

DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN LA REPÚBLICA MEXICANA

Por *Enriqueta García* *

RESUMEN

La distribución geográfica de la precipitación en la República Mexicana está tan íntimamente ligada con la orografía del país como con los rasgos más prominentes de la circulación atmosférica en superficie y en las alturas.

Del sistema de Köppen modificado por la autora han surgido métodos para describir, con mayor apego a la realidad, las condiciones de precipitación del país.

SUMMARY

The geographic distribution of precipitation in Mexico is as related with relief as with the most outstanding features of the airflow on surface and on the heights.

The climatic system modified by the author gives some ways to determine the precipitation conditions of the country.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se intenta describir someramente la distribución de la lluvia en la República Mexicana, para lo cual se presentan tres mapas: de isoyetas anuales, de porcentaje de lluvia invernal y de distribución de la lluvia en el año.

La República se encuentra totalmente en el Hemisferio Norte y se extiende desde el paralelo 14° 30'N hasta el 32° 43'N. El Trópico de Cáncer la atraviesa en su parte central, de manera que una parte se encuentra dentro de la zona tropical y la otra en la subtropical.

Ya que la orografía juega un papel muy

importante en la cantidad y distribución de la lluvia, se da aquí una descripción somera de los principales rasgos fisiográficos del país. El rasgo más notable de la República es el de una meseta enorme, de altitud superior a 1 500 m, llamada Altiplanicie Mexicana, limitada al Oeste por la Sierra Madre Occidental que se extiende de noroeste a sureste desde la frontera norte del país hasta las inmediaciones del paralelo 20°N y se inclina hacia las llanuras costeras del Golfo de California y del Océano Pacífico. Por el Sur la Altiplanicie termina en una serie de volcanes que se extienden de Este a Oeste en una zona comprendida entre los paralelos 19° y 20°N, a cuyo

* (Investigador de Tiempo Completo, Instituto de Geografía de la Universidad Nacional de México)

conjunto se le designa como Sierra Volcánica Transversal, Cordillera Neovolcánica o Eje Volcánico. Al Este termina la Altiplanicie en unas series de montañas y declives montañosos que se inclinan hacia la llanura costera del Golfo de México, conocida esta zona, por algunos autores, como Sierra Madre Oriental, la cual continúa hacia el Sur hasta el Istmo de Tehuantepec. La Altiplanicie Mexicana está dividida en dos partes, la parte norte o Mesa del Norte y la parte sur o Mesa Central, por un conjunto de montañas mal definidas que se extienden de noroeste a sureste desde el paralelo 24°N hasta el 20°N.

Al sur del paralelo 20°N el litoral del Pacífico cambia su dirección NW-SE por la WNW-ESE; paralelamente y muy próximo a este litoral se extiende la Sierra Madre del Sur.

Entre la Sierra Madre del Sur y la Sierra Volcánica Transversal se extiende, de Este a Oeste, una región baja ocupada en su mayor parte por la cuenca del río Balsas; al este de esta región, entre la Sierra Madre del Sur y el extremo de los declives montañosos que se inclinan hacia el Golfo de México se encuentra una zona alta, de relieve muy complicado, surcada profundamente por numerosos ríos (región de las cuencas altas de los ríos Verde, Mixteco, Tlapaneco, Papaloapan y Tehuantepec).

La Baja California, situada en la porción noroeste del país, es una península larga y angosta que se extiende de noroeste a suroeste, está separada del continente por el Golfo de California, y la recorre en toda su extensión una cadena montañosa.

Al este del Istmo de Tehuantepec se encuentra la región del Sureste, que incluye a la Península de Yucatán, la cual es casi plana ya que sus mayores elevaciones no llegan a 300 m. Bordeando la costa del Océano Pacífico se encuentra de WNW a ESE la Sierra Madre de Chiapas, al norte de ella y con la misma dirección, una zona baja de 600 a 900 m de altitud, la Depresión Central, y al norte la Meseta Central de Chiapas que alcanza altitudes de más de 2 000 m, bordeada en su parte boreal por las montañas del norte de Chiapas que se inclinan hacia la llanura costera del Golfo de México, conocida en esta zona como Llanura Tabasqueña.

GENERALIDADES ACERCA DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

Como se dijo, la República Mexicana se encuentra, astronómicamente hablando, dentro de las zonas tropical y subtropical del Hemisferio Norte así que, mientras su parte sur está dentro de la zona de los vientos alisios, su parte norte se localiza dentro de la faja subtropical de alta presión, a lo largo de la cual se encuentran los anticiclones oceánicos del Atlántico del Norte y del Pacífico del Norte.

Durante la mitad caliente del año, con el desplazamiento hacia el norte de la zona subtropical de alta presión, la zona de los alisios aumenta en intensidad, latitud y altura, por lo que prácticamente todo el país queda bajo la influencia de los vientos alisios que soplan con una dirección original de NE a SW en superficie, o de E a W en las alturas, recogiendo humedad del Golfo de México. La parte más austral de la República queda bajo la influencia de la zona intertropical de convergencia que en esta época se desplaza, también, hacia el Norte.

Durante el verano y parte del otoño se originan en el Mar de las Antillas y en el Océano Pacífico los ciclones tropicales que tienen su mayor frecuencia en septiembre; éstos afectan las condiciones del clima del país debido a que muchas de sus trayectorias corren paralelas a las costas o se internan en el continente.

Durante la mitad fría del año, así la faja subtropical de alta presión como la zona de los alisios se desplazan hacia el Sur, dominando los vientos del oeste en el norte y en las partes altas de la atmósfera de la porción central del país. La Altiplanicie Mexicana y las montañas que la rodean, debido a su gran altitud, interceptan la base de la zona de vientos del oeste que son característicos de las latitudes medias. Estos vientos, especialmente en las alturas, son considerablemente menos húmedos que los alisios, e imprimen al aire la sequedad característica que predomina en la mayor parte de la República Mexicana durante la mitad fría del año. En invierno, los vientos del oeste acarrear, embebidas en su corriente, algunas de las perturbaciones propias de las latitudes medias,

como vórtices fríos y depresiones ciclónicas que afectan las condiciones climáticas del norte del país y, en ocasiones, también, las de la Altiplanicie Mexicana.

Los "nortes" son vientos del Norte que soplan violentamente, por varios días seguidos, sobre las costas del Golfo de México, durante la mitad fría del año. Se originan por la invasión de masas de aire polar continental modificado, procedentes del norte de los Estados Unidos y sur de Canadá. Estos vientos, al pasar sobre el Golfo de México recogen abundante humedad que después es liberada en forma de lluvia.

