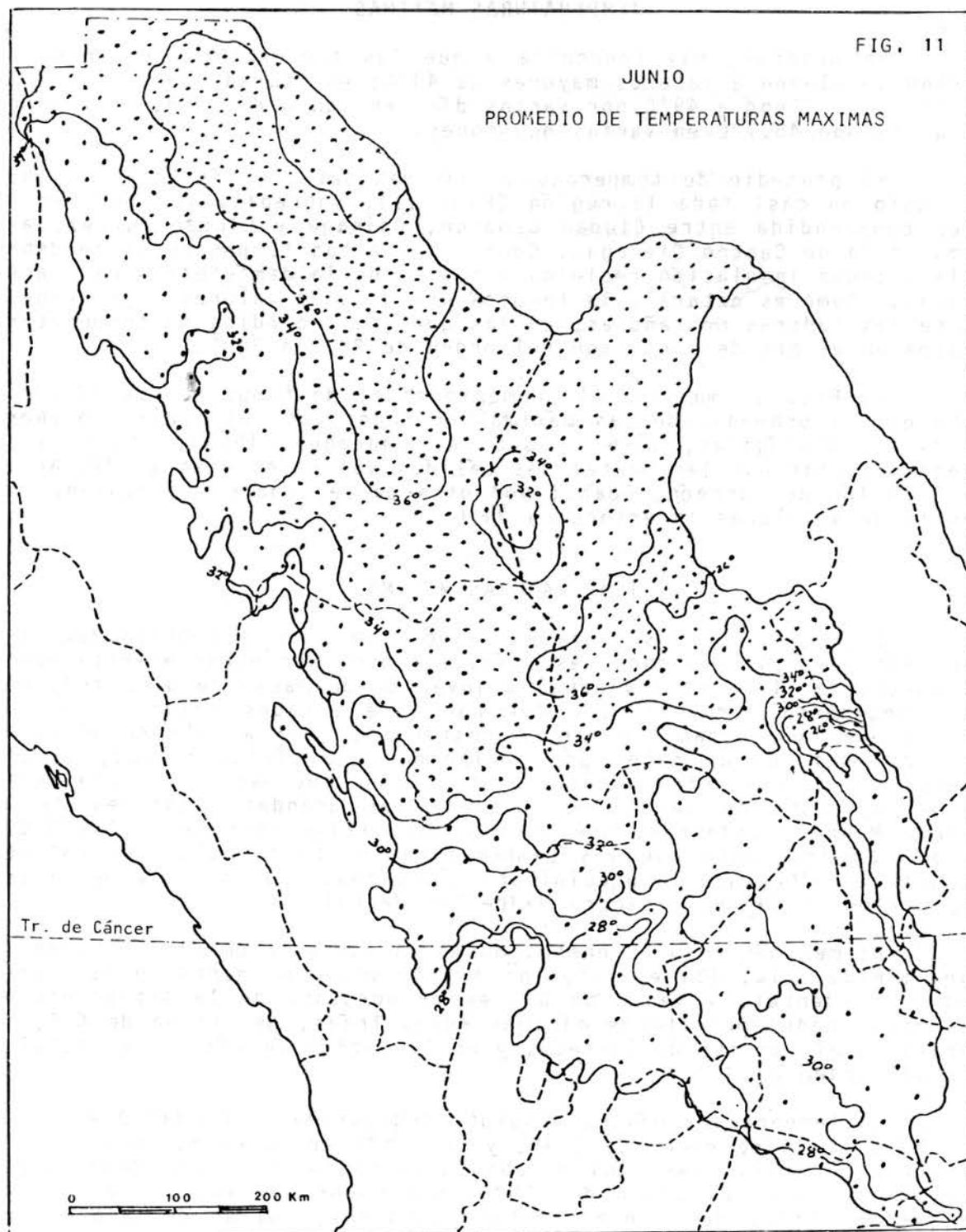


FIG. 12

PROMEDIO ANUAL DE TEMPERATURAS MAXIMAS
(° C)