FACTORES QUE AFECTAN LAS CONDICIONES DE PRECIPITACIÓN

Wallén (1955) resume los factores que afectan las condiciones de precipitación en la República Mexicana, de la siguiente manera:

"1) El desplazamiento hacia el Norte o hacia el Sur de la zona intertropical de convergencia, que introduce variaciones anuales de la precipitación. En invierno, cuando esta zona se desplaza hacia el Sur, los alisios actúan sólo en la parte sur, en cambio, la parte norte tiene la influencia de los vientos del oeste de las latitudes medias. En verano la zona de convergencia se desplaza al Norte, por lo que domina un sistema de vientos del Este o sureste que provienen del centro subtropical de alta presión del Atlántico y van hacia el de baja presión del continente.

2) La localización, extensión e intensidad de los centros de alta presión así del Atlántico como del Pacífico, de los que dependen los alisios en el área terrestre mexicana.

3) Las perturbaciones en verano, de los alisios del Este, sobre México, en concordancia con la posición de la zona de convergencia que en esta época se desplaza hacia el Norte.

4) La influencia de los ciclones que se originan en relación con las "ondas del Este" (easterly waves) y producen gran parte de la precipitación del verano y principios del otoño.

5) La influencia de las depresiones ciclónicas asociadas con los vientos del Oeste, de las latitudes medias, que atraviesan la parte norte del país, en invierno".

Podemos añadir la presencia de los "nortes",

que son vientos producidos por las masas de aire frío que se desplazan, en invierno, desde Canadá y Estados Unidos, hacia el Sur.

Mosiño (1959) afirma que, "aunque por largos años los previsores del tiempo han sostenido que el factor principal que determina la distribución de la precipitación en la República Mexicana es la orografía, es evidente que el paso sobre ciertas localidades, de los rasgos más prominentes de las configuraciones del flujo aéreo en escala sinóptica, tales como frentes, vaguadas, ondas, etc., deben ser causa, al menos en parte, de la distribución de la precipitación observada en sus cercanías".

Sands (1960), en su tesis doctoral de la Universidad de Clark, da una explicación detallada de las razones de la distribución de la lluvia en la República Mexicana, según los principios de la climatología dinámica, basándose en el estudio de Mosiño (1958).

Mosiño (1959) señala la existencia de una "lengua" de aire húmedo que se presenta comúnmente en verano, sobre la costa del Pacífico. Sands afirma que esta lengua de aire húmedo del verano penetra por el Pacífico hacia el Norte, sobre la Altiplanicie Mexicana y la Sierra Madre Occidental, para internarse en los Estados Unidos.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA PRECIPITACIÓN

El mapa de isoyetas anuales (Mapa 1) se trazó empleando todos los datos mensuales y anuales de unas 1 900 estaciones meteorológicas que habían funcionado en México un periodo variable de años dentro del lapso 1921-1960. Hubo que hacerlo de esta manera porque fue imposible reunir un conjunto considerablemente grande de estaciones con un periodo igual y continuo de años de observación.

El mapa se trazó a una escala original de 1: 1 000 000, basándose en la carta altimétrica de la Fuerza Aérea Americana. Las isoyetas que se trazaron fueron las de 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 500, 2 000, 2 500, 3 000, 3 500, 4 000 y 4 500 mm.

Como puede verse en el mapa, hay grandes diferencias en la distribución de la lluvia

de unas regiones a otras. La zona más lluviosa, con precipitaciones superiores a 1 500 mm, se encuentra al sur del paralelo 22°N y comprende las pendientes montañosas de las porciones centrales y sur del país que se inclinan al Golfo de México y que se encuentran directamente expuestas a los vientos húmedos del mar, asociados con los alisios, los nortes y los ciclones tropicales. Durante el verano, con el desplazamiento hacia el norte, del anticiclón del Atlántico septentrional, dominan los vientos alisios que, con una dirección general de Norte a suroeste en superficie, o de Este a Oeste en las alturas, aportan gran cantidad de la humedad que han recogido al pasar sobre las aguas calientes del Golfo de México.

Al encontrarse con las laderas montañosas que se inclinan al Golfo de México, los vientos alisios se ven obligados a ascender, se enfrían adiabáticamente y depositan en forma de lluvia su abundante humedad. La cantidad de lluvia aumenta aún más en esta estación, por la presencia de las perturbaciones ciclónicas que tienen origen en el Mar de las Antillas; estos ciclones tropicales son más frecuentes hacia fines del verano y principios del otoño y su influencia se pone de manifiesto en el aumento de la cantidad de lluvia de los meses de septiembre y octubre. Durante la mitad fría del año la influencia de los alisios queda relegada a algunas zonas bajas del sur, ya que la zona subtropical de alta presión se encuentra desplazada hacia el Sur, y con ella la faja de los alisios; esto se traduce en una disminución de la precipitación en esta época. Sin embargo, durante el invierno, los nortes que se originan por el desplazamiento hacia el Sur de masas de aire polar, producen precipitaciones abundantes en esta zona debido a que recogen humedad del Golfo de México.

La precipitación de esta vertiente aumenta localmente por la presencia de montañas con dirección normal a la de los vientos dominantes, de manera que hay grandes diferencias en la cantidad de lluvia entre pendientes de diferente orientación. Hay cuatro áreas con precipitación mayor de 3 500 mm al año: la región situada inmediatamente al norte del paralelo 20°N (laderas de las sierras de Teziutlán y Zacapoaxtla), la situada al sur del paralelo 18°N (sierras de Ixtlán y Mixes),

la parte de la Sierra de los Tuxtles, que se inclina al Golfo de México, y la vertiente boreal de las montañas del norte de Chiapas.

El máximo de precipitación en esta zona no se presenta en el litoral ni en la parte más alta de las montañas sino, en general, en un área de altitud comprendida entre 100 y 600 m.

Hay también en esta vertiente dos pequeñas zonas con precipitación menor de 1 500 mm; su presencia se debe, probablemente, a que las sierras de Teziutlán y Zacapoaxtla que forman una salida hacia el Golfo de México, y la de los Tuxtles, que es una sierra aislada situada en la llanura costera del Golfo, son obstáculos que impiden la penetración directa de los vientos húmedos.

La porción noreste de la llanura costera del Golfo de México recibe entre 500 y 1 200 mm de lluvia al año y es considerablemente más seca que la parte sur de la llanura costera, debido a la naturaleza divergente del aire que, a menudo, domina sobre el área.

Como puede verse en el Mapa 1 la precipitación es más abundante, en general, del lado del Golfo que del lado del Pacífico, pues mientras la costa del Golfo tiene en una gran extensión precipitaciones mayores de 2 000 mm, la del Pacífico no recibe más de 2 000 mm sino en sitios aislados. Hay, sin embargo, otra zona de lluvia muy abundante (mayor de 3 500 mm) situada en esta vertiente, de la porción sureste de la Sierra Madre de Chiapas; aquí la precipitación tan abundante puede deberse en parte al relieve tan elevado, en parte a la influencia de los ciclones tropicales así del Pacífico como del Golfo de México y, en parte, a la presencia, en verano, de la zona intertropical de convergencia que alcanza a esta porción del país; el máximo de precipitación de la zona se presenta en septiembre.