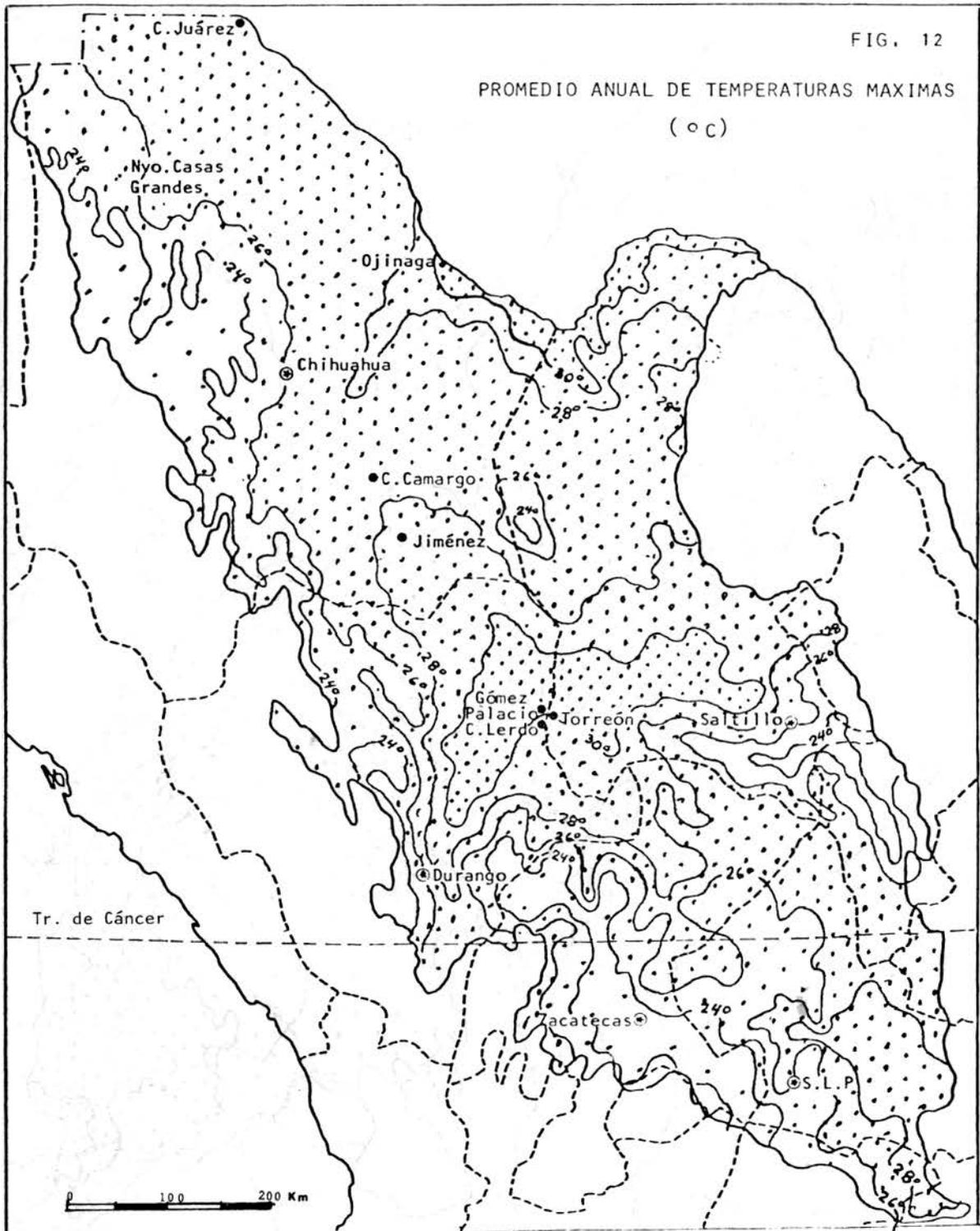


FIG. 13

ENERO

PROMEDIO DE TEMPERATURAS MINIMAS

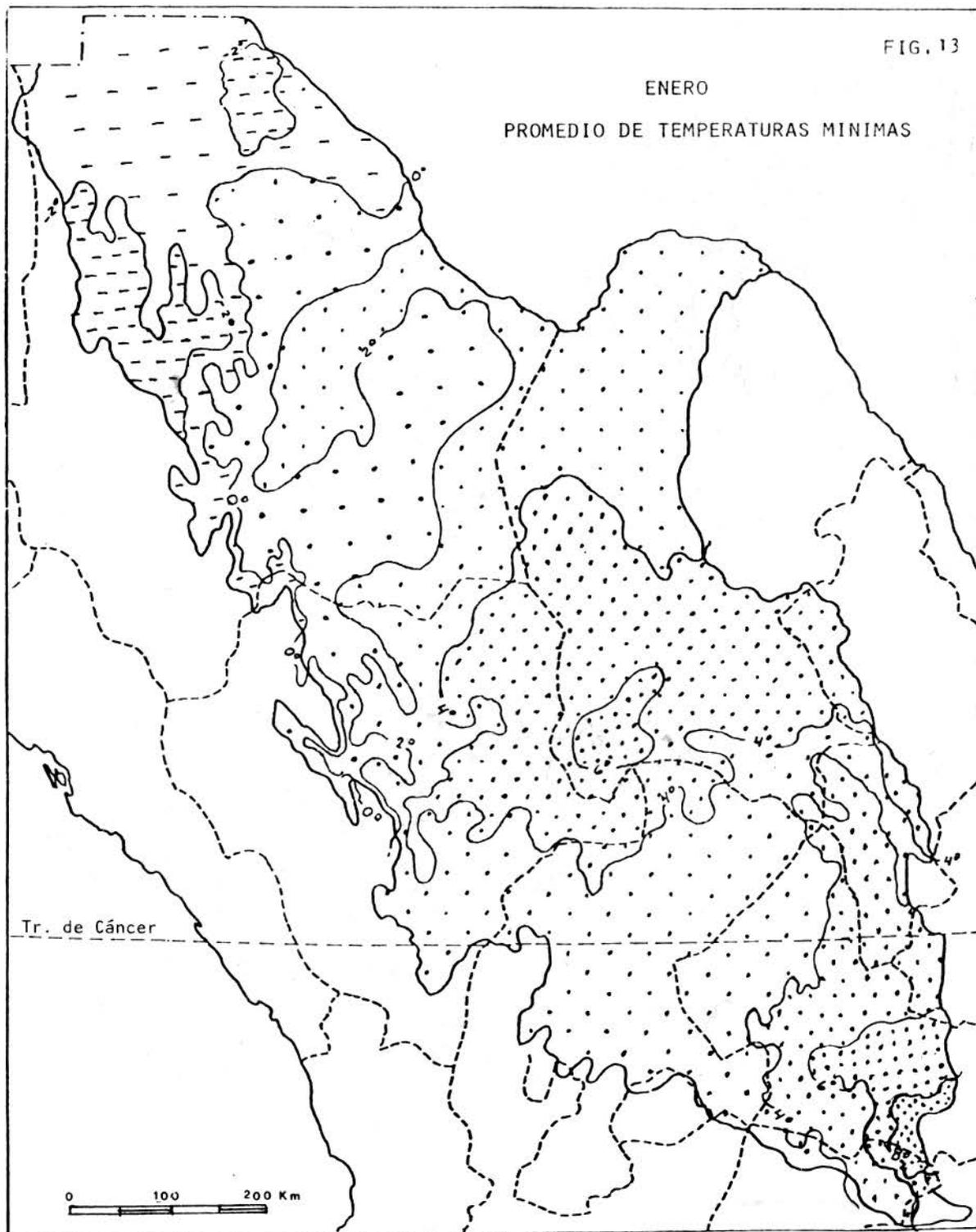
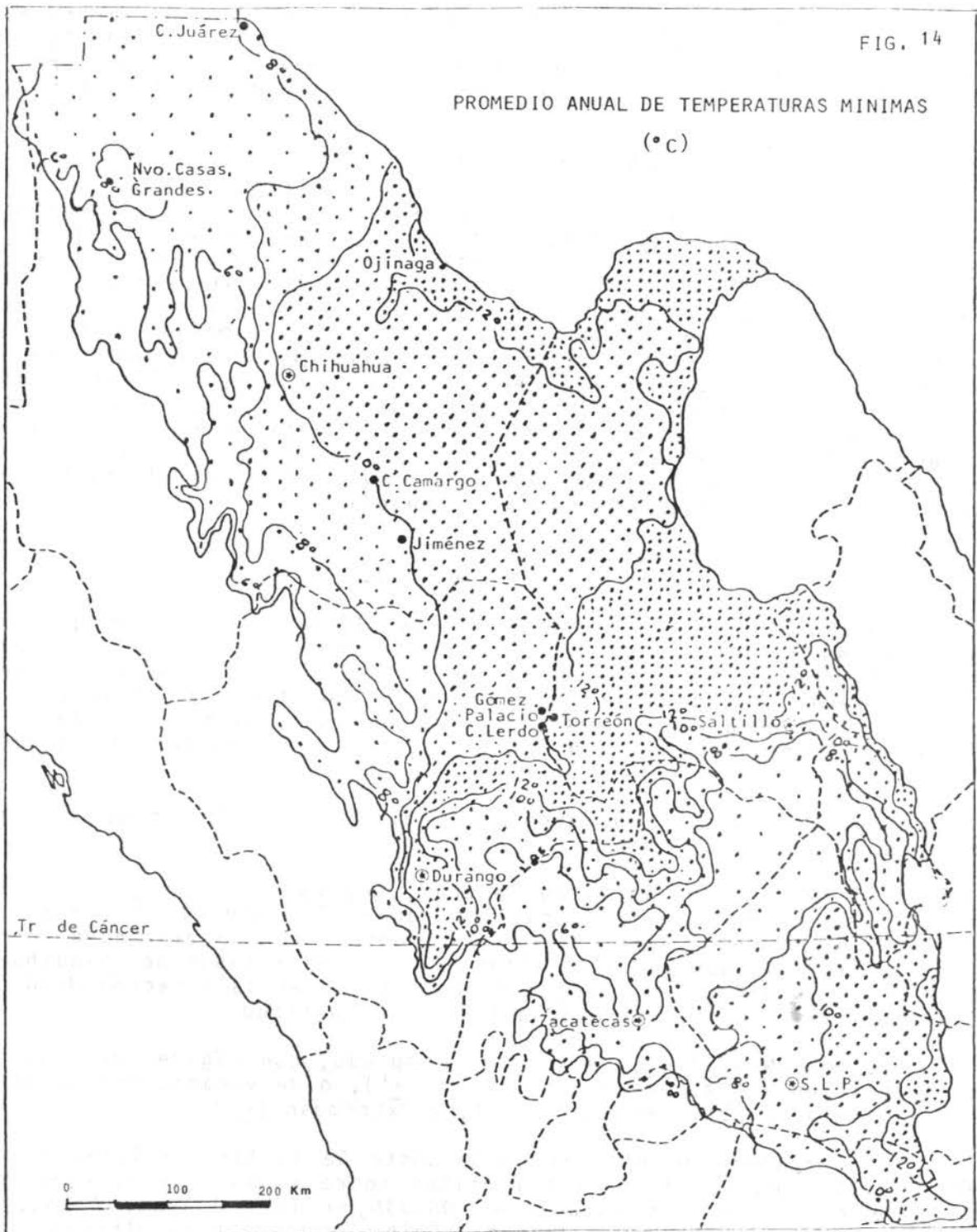


FIG. 14



6°C para la Sierra Madre Occidental y parte alta de la de Zacatecas, de 10°C a 12°C en la mayor parte de la porción baja y plana de la Altiplanicie, mayor de 12°C en el cauce del Río Bravo y área de Torreón a Saltillo y del orden de 8°C a 12°C en el centro de San Luis Potosí.

LAS HELADAS (Fig. 15).

Si se considera que hay heladas cuando la temperatura desciende a valores de 0°C o menores, puede decirse que las áreas sujetas a heladas ocasionales, que no registran más de 15 días de helada al año, se localizan al sureste de la región en San Luis Potosí, en la parte norte de la base de la sierra de Parras, Coah. y en los alrededores de Cuatro Ciénegas, Coah. Aproximadamente la mitad oriental de la región tiene menos de 30 días con heladas; hay otra área con menos de 30 días con heladas que se encuentra al este de la Sierra Madre Occidental, en los alrededores de Chihuahua, Chih. Por otra parte, el extremo noroeste de la Sierra Madre Occidental presenta el mayor número de días con heladas, que sobrepasa 120 al año; el extremo noroeste de la Altiplanicie registra entre 60 y 90 días y la parte más alta de la Sierra de Zacatecas más de 60 días.

CLIMAS (Fig. 16).