En el resto de las vertientes del Pacífico la precipitación se presenta esencialmente en verano y parte del otoño; lo primero insinúa, como Sands sugiere, que la entrada de la lengua de humedad hacia el interior del país, por el lado del Pacífico, puede ser factible, y lo segundo relaciona la mayor frecuencia de los ciclones tropicales que se originan en el Océano Pacífico, con el aumento de precipitación de septiembre.

Las cuencas interiores del sur, como la Depresión Central de Chiapas, la cuenca del

Balsas y las cuencas altas de los ríos Verde, Mixteco, Tlapaneco, Tehuantepec y Papaloapan, debido a su aislamiento de los vientos húmedos, por las altas montañas que las rodean, y al calentamiento adiabático del aire al descender por sus laderas, reciben menos de 1 000 mm de lluvia al año y en algunos sitios menos de 600; la temporada lluviosa es el verano, por lo que las lluvias en su mayoría son de carácter convectivo.

La parte sur de la Altiplanicie Mexicana tiene de 600 a 1 000 mm de lluvia al año, en general son lluvias de convección y orográficas, se presentan en verano, con su máximo en julio, lo que sugiere la presencia de la lengua de humedad alimentada por los alisios, en esta elevada meseta. Durante el invierno prevalecen condiciones de sequía asociadas con la presencia de los vientos del oeste de las latitudes medias, que se desplazan hacia el Sur junto con la faja subtropical de alta presión; estos vientos durante aislados días del invierno pueden acarrear algunas de las perturbaciones propias de las latitudes medias y producir fuertes vientos, descenso en la temperatura y alguna precipitación que, en las partes más elevadas, puede ser en forma de nieve. Cuando los nortes son muy profundos del lado del Golfo pueden tener alguna influencia en la Altiplanicie, originando descenso en la temperatura y alguna precipitación de tipo frontal que dura unos dos o tres días. A principios del otoño la precipitación aumenta por la influencia de los ciclones tropicales así del Golfo como del Pacífico, la vertiente sur del Eje Volcánico presenta de 1 200 a 1 500 mm de lluvia al año, con su máximo en septiembre, lo que pone de manifiesto dicha influencia.

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 y a la orientación general de las sierras que la limitan y la aíslan de los mares; la zona más árida, con menos de 300 mm de lluvia al año, se extiende en la parte norte central de esta región y abarca desde la frontera con los Estados Unidos hasta las inmediaciones del paralelo 24°N. El máximo de lluvias se presenta en verano debido, probablemente, a los movimientos convectivos del aire; en el invierno la poca precipitación, que se presenta generalmente en forma de

nieve, está asociada con las perturbaciones, propias de las latitudes medias, que viajan dentro de la corriente de los vientos del Oeste que dominan en esta época del año; también en esta época pueden invadir la región masas de aire polar, originando las ondas frías y alguna precipitación.

La parte más seca del país es la porción noroeste de la llanura costera del Pacífico, se encuentra dentro de la faja subtropical de altas presiones, tiene una altitud inferior a 200 m y sus vientos dominantes son descendentes y secos; hay zonas, como la próxima al río Colorado, con menos de 50 mm de lluvia al año. La escasa precipitación en esta zona es convectiva en el verano, y debida a algunas perturbaciones extratropicales dentro de los vientos del Oeste, en el invierno.

La Península de la Baja California es otra de las porciones del país con escasa precipitación, ya que tiene menos de 300 mm al año, exceptuando las partes más altas de las sierras que la recorren en toda su longitud, en donde, probablemente, caen entre 400 y 600 mm al año. La temporada lluviosa en la vertiente del Pacífico, al norte del paralelo 26°N, es el invierno; la precipitación en esta estación se debe a que la faja subtropical de alta presión se desplaza hacia el Sur y dominan los vientos del Oeste que provienen del Océano Pacífico y se asocian con algunas de las perturbaciones propias de esta zona, como vórtices fríos, depresiones ciclónicas, etc. Durante el verano, la corriente fría de California torna sumamente estable el aire, de manera que el clima es seco en esta estación; algunos lugares carecen totalmente de lluvias durante uno o más meses del verano.

Sobre las partes más elevadas de las montañas del centro, oeste y sur del país la precipitación es, en general, mayor de 1 000 mm al año, se presenta en verano y se debe probablemente a la presencia de la lengua de humedad asociada con los movimientos convectivos del aire, en esta estación caliente del año.

La Península de Yucatán, desprovista casi totalmente de relieve, pues su máxima elevación no llega a 300 m, recibe menos precipitación que la parte de la llanura costera del Golfo contigua a ella; su precipitación decrece de 1 500 mm en el sur, a 500 mm en el noroeste; Sands (1960) señala que la dis-

minución de la precipitación, que sigue hacia el noroeste sobre el mar, indica geográficamente un factor en gran escala, como sería un centro de alta presión con aire descendente, en ciertas épocas del año, en esta zona. Trewartha (1961) sugiere que las aguas frías del mar pueden ser un factor importante para estabilizar el aire superficial.

PORCENTAJES DE LLUVIA INVERNAL¹

En la República Mexicana se presentan los siguientes regímenes pluviométricos de Köppen:

a) Régimen de lluvias de verano (por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia, en el mes más húmedo de la mitad del año en que está el verano, que en el más seco) para el que se emplean los símbolos w , w' , w'' (con su máximo de lluvias de verano, desplazado hacia el otoño, y con dos temporadas lluviosas en la mitad del año en que se encuentra el verano, separadas por dos épocas secas: una larga en el invierno y una corta en el verano, respectivamente) y m de Köppen.

b) Régimen de lluvias de invierno (por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad fría del año que en el más seco), para el que se emplean los símbolos s , s' o s'' de Köppen (con máximo de lluvias en invierno, desplazado hacia la primavera, y con dos máximos de lluvias en la mitad fría del año, separados por dos temporadas secas, una larga en el verano y otra en el invierno, respectivamente).

c) Régimen de lluvias repartidas a través del año (intermedio entre los anteriores), para el que se emplean los símbolos x' o f de Köppen, según tenga pocas lluvias o abundantes.

La mayor parte del país tiene régimen de lluvias de verano, exceptuando: 1) el extremo noroeste que tiene régimen de lluvias de invierno; 2) las porciones noreste y norte central, así como la parte norte de la Península de Yucatán que tienen lluvias uniformemente repartidas x' , y 3) la porción de las montañas

del norte de Chiapas y partes de la Sierra Madre Oriental que tienen abundante precipitación durante todo el año, f .

Al examinar los porcentajes de lluvia invernal de las estaciones meteorológicas de la República Mexicana con más de 20 años de servicio, se encontraron, aun dentro del mismo régimen de lluvias, diferencias muy notables en estos porcentajes; estas diferencias, examinadas de manera adecuada, pueden dar una idea más completa de la realidad.

En efecto, según García (1964), una enorme mayoría de las estaciones con régimen de lluvias de verano tiene sus porcentajes de lluvia invernal comprendidos entre 0 y 10% de la total anual, quedando otras menos numerosas, con porcentaje en esta estación, entre 10.1 y 18 de la anual y, finalmente, muy pocas con porcentaje mayor de 18 de la anual. Como se dijo en García (1964), las estaciones de estos dos últimos grupos, es decir, las de porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.1 de la anual, se encuentran localizadas en las zonas de transición hacia los climas con régimen de lluvias de invierno y próximas o intercaladas con las de régimen de lluvias uniformemente repartidas. El mayor porcentaje de lluvia invernal de estas estaciones, en relación con la mayoría de las de régimen de lluvias de verano, las sitúa en una posición más ventajosa, desde el punto de vista de la efectividad de la precipitación, para el crecimiento de las plantas. Se hizo necesario, por consiguiente, diferenciarlas de las otras y para ello se emplearon métodos estadísticos. El límite encontrado fue un porcentaje de lluvia invernal de 10.2 de la anual (García y otros, 1961.) Por tanto, los climas que presentan régimen de lluvias de verano con un porcentaje de lluvia invernal mayor de 10.2 de la anual, se designaron con el símbolo w (x') para indicar que, además de la lluvia de verano que los caracteriza, poseen cierta cantidad de precipitación invernal que los acerca a los x' cuyos porcentajes de lluvia de invierno están entre 10.2 y 20% de la anual.

Las estaciones con las características antes descritas están incluidas en las zonas marcadas con el No. III del Mapa 2, que comprenden la parte norte de la llanura costera del Golfo de México, el extremo norte de la Sierra Madre Oriental, la porción de la Sierra Madre Occidental situada al norte del paralelo 24°N,

¹ Se consideraron para tomar los porcentajes de lluvia invernal respecto a la anual, las precipitaciones de los meses de enero, febrero y marzo.

la porción oriental de la Península de la Baja California, así como la parte norte de la Península de Yucatán.

Áreas muy extensas de la República tienen régimen de lluvias de verano con un porcentaje de lluvia invernal menor que el 10.2% de la precipitación total anual (Nos. I y II, Mapa 2.) Si se comparan los porcentajes de lluvia de invierno de los lugares situados en la vertiente del Golfo o de los lugares de la porción norte central del país con los de lugares situados en la vertiente del Océano Pacífico o en vertientes interiores al sur del trópico, se hallan diferencias muy notables aun cuando dichos lugares pertenezcan al mismo subtipo climático. Las diferencias se deben principalmente a que los lugares situados en la vertiente del Golfo o los del norte del país están expuestos a los "nortes" (vientos del Norte producidos por las masas de aire frío que se desplazan en invierno desde Canadá y Estados Unidos hacia el Sur) que hacen aumentar considerablemente la cantidad de lluvia invernal. Por el contrario, las otras vertientes están privadas de la influencia de estos vientos, por las montañas del centro y sureste de México que constituyen barreras que impiden su penetración. Los lugares situados en la vertiente del Golfo o en el norte del país tienen porcentajes de lluvia invernal mayores que el 5% de la anual, en cambio, los de vertientes interiores o del Océano Pacífico, al sur del trópico tienen, en general, un porcentaje de lluvia menor que 5 de la anual.

El símbolo w se empleará exclusivamente para los climas con régimen de lluvias de verano que tienen un porcentaje de lluvia invernal comprendido entre 5 y 10.2 de la anual. La notación correspondiente al régimen de los lugares con porcentaje de lluvia invernal menor que el 5% de la anual se ha distinguido con la letra (w) (w entre paréntesis), la cual se añade a los símbolos w , w' , w'' o m de Köppen. Estas zonas (No. I, Mapa 2) comprenden el litoral del Pacífico al sur del paralelo 25°N, la parte sur de la Altiplanicie, la cuenca del Balsas, la región de las cuencas altas de los ríos Verde, Mixteco, Tlapaneco, Tehuantepec y Papaloapan, así como la Depresión Central de Chiapas. Hay, además, otra zona con bajo porcentaje de lluvia invernal en la parte occidental norte de la Altiplanicie, su bajo porcentaje de lluvia invernal

puede atribuirse a que la Sierra Madre Occidental, debido a su gran altitud, la priva de la influencia directa de los vientos del Oeste.

Como es natural, en igualdad de otras condiciones, la efectividad de la precipitación es mayor en un clima $w(x')$ que en uno w , y, a su vez, en éste mayor que en uno $w(w)$.

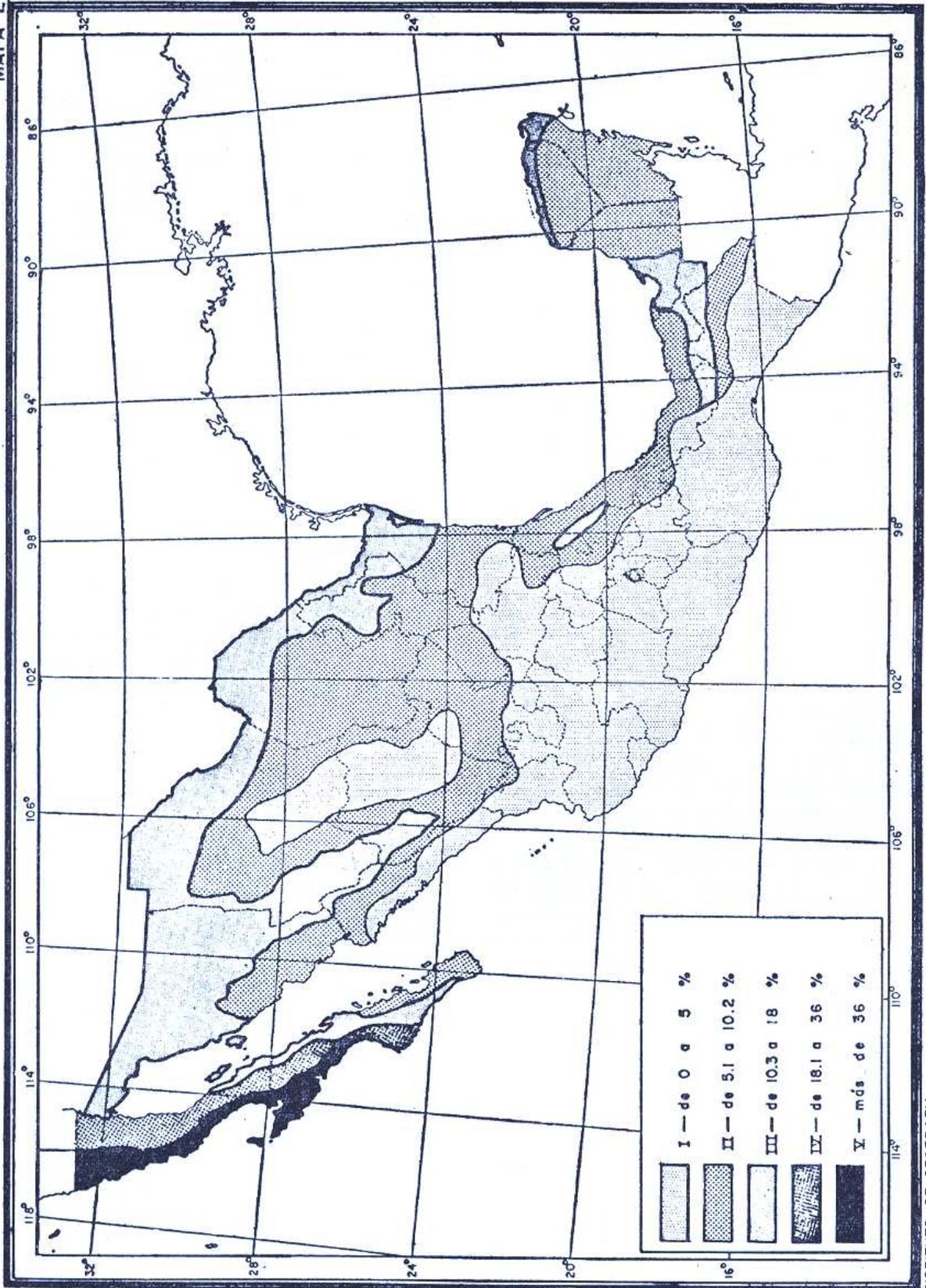
Por otra parte, las estaciones con régimen de lluvias de invierno tienen porcentajes de lluvia, en esta estación en general, mayores de 28% de la anual, pero las estaciones más numerosas son las que presentan porcentajes mayores de 36, y se localizan en la vertiente al Pacífico de la Península de la Baja California al norte del paralelo 26°N. Aquellas que tienen su porcentaje entre 18 y 36 son de transición hacia el clima de régimen de lluvias de verano (No. IV, Mapa 2) y algunas se encuentran entremezcladas con las de régimen x' (No. III Mapa 2.) A las estaciones con estas características las diferenciaremos de las típicas de régimen de invierno (con más de 36% de lluvia invernal), añadiendo a la letra s la letra x' entre paréntesis: $s(x')$, $s'(x')$ o $s''(x')$, para indicar que tienen también cierta proporción de lluvia en verano que las acerca a las de régimen x' . Se encuentran situadas en la parte central de la Península de la Baja California y en la porción noroccidental de la llanura costera del Pacífico.