Una característica general de los climas de la región que nos ocupa es su aridez: todas las estaciones meteorológicas consideradas en el estudio pertenecen al grupo de los secos B, climas en los que la evaporación excede a la precipitación. Los tipos y subtipos climáticos que pueden encontrarse, de acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen-García, como es conocido en Estados Unidos, son los siguientes:

Clima BWhw(e'), muy seco, semicálido, con régimen de lluvias de verano, y muy extremoso.

Se localiza en la parte central, que es la más baja; es toda el área en blanco en la figura; comprende el cauce del Río Bravo y las cuencas salinas, conocidas como bolsones, que se extienden entre las sierras aisladas de la Altiplanicie, en los estados de Chihuahua, Coahuila y Durango. Un ejemplo de este clima es la estación 08-010, Ciudad Camargo, Chih., situada a 1 227 m de altitud.

Clima BWk(x')(e'), muy seco, templado, con régimen de lluvias de transición entre verano e invierno (x'), o de verano, con un alto porcentaje de lluvia invernal w(x'), y extremoso (e').

Se presenta en el extremo noroeste de la Altiplanicie; es el área marcada en la figura por puntitos sobre fondo blanco; ejemplos de este clima son las estaciones 08-036, Ciudad Juárez, Chih., a 1 113 msnm, y 08-078, Villa Ahumada, Chih., a 1 181 m de altitud.

Clima BSo hw(w)(e'), seco, semicálido, con régimen de lluvias de verano, con porcentaje bajo de lluvia invernal, y muy extremoso.

FIG. 15

NUMERO DE DIAS AL AÑO, CON HELADAS

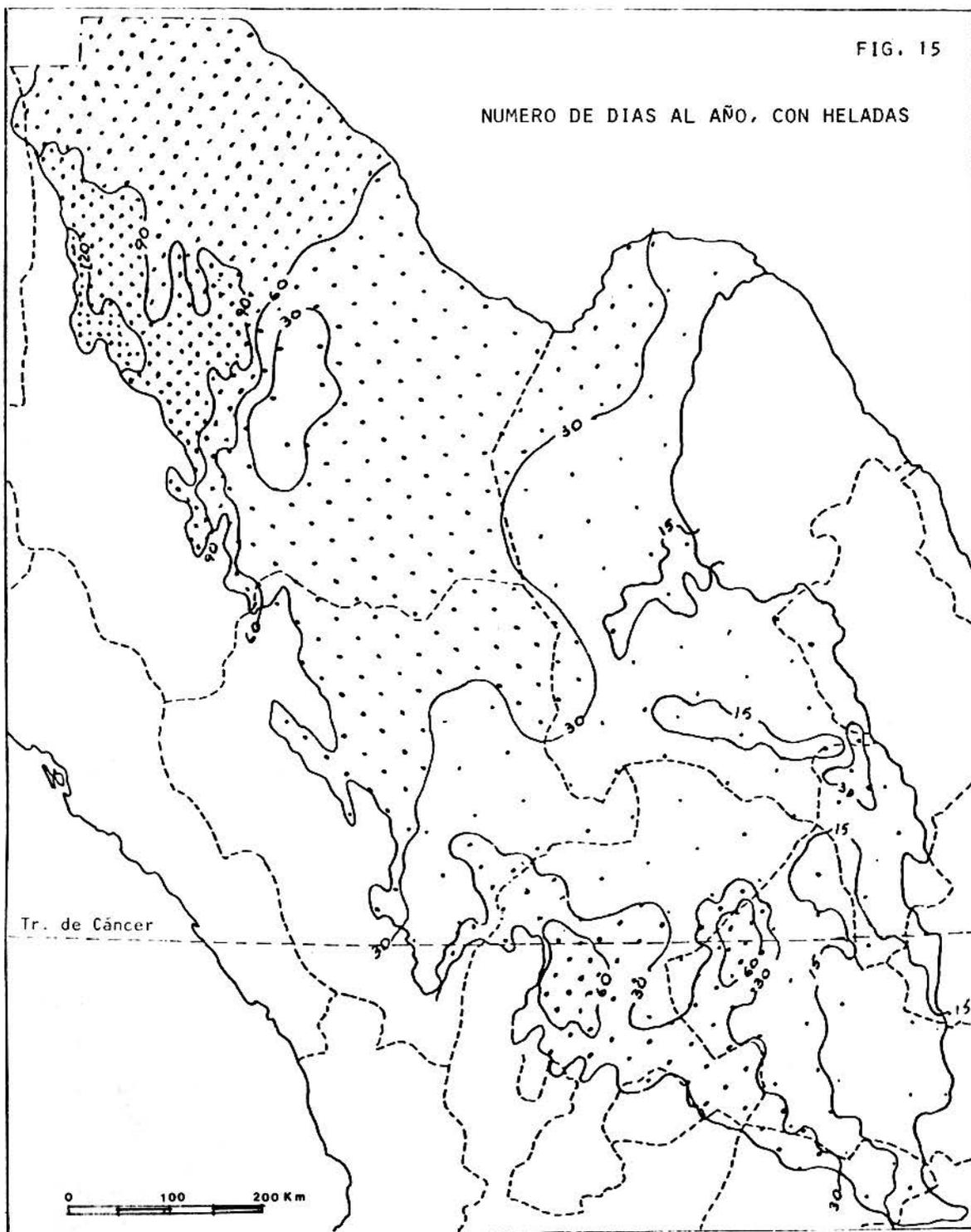
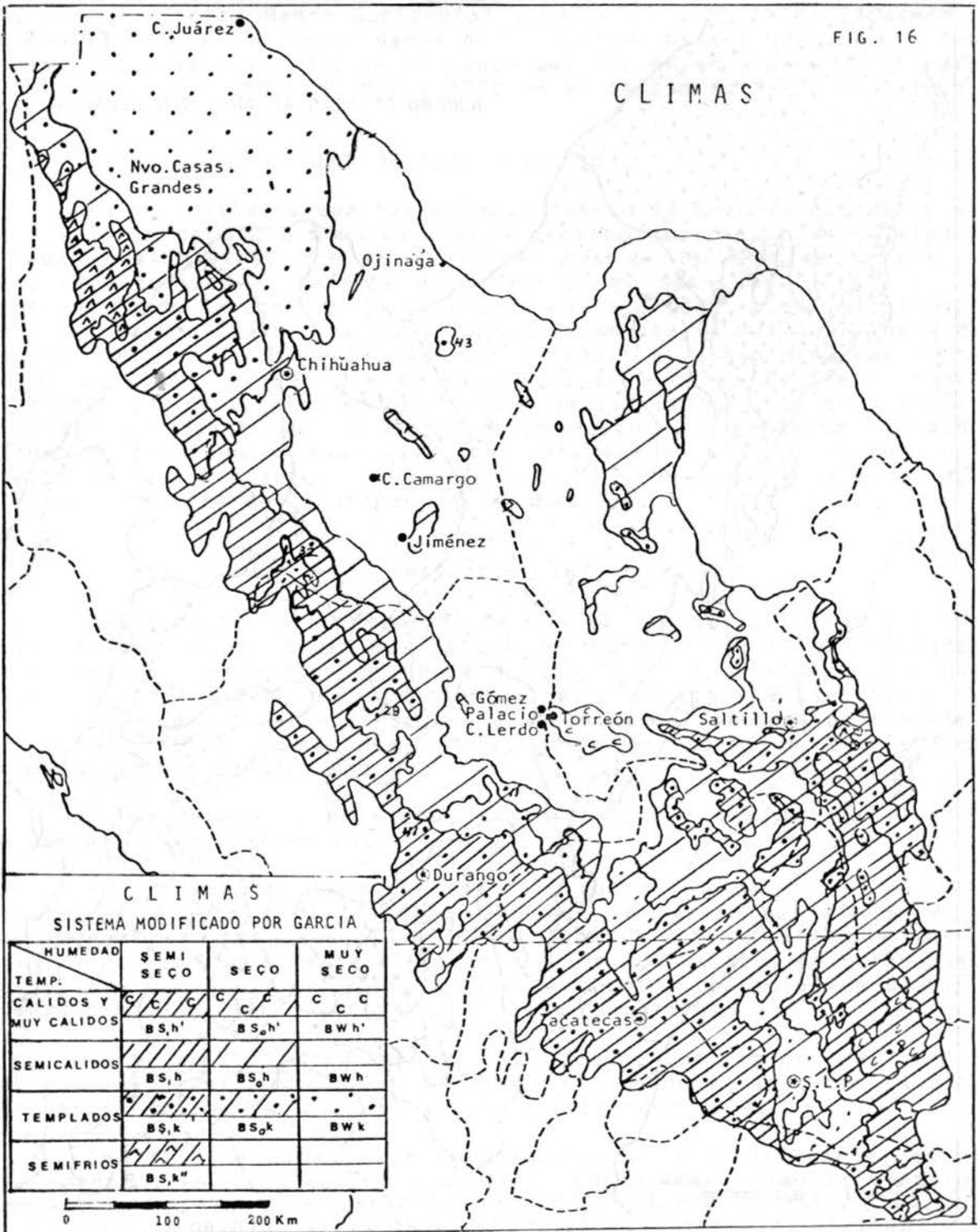