Los porcentajes de lluvia invernal de las estaciones que conforme al criterio de Köppen resultan con régimen de lluvias uniformemente repartidas (intermedias entre las w y las s), se hallan comprendidos entre 8.1 y 36% de la anual, es decir, son comparables a los más bajos de las estaciones con régimen de lluvias de invierno designadas por nosotros como $s(x')$ y a los más altos de las de régimen de lluvias de verano $w(x')$.

Por todo lo que antecede, se nota que tanto las estaciones con régimen de lluvias $w(x')$, como las de régimen $s(x')$, se encuentran próximas a las de régimen de lluvias uniformemente repartidas o intercaladas entre ellas. En el noreste de la República Mexicana estas estaciones x' constituyen la transición entre los climas con régimen de lluvias de verano del centro y sur del país y los de régimen de lluvias uniformemente repartidas del sureste de los Estados Unidos, y en el norte y noroeste de la República son de transición entre los climas de régimen de lluvias de verano

PORCENTAJES DE LLUVIA INVERNAL

MAPA 2



INSTITUTO DE GEOGRAFIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

Enriqueta García.
Dibujo: J. Colónico

y los de invierno, como en la parte más boreal del norte de la Altiplanicie, parte de la llanura costera del Pacífico, el declive noroeste de la Sierra Madre Occidental y las porciones central este y central sur de la Península de la Baja California (No. III Mapa 2.)

Todas las estaciones con régimen $w(x')$, $s(x')$ y x' constituyen una zona de clima con características similares en lo referente a régimen de lluvias, por lo que se consideró pertinente en García (1964) reunir las para constituir una sola variedad climática que se distingue por la presencia del símbolo x' o (x') .

En resumen, se considerarán como climas con régimen de lluvias de verano, con muy poca lluvia de invierno, los de porcentaje de lluvia, en esta estación, menor de 5% de la anual, y se distinguirán de los otros por la presencia del símbolo (w) : $w(w)$, $w'(w)$, $w''(w)$ o $m(w)$ (No. I, Mapa 2.) Se considerará como climas con régimen de lluvias de verano con algo de lluvia de invierno a los que tienen un porcentaje de lluvia, en esta estación, comprendido entre 5 y 10.2 de la anual, y se distinguirán por los símbolos w , w' , w'' o m (No. II, Mapa 2.) Se considerarán como climas con régimen de lluvias uniformemente repartidas, a los que tienen porcentajes de lluvia invernal comprendidos entre 10.2 y 36 de la anual, y se distinguirán por la presencia del símbolo x' : $w(x')$, $w'(x')$, $w''(x')$, x' , $s(x')$, $s'(x')$ o $s''(x')$ (Nos. III y IV del Mapa 2.) Por último, se considerarán como climas con régimen de lluvias de invierno a los que tienen un porcentaje de lluvia, en esta estación, mayor que 36% de la anual, para los que se emplearán los símbolos s , s' , s'' (No. V, Mapa 2.)

Hay, además, estaciones con clima muy lluvioso, f de Köppen, que tienen, sin embargo, un máximo muy marcado de lluvias en verano y principios del otoño, por lo que no son propiamente f , puesto que la distribución de la lluvia no es uniforme en el año; estas estaciones serán designadas con el símbolo (fm) para indicar la presencia de la lluvia de verano.

Esta nueva manera de clasificar el clima de las estaciones por su régimen pluviométrico, según su porcentaje de lluvia invernal, permite que se puedan trazar zonas con determinado régimen, y elimina el problema que

se tenía, al usar el criterio de Köppen, de que las estaciones de diferente régimen pluviométrico quedaran entremezcladas aparentemente sin ningún orden.

DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL AÑO

El Mapa 3 muestra las gráficas de distribución de la lluvia en el año, de algunas de las estaciones, con más de 20 años de observación, situadas en lugares escogidos del país.

Como se dijo anteriormente, en la mayor parte de la República la temporada lluviosa se presenta en la mitad del año en que se encuentra el verano, es decir, de mayo a octubre, excepto en una pequeña área del noroeste en donde predomina el clima con lluvias en invierno.

En las gráficas se muestra claramente si las estaciones presentan su máximo de precipitación en el verano, es decir, si tienen régimen w ; si se desplaza hacia el otoño, es decir, si su régimen es w' o si presentan dos máximas en la mitad del año en que se encuentra el verano, separadas por dos estaciones secas: una corta en el verano y otra larga en el invierno, w'' . Si el máximo de lluvias se presenta en el invierno es fácil, por las gráficas, ver si se trata de climas s , s' o s'' ; lo mismo si la lluvia está uniformemente repartida.

En la lista que sigue y que contiene todas las estaciones que figuran en el Mapa 3, se han clasificado las estaciones según su régimen de lluvias teniendo en cuenta tanto el porcentaje de lluvia invernal como la distribución de la lluvia en la temporada más húmeda. Con esto se intenta dar una idea más adecuada de los regímenes pluviométricos de México.

Ward et al (1936) citan los trece tipos de precipitación de México, de Page, quien basó su clasificación en la distribución de la lluvia en el año y en la cantidad total anual; nuestros tipos de precipitación se basan esencialmente en la distribución de ésta en el año, ya que la cantidad puede variar de manera muy amplia, por lo que resultaría una infinidad de tipos de precipitación, lo que no haría sino complicar el esquema general.

Es interesante hacer notar el mes de máxima precipitación. Como se aprecia en el Mapa 3, las estaciones situadas en la vertiente del Océano Pacífico, desde el paralelo 26°N hacia el Sur, incluyendo la porción oriental del sur de la Península de la Baja California, presentan un máximo, muy marcado en septiembre, que coincide en la época en que los ciclones tropicales del Pacífico son más frecuentes.

En la vertiente del Golfo de México y en la porción noreste de la Altiplanicie Mexicana, así como en las partes más elevadas de las montañas del sur del país, se presenta también un máximo, muy marcado en septiembre, que coincide con la época de mayor frecuencia de los ciclones antillanos.

En las cuencas interiores del sur, así como sobre la Altiplanicie Mexicana, el máximo se presenta en pleno verano: junio o julio, poniendo de manifiesto el origen convectivo de la precipitación que parece tener su fuente de humedad en la lengua de aire húmedo alimentada por los alisios.

En el extremo noroeste del país, que tiene régimen mediterráneo con su máximo en enero, es clara la influencia de los vientos del Oeste asociados con las perturbaciones propias de las latitudes medias.

Las zonas del norte, noreste y noroeste de la porción continental del país, con régimen de lluvias uniformemente repartidas, sugieren la influencia de la convección en el verano y de los vientos del Oeste en el invierno.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

1) La distribución geográfica de la precipitación en la República Mexicana está tan íntimamente ligada con la orografía del país como con la distribución de los rasgos más prominentes de la circulación atmosférica. Las montañas actúan como barreras que impiden la penetración al interior del país, de toda la humedad acarreada por los vientos de las

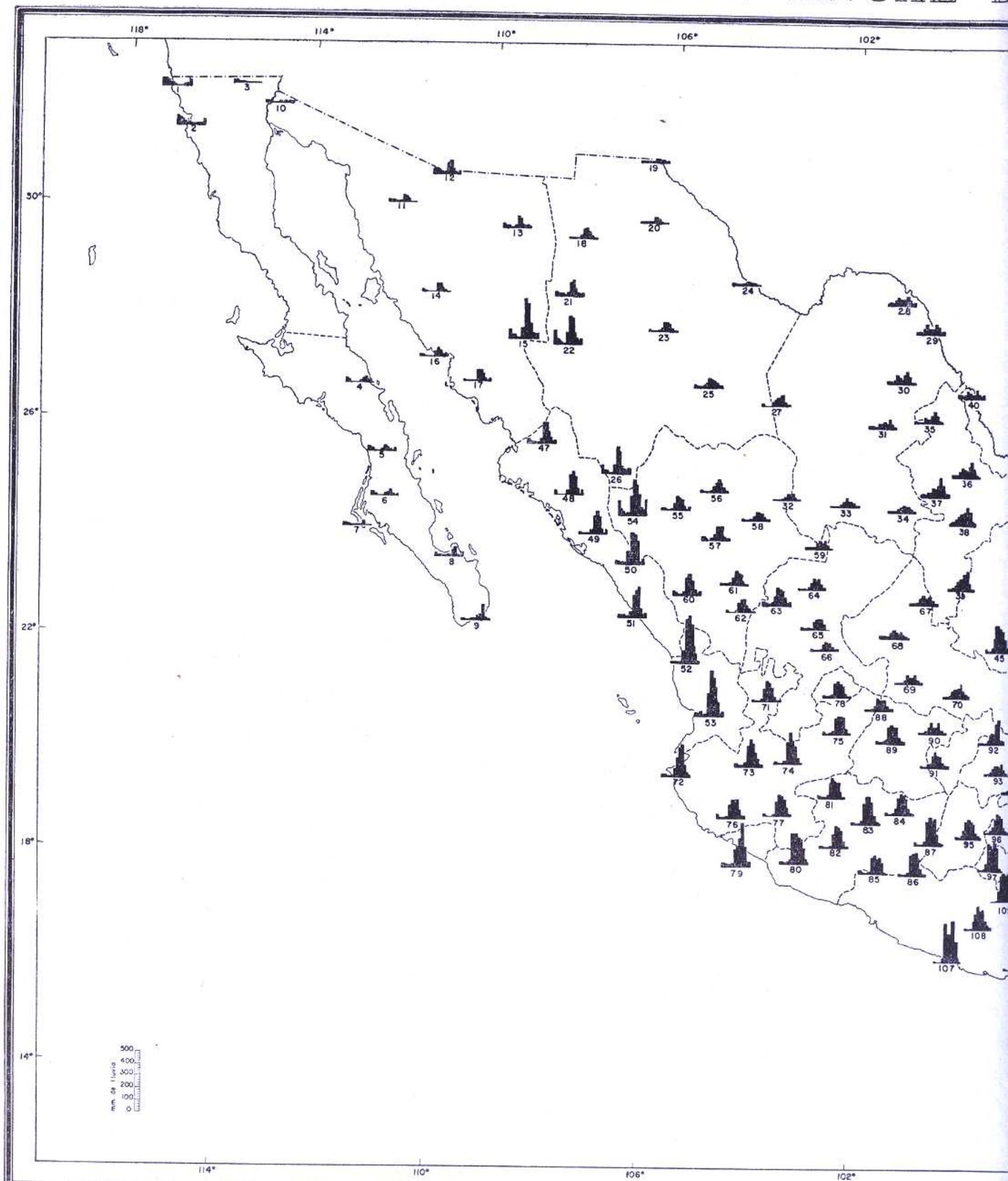
capas bajas de la atmósfera, al mismo tiempo que hacen aumentar la cantidad de lluvia en las vertientes expuestas a vientos húmedos, así como en las partes más elevadas del interior, por ascenso y enfriamiento adiabático del aire. La gran altitud media de los rasgos prominentes del relieve alcanza a niveles superiores de la atmósfera en los que las condiciones de humedad y de circulación son distintas que a niveles bajos; así, por ejemplo, la Altiplanicie Mexicana, a pesar de su baja latitud, queda bajo la influencia de los vientos del Oeste de las latitudes medias, por lo menos durante ciertas épocas del año.

2) La presencia de la lengua de aire húmedo en el verano, alimentada por los alisios de que Mosiño y Sands hablan, parece ser inminente, ya que la precipitación del verano, ocasionada por convección, puede tener en ella su fuente de humedad.