FIG. 16

CLIMAS



Hay una transición gradual de los climas muy secos, BWh, del centro de la región, a los secos, BSoh, sobre las sierras aisladas de altitud superior a 1 500 m, y sobre las laderas bajas de la Sierra Madre Occidental y sierras transversales que limitan el área en estudio por el oeste y sur. Ejemplos de estos climas son las estaciones 08-043, Maijoma, Chih., situada a 1 600 m de altitud; 10-011, Cuencame, a 1 665 m; 10-028, El Palmito, a 1 550 m, y 08-018, Chihuahua, a 1 423 m.

Climas BS₁ h y BS₁ k, semiseco, semicálido, y semiseco, templado, respectivamente.

Se localizan sobre las laderas de la Sierra Madre Occidental y sierras de Zacatecas, se muestran en la figura con un rayado cerrado, sin puntos los semicálidos, y con puntos los templados. Ejemplos de estos climas son las estaciones 10-041, San Juan del Río, Dgo., con clima BS₁ hw(w)(e'), a 1 716 m, semiseco, semicálido, con régimen de lluvias de verano, un porcentaje bajo de lluvia invernal y muy extremo; la 10-013, Durango, Dgo., a 1 889 m, con clima BS₁ kw(w)(e'), semiseco, templado, con verano cálido, y la 32-040, Zacatecas, a 2 612 m, con clima BS₁ k'w(e)g, templado, con verano fresco.

La presencia de climas templados se explica por la altitud superior a 1 800 m y la escasa precipitación anual e invernal debidas al efecto de sombra pluviométrica que ejercen las elevadas sierras que limitan la región en estudio, por el oeste.

Aunque la Sierra Madre Oriental, especialmente en Coahuila, al norte del paralelo 25°N, no es propiamente una barrera climática, pues la forman pequeñas sierras cuya altitud desciende en escalones hacia la llanura costera, los climas también son áridos debido a que predominan sobre esta área corrientes de aire descendentes que tienen su origen en una celda subsidiaria de la celda de alta presión Bermuda-Azores; el aire seco y muy estable, inhibe todo tipo de precipitación.

Hacia el sur, entre los paralelos 23° y 25°N, la Sierra Madre Oriental adquiere suficiente elevación (más de 2 000 msnm) y constituye una barrera efectiva a los vientos húmedos del Golfo de México que dominan a esa latitud. La Sierra de las Mitras se desprende de la Sierra Madre Oriental y penetra, hacia el oeste, a la Altiplanicie; en esta parte, a causa del efecto de sombra pluviométrica y de la altitud, los climas son secos templados, BS₀ k, y semisecos templados, BS₁ kw.

Al sur del paralelo 23°N, en San Luis Potosí, la Sierra Madre Oriental no es tan alta, y está formada por series de sierras paralelas unas a otras, llamadas sierras frontales, cuya altitud escasamente sobrepasa los 2 000 m, por lo cual los climas sobre la Altiplanicie, aunque pertenecen al grupo de los secos B, no son tan áridos como los del norte, pues corresponden a los subtipos BS₀ y BS₁; el primero se localiza al socaire de las sierras de Catorce, Coronado y Juárez y abarca los valles de Santa María del Río, San Luis y Moctezuma, mientras que el BS₁ se encuentra hacia ambos lados del BS₀. El

ligero aumento de humedad se debe, en el lado oriental, a la menor distancia a la fuente de humedad, y en el oeste, al aumento en altitud de las sierras transversales. Como ejemplos de estos climas se pueden citar las estaciones 24-008, Cerritos, a 1 153m, con clima BS₁ (h')hw"(e)g semiseco, cálido con régimen de lluvias de verano, con canícula, extremoso y con marcha de la temperatura tipo Ganges; y la 24-029, San Luis Potosí, S.L.P., a 1 877 m, cuyo clima es BSo k(w")(e)g, seco, templado.

En altitudes mayores de 2 600 m, así en el oeste como en el este, los climas pasan a semifríos; todos ellos pertenecen, en la región, al tipo de climas semisecos B₁. Se detectaron en dos áreas, una situada al oeste de Temosachic, en la Sierra Madre Occidental, con clima BS₁ k"w(e'), semiseco, semifrío, con régimen de lluvias de verano y muy extremoso, y la otra en la unión de la Sierra de las Mitras con la Sierra Madre Oriental, con clima BS₁ k"(x')(e), también semiseco, semifrío, pero con régimen de lluvias intermedio, y extremoso.

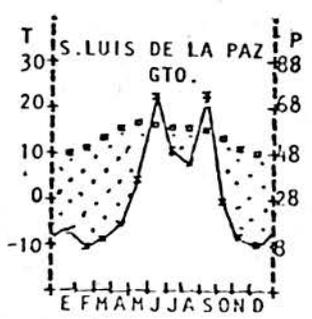
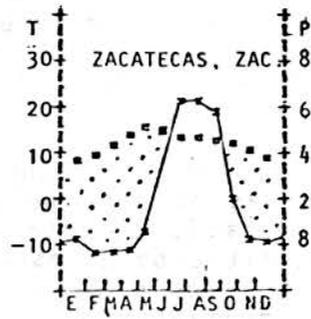
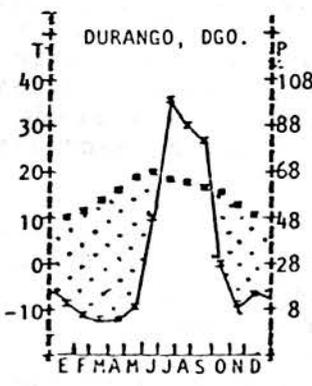
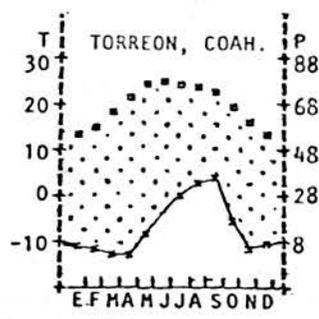
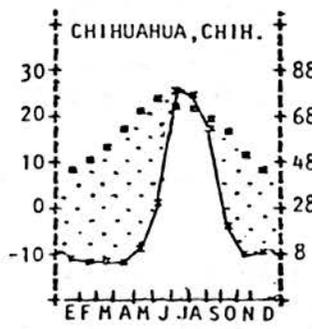
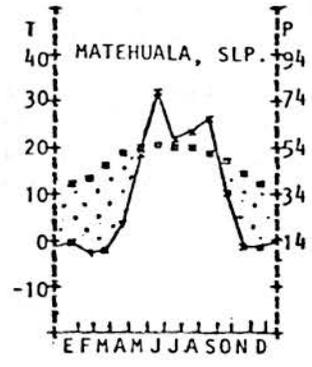
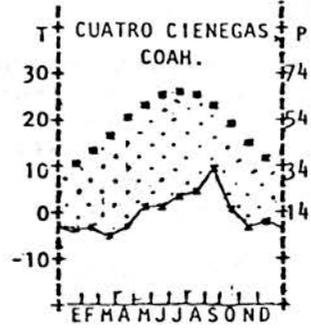
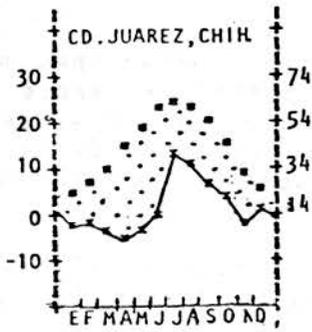
GRÁFICAS OMBROTÉRMICAS

La Fig. 17 muestra gráficas que relacionan la temperatura media mensual con la precipitación en sitios seleccionados, estas gráficas son una modificación de las gráficas ombrotérmicas propuestas por Gausson, 1954, para el sur de Francia, en donde el clima es mediterráneo, esto es, llueve en invierno. Debido a que en nuestro país se presentan diversos regímenes pluviométricos además del invernal, propusimos (García et al, 1983) emplear, en adición a la fórmula de Gausson para el trazo de gráficas ombrotérmicas, fórmulas que tomen en cuenta también los otros regímenes de lluvias.