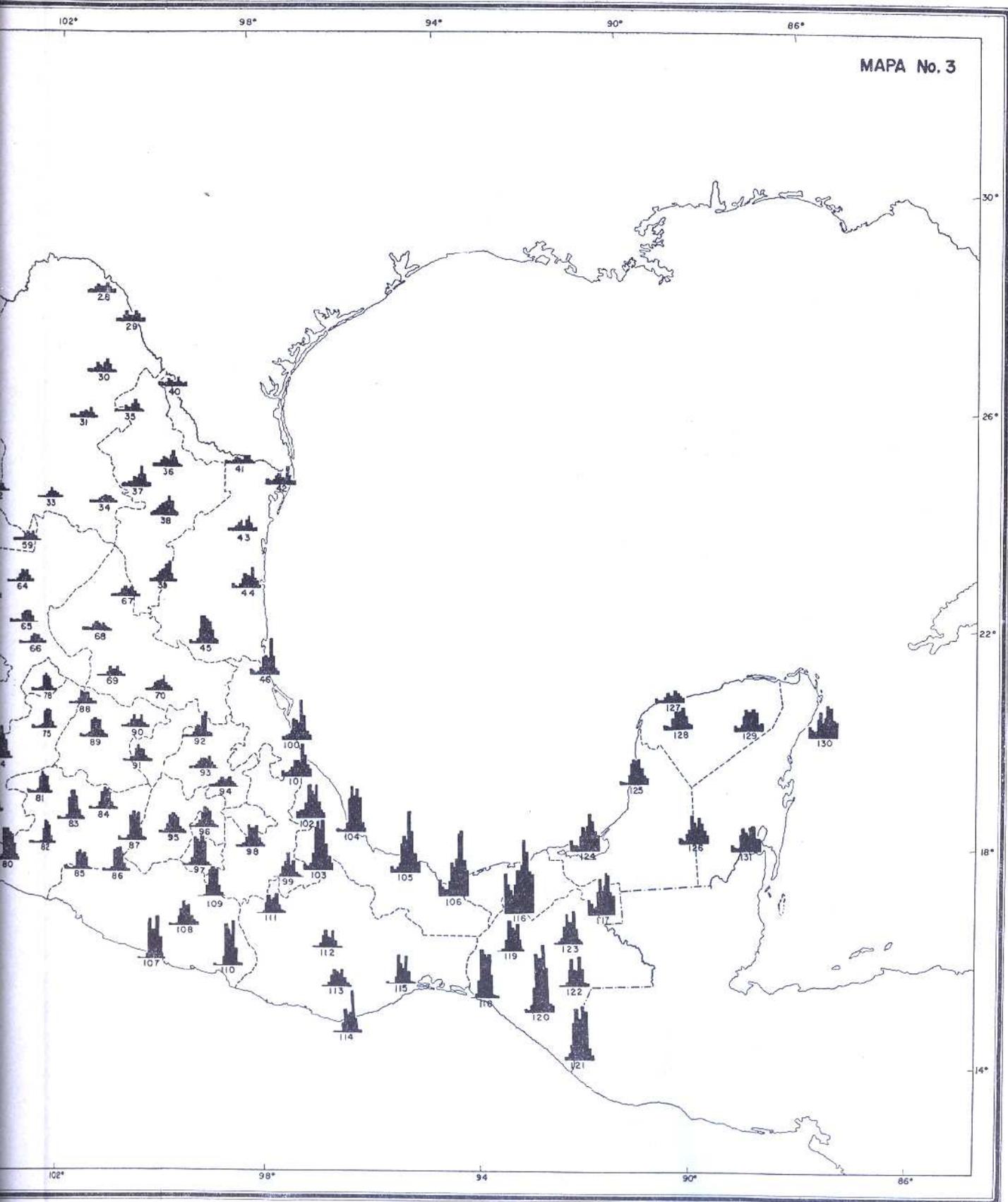
3) Los ciclones tropicales así del Golfo de México como del Océano Pacífico parecen tener gran influencia en los máximos de precipitación en los lugares situados en sus vertientes, pues los máximos coinciden con la época de mayor frecuencia de dichas perturbaciones ciclónicas.

4) De los estudios que la autora ha realizado para adaptar el sistema de clasificación climática de Köppen a las condiciones particulares de la República Mexicana, han surgido métodos que pueden ayudar a determinar, con mayor apego a la realidad, las condiciones de precipitación del país. A continuación se resume el orden que puede seguirse para tal fin: *a)* considerar la distribución de la temporada más lluviosa, y de acuerdo con ello hacer la primera clasificación en climas, w , w' , w'' , m , s , s' , s'' , x' o f ; *b)* considerar el porcentaje de lluvia invernal y añadir el símbolo correspondiente entre paréntesis, (w), (x') o (fm); *c)* considerar el total de precipitación en el año, para determinar, por medio de las fórmulas de Köppen modificadas por García (1964), las condiciones de humedad o de sequía.

DISTRIBUCION ANUAL D



ANUAL DE LA LLUVIA



ESTACIONES QUE APARECEN EN EL MAPA 3 CLASIFICADAS
SEGÚN SU RÉGIMEN DE LLUVIAS

<i>No. en el mapa</i>	<i>Estación</i>	<i>Estado</i>	<i>% lluvia invernal</i>	<i>Régimen de lluvias</i>
1	Tijuana	B.C.N.	50.7	s
2	Ensenada	"	50.6	s
3	Mexicali	"	30.3	s(x')
4	Santa Rosalía	B.C.S.	13.6	w'(x')
5	Comondú	"	17.3	w(x')
6	Buenavista	"	24.8	w'(x')
7	Bahía Magdalena	"	17.1	w'(x')
8	La Paz	"	8.9	w
9	San José del Cabo	"	7.1	w
10	San Luis Río Colorado	Son.	35.1	w(x')
11	Altar	"	15.9	w(x')
12	Nogales	"	18.4	w(x')
13	Angostura, Presa	"	17.0	w(x')
14	Hermosillo	"	9.6	w
15	Yécora	"	11.0	w(x')
16	Guaymas	"	8.4	w
17	Cd. Obregón	"	7.0	w
18	Casas Grandes	Chih.	5.6	w
19	Ciudad Juárez	"	13.6	x'
20	Villa Ahumada	"	10.7	x'
21	Madera	"	12.5	w(x')
22	Concheño	"	16.6	w(x')
23	Chihuahua	"	4.4	w(w)
24	Ojinaga	"	11.7	x'
25	Cd. Camargo	"	4.9	w(w)
26	Dolores	"	16.8	w(x')
27	Sierra Mojada	Coah.	7.3	w
28	Palestina	"	14.0	x'
29	Piedras Negras	"	12.7	x'
30	Sabinas	"	8.8	w''
31	Monclova	"	9.8	w''
32	Torreón	"	6.1	w'
33	Parras	"	7.9	x'
34	Saltillo	"	8.8	x'
35	Lampazos	N.L.	9.5	w'
36	Cerralvo	"	8.8	x'
37	Monterrey	"	8.2	w
38	Montemorelos	"	9.2	x'
39	Zaragoza	"	5.9	w
40	Nuevo Laredo	Tamps.	13.6	x'
41	Reynosa	"	14.7	x'
42	Matamoros	"	13.2	x'
43	San Fernando	"	11.1	x'
44	Soto la Marina	"	7.0	w'
45	Cd. Mante	"	3.8	w(w)
46	Tampico	"	6.5	w'
47	El Fuerte	Sin.	7.7	w
48	Mocorito	"	7.3	w
49	Culiacán	"	5.0	w
50	Cosalá	"	4.7	w(w)
51	Mazatlán	"	3.1	w(w)

<i>No. en el mapa</i>	<i>Estación</i>	<i>Estado</i>	<i>% lluvia invernal</i>	<i>Régimen de lluvias</i>
52	Acaponeta	Nay.	1.8	w(w)
53	Tepic	"	4.8	w(w)
54	Topia	Dgo.	13.6	w(x')
55	Tepehuanes	"	5.9	w
56	Palmito	"	2.2	w(w)
57	Guatimapé	"	2.9	w(w)
58	Nazas	"	4.2	w(w)
59	San Juan Guadalupe	"	6.6	w''
60	Salto, El	"	9.2	w
61	Durango	"	3.9	w(w)
62	Mezquital	"	6.3	w
63	Sombrerete	Zac.	6.0	w
64	Río Grande	"	2.0	w(w)
65	Fresnillo	"	9.0	w
66	Zacatecas	"	9.0	w
67	Matehuala	S.L.P.	6.9	x'
68	Charcas	"	7.0	w''
69	San Luis Potosí	"	4.8	w''(w)
70	Río Verde	"	4.2	w(w)
71	Bolaños	Jal.	4.2	w(w)
72	Cabo Corrientes	"	4.2	w(w)
73	Ameca	"	2.9	w(w)
74	Guadalajara	"	2.1	w(w)
75	San Juan de los Lagos	"	2.1	w(w)
76	Autlán	"	6.0	w
77	Cd. Guzmán	"	2.7	w(w)
78	Aguascalientes	Ags.	3.3	w(w)
79	Manzanillo	Col.	1.9	w'(w)
80	Coalcomán	Mich.	1.7	w(w)
81	Zamora	"	4.4	w(w)
82	Apatzingán	"	1.9	w(w)
83	Pátzcuaro	"	3.4	w(w)
84	Morelia	"	3.2	w(w)
85	Churumuco	"	2.7	w(w)
86	Huetamo	"	1.2	w(w)
87	Tuzantla	"	2.1	w(w)
88	Ocampo	Gto.	5.6	w
89	Guanajuato	"	3.4	w(w)
90	San Luis de la Paz	"	7.4	w''
91	Querétaro	Qro.	3.7	w(w)
92	Jacala	Hgo.	3.5	w'(w)
93	Actopan	"	6.2	w'
94	Pachuca	"	7.7	w''
95	Toluca	Méx.	3.3	w(w)
96	Tacubaya	D.F.	3.1	w(w)
97	Cuernavaca	Mor.	1.6	w'(w)
98	Puebla	Pue.	2.4	w''(w)
99	El Riego	"	2.4	w''(w)
100	Tuxpan	Ver.	8.5	w'
101	Papantla	"	9.7	w'
102	Jalapa	"	9.8	(fm)
103	Orizaba	"	5.0	m
104	Veracruz	"	4.2	w(w)
105	San Andrés Tuxtla	"	4.6	m(w)

No. en el mapa	Estación	Estado	% lluvia invernal	Régimen de lluvias
106	Coatzacoalcos	"	9.6	m
107	Acapulco	Gro.	0.7	w''(w)
108	Chilpancingo	"	1.4	w(w)
109	Olinalá	"	1.2	w(w)
110	Azoyú	"	0.7	w''(w)
111	Huajuapán de León	Oax.	1.8	w''(w)
112	Oaxaca	"	2.2	w''(w)
113	Miahuatlán	"	2.2	w''(w)
114	Puerto Ángel	"	0.7	w'(w)
115	Tehuantepec	"	0.7	w''(w)
116	Teapa	Tab.	10.8	(fm)
117	Tenosique	"	10.8	m
118	Tonalá	Chis.	0.3	w(w)
119	Tuxtla Gutiérrez	"	0.3	w''(w)
120	Liquidámbar	"	1.6	m(w)
121	Tapachula	"	3.9	m(w)
122	Comitán	"	2.7	w''(w)
123	Ocosingo	"	7.6	m
124	Cd. del Carmen	Camp.	10.4	m
125	Campeche	"	3.9	w(w)
126	Zohlaguna	"	3.9	w(w)
127	Progreso	Yuc.	10.6	x'
128	Mérida	"	7.8	x'
129	Valladolid	"	9.5	x'
130	Cozumel	Q. Roo	12.9	m
131	Cd. Chetumal	"	8.8	x'

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi gratitud a las personas e instituciones que me facilitaron la realización de este trabajo: en primer lugar, al Instituto de Geografía de la Universidad, en el que se llevó a cabo; a la sección de Climatología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos, al Servicio Meteorológico Mexicano, al Centro

Electrónico de Cálculo de la Universidad, al ingeniero Pedro Mosiño, investigador del Instituto de Geofísica, por sus valiosas sugerencias, a las Sras. Ma. Dolores Cardoso, Laura Elena Maderey y Ma. Cristina Medina, miembros del personal del Instituto de Geografía, que me ayudaron en la recopilación de datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, E., C. Soto y F. Miranda, 1961. "Larrea y Clima". *An. Inst. Biol.*, Méx., 31: 133-171.
- García, E., 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S. A. Méx.
- Köppen W., 1936. *Das Geographische System der Klimate in Handbuch der Klimatologie. Band I, Teil C: 1-44.* Berlin.
- Mosiño, A. P., 1958. "Una clasificación de las configuraciones del flujo aéreo en la República Mexicana". *Rev. de Ing. Hidr. en Méx.* Vol. XII, No. 2. Méx.
- Mosiño, A. P., 1959. "La precipitación y las configuraciones del flujo aéreo en la República Mexicana". *Rev. de Ing. Hidr. en Méx.* Vol. XIII, No. 3. Méx.
- Sands, R. S., 1960. A study in the regional dynamic climatology of Mexico with precipitation as the correlative factor. A dissertation for the Ph. D. Degree. Clark Univ. Worcester, Mass.
- Trewartha, G. T., 1961. *The Earth's problem cli-*

mates. The University of Wisconsin Press. Madison.
Wallen, C. C., 1955. "Some characteristics of precipitation in Mexico". *Geografiska Annaler* XXX VII, 1-2.

Ward, R. de C., Ch. F. Brooks y A. J. Connor, 1936. The climates of North America in *Handbuch der Klimatologie*. Band II, Teil J: 1-79 Berlin.