El trazo de las gráficas ombrotérmicas, de acuerdo con estas fórmulas, se hace de manera similar a la propuesta por Gausson, o sea, se utilizan dos escalas relacionadas: la de precipitación en mm, acotada según dos veces el valor de la temperatura media mensual expresada en °C, más cierta cantidad que depende del régimen pluviométrico; esta cantidad es cero en el caso de lluvias de invierno; en los climas con régimen intermedio la acotación de la escala de precipitación es igual a dos veces la de temperatura más 14, en el régimen de verano con alto porcentaje de lluvia invernal es $2T + 21$ y en el de verano es $2T + 28$. Con esto se está tomando en cuenta que en un régimen de lluvia que no sea de invierno, la eficiencia de la precipitación en el crecimiento de las plantas es menor, a causa de la intensa pérdida por evaporación cuando la lluvia se presenta en las épocas calientes del año.

La ventaja de este método de trazo de gráficas es que se puede visualizar el número de meses secos, esto es, aquellos en los que la curva de temperatura queda por arriba de la curva de precipitación.

GRAFICAS OMBROTERMICAS DE SITIOS SELECCIONADOS
 TRAZADAS DE ACUERDO CON EL REGIMEN PLUVIOMETRICO



RESUMEN Y CONCLUSIONES GENERALES

Se analizaron la situación geográfica del área y su orografía, en la medida que actúan sobre los elementos más importantes del clima, como la temperatura y la precipitación pluvial. El efecto de barrera climática que las montañas ejercen sobre la humedad proveniente de los océanos, la altura sobre el nivel del mar que actúa principalmente en la temperatura y en la cantidad de vapor de agua, la configuración del área como una enorme meseta cuya altitud desciende hacia el norte, y el hecho de estar rodeada por altas montañas, fueron los hechos más significativos.

En la elaboración del trabajo se emplearon 206 estaciones meteorológicas que han funcionado en la región un periodo variable de años, dentro del lapso 1921-1980, operadas en su mayoría por el Servicio Meteorológico Nacional y por la oficina de climatología de la SARH. Se dio especial atención a los datos que cubren un periodo mayor de 20 años de observación, que fue el 66% del número total.

Se trató de explicar la escasez de precipitación en el área, con base en la circulación atmosférica. Las causas fueron las siguientes:

1. La localización del área respecto de la faja subtropical de alta presión que domina sobre ella la mayor parte del año y que debido al descenso del aire se opone a toda precipitación.
2. La presencia de sierras que la limitan por el oeste, sur y este y la aíslan de la influencia directa de los vientos húmedos procedentes de los océanos vecinos.
3. La continentalidad del área cuya distancia al mar es mayor de 400 km.

También se explicó que la lluvia veraniega es debida a la presencia de un área de baja presión que se forma sobre la Altiplanicie, a causa de su elevada temperatura, y que contrasta con la presión de los océanos que rodean al país, lo que propicia una circulación de tipo monzónico, del mar al continente, por lo que hay transporte de cierta cantidad de humedad. Los movimientos convectivos y el ascenso orográfico del aire se consideran como las causas mecánicas de la producción de la precipitación, la cual es menos escasa a mayor altitud.

El hecho de que la región se encuentre abierta hacia el norte facilita la invasión de masas de aire polar procedente del norte de Estados Unidos y sur de Canadá, durante el invierno, y permite la existencia de algo de precipitación en esta época del año.

Las cartas anual y mensuales de precipitación señalan que el área menos lluviosa es la parte más baja y llana de la Altiplanicie, en donde caen de 200 a 300 mm anuales, en cambio, en las porciones elevadas de las sierras Madre Oriental y Occidental se registran del orden de 700 mm de precipitación al año.

Junio, julio y agosto son los meses más lluviosos en que se registran alrededor de 30 mm de lluvia en la parte baja y plana, y más de 60 mm en las montañas. Los más secos son febrero y marzo, en los que las partes más secas reportan menos de 4 mm de precipitación y las más lluviosas del orden de 16 mm.

Se señaló la conveniencia de emplear la moda estadística o valor más frecuente de la precipitación, como una medida más representativa de la pluviosidad que la media o promedio aritmético, ya que las plantas se encuentran mejor adaptadas a dicho valor de la lluvia. Se hizo notar que los valores anuales de la precipitación modal son como 100 mm menores que los calculados para el promedio anual. Para el cálculo de la moda de precipitación se recomendó el uso de la distribución Gamma.

Basándose en un trabajo previo, se construyó un mapa de isoyetas anuales con el 80% de probabilidad de que caigan los valores acotados o mayores, y el resultado fue que dichas cantidades de lluvia son aun menores que los valores modales.

Se puso de manifiesto que además del inconveniente de presentar escasa precipitación, la mitad oriental del área se ve afectada por la canícula, sequía intraestival o sequía de medio verano, hecho que debe considerarse en la planeación de la agricultura, ya que el fenómeno se presenta en plena época del desarrollo de los cultivos.

Se hizo notar que prevalecen en la región temperaturas que varían de semicálidas en la mayor parte de la Altiplanicie, a semifrías en altitudes mayores de 2 600 m. La temporada cálida abarca de mayo a septiembre, siendo junio y julio los meses más calientes; abril y octubre son meses de transición y la temporada fría comprende de noviembre a marzo; el mes de menor temperatura es, por lo general, enero.

La diferencia en temperatura entre el mes más frío y el mes más caliente, u oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, va de 7°C en el sur, a 21°C en el norte.

Las temperaturas máximas promedio del mes de junio varían, según la altitud, de unos 36°C en las partes bajas, a unos 28°C en las montañas.

La temperatura mínima promedio del mes de enero señala menos de -2°C en el norte de la Sierra Madre Occidental, y del orden de 8°C en el sureste de la región.

El número de días con heladas es menor de 15 al año en el este de la región, y sobrepasa los cuatro meses en las partes altas de las sierras Madre Occidental y de Zacatecas.

Los climas, según el sistema de Köppen modificado por García, pertenecen todos al grupo de los secos B: BW muy seco o muy árido, BSo seco o árido y BS₁ semisecco o semiárido; los primeros se localizan en la parte llana y baja de la región, los segundos en las lade-

ras bajas de las sierras y los últimos en las partes más altas o mejor expuestas a los vientos húmedos. De acuerdo con la altitud varían de semicálidos h a semifríos k" pasando por los templados k y k'.

Por otra parte, se sugirió, para cuantificar el número de meses secos, el empleo de gráficas ombrotérmicas, que relacionan la temperatura media mensual con la precipitación y en cuyo trazo se toma en cuenta el régimen pluviométrico. Se mostró un mapa del número de meses secos del área en estudio, trazado de acuerdo con gráficas ombrotérmicas, en el que pudo observarse que los meses deficientes en lluvia varían de 8 a 12 al año.

Se espera que el presente trabajo contribuya al mejor conocimiento de las zonas áridas de nuestro país, con miras a una planificación más racional de las actividades económicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CETENAL. 1970. Carta de climas, esc. 1:500 000: clasificación de climas según el sistema de Köppen modificado por García. [Elaborado por Enriqueta García, Teresa Reyna y Ramón Sierra.] México: la Comisión.
- García Amaro, Enriqueta. 1983. Apuntes de climatología. 4a. ed. México: Offset Larios.
- _____. 1983. The climates of Mexico with emphasis on arid zones. En Campos, E. and R. J. Anderson. Natural resources and development on arid regions. Boulder, Col.: Westview Press. p. 27-33.
- _____. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 3a. ed. México: Offset Larios.
- _____. 1965. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Publicaciones del Instituto de Geografía. UNAM. 1: 171-191. 3 mapas.
- _____ y Zaida Falcón de Gyves. 1984. Nuevo Atlas Porrúa de la República Mexicana. 6a. ed. México: Porrúa.

- García Amaro, Enriqueta, Ma. Engracia Hernández y Ma. Dolores Cardoso Castrejón. 1983. Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos en la República Mexicana. En Congreso Nacional de Geografía (9°: 1983: Guadalajara) Memoria. Guadalajara; Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. v. 1., p. 140-149.
- García Amaro, Enriqueta y Pedro Antonio Mosiño Alemán. 1981. La moda de precipitación por meses durante la temporada lluviosa en México. En Congreso Nacional de Geografía (8°: 1981: Toluca, Edo. de México) Memoria. Toluca: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. v. 1., p. 113-123.
- _____. 1978. Caracterización del régimen pluviométrico de las regiones áridas y semiáridas de México, mediante la distribución Gamma. En Congreso Nacional de geografía aplicada (7°: 1978: Saltillo) Memoria. Saltillo: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. p. 13-24.
- _____. 1968. Los climas de Baja California. En Comité Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-67. México: Instituto de Geofísica. UNAM. p. 29-56, 1 mapa desplegado.
- García Amaro, Enriqueta, Rosalía Vidal Zepeda y Ma. Dolores Cardoso Castrejón. 1983. Las regiones climáticas de México. En Congreso Nacional de Geografía 9°: 1983: Guadalajara) Memoria. Guadalajara: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. v. 1. p. 123-130.
- García Amaro, Enriqueta, Rosalía Vidal Zepeda y Luz Ma. Tamayo Pérez. 1973-1977. Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana, y su evaluación. México: CETENAL (Serie Climas).
- Gausson, H. 1954. Théories et classification des climats et microclimats. En Congrès International de Botanique (Paris) Paris: [s.e.].
- Köppen, Wilhem. 1948. Climatología. Versión directa de Grundriss der Klimatologie 1923, 1931 por Hendrich Pérez. México: Fondo de Cultura Económica.

- _____. 1936. Das geographische system der klimatik. Handbuch der Klimatologie. 1 (c): 1-44.
- Mosiño Alemán, Pedro Antonio y Enriqueta García Amaro. 1981. La cantidad de lluvia más frecuente (moda) en la República Mexicana. México: Dirección general de Geografía del Territorio Nacional SPP.
- _____. 1981. The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of the Gamma distribution. Geografiska Annaler, 63a: 1-10.
- _____. 1974. The climates of Mexico. En The climates of North America. Amsterdam: Elsevier. (World Survey of Climatology; v. II).
- _____. 1966. Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana. En Conferencia Regional Latinoamericana (10a: 1966: México) México: Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística. v. 3, p. 500-516.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería. Dirección general de Geografía y Meteorología. 1976. Normales Climatológicas, periodo 1941-1970. México: la Dirección.
- Soto Mora, Consuelo y Ernesto Jáuregui Ostos. 1965. Isotermas extremas e índices de aridez en la República Mexicana. México: Instituto de Geografía UNAM.