

## CONDICIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LOS ESTADOS DEL NORTE DE MÉXICO\*

Rosalía Vidal Zepeda\*\*

### Resumen

Para colaborar con quienes necesitan optimizar el uso racional del agua, se hace un breve análisis de las características de la precipitación en el norte de México: distribución de la media, de la moda y regímenes de lluvia que se presentan. Se evaluó la precipitación anual máxima en 24 horas así como la correspondiente a los meses de mayo a octubre y la media mensual de los días lluviosos. Se calcularon los períodos de retorno para diversas cantidades de lluvia máxima en el mes de septiembre. Se incluyen algunos resultados de la evaluación de los sistemas de tiempo más frecuentes, estudiados en imágenes diarias de satélite.

Este trabajo pretende ser una contribución a la geografía de las zonas áridas, en las que, el conocimiento de los elementos y factores del clima es decisivo, ya que influyen directamente en las actividades encaminadas a producir el desarrollo de la región.

### Summary

A brief analysis on precipitation characteristics was done: in an attempt to improve the rational use of water in the arid lands in the northern part of Mexico annual rainfall distribution, mode of precipitation and rain regimes. The maximum rainfall in 24 hours was evaluated from May to October, as well as the annual, also the monthly average rainy days were calculated. The return periods for different amounts of maximum rainfall in 24 hours was calculated for September. The most frequent weather systems responsible for the high precipitation amounts were studied in the daily cloud satellite images.

This paper pretends to be a contribution to the Geography of arid zones, where the knowledge of the climatic elements and controls are important, because of their direct influence in some of the regional development activities.

### Localización del área en estudio

Abarca la península de Baja California (estados de Baja California y Baja California Sur), así como la porción norte del país en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. Por su latitud se localiza en la zona subtropical al norte del paralelo 23°N.

---

\* Recibido: 17 de enero de 1995.

\*\* Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Apdo. Postal 20-850, 01000 México, D. F.

### Precipitación total

Los datos utilizados corresponden al período 1921-1985 para una red de 350 estaciones climatológicas. La información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de la SARH y por el Departamento de Hidrometeorología de la Comisión Federal de Electricidad.

La distribución geográfica de la precipitación anual (**Figura 1**) confirma el hecho de que este elemento del clima decrece hacia el interior de los continentes y aumenta en las vertientes orientales, a causa de la humedad proporcionada por los vientos del Este que dominan en estas latitudes. (Miller, 1975).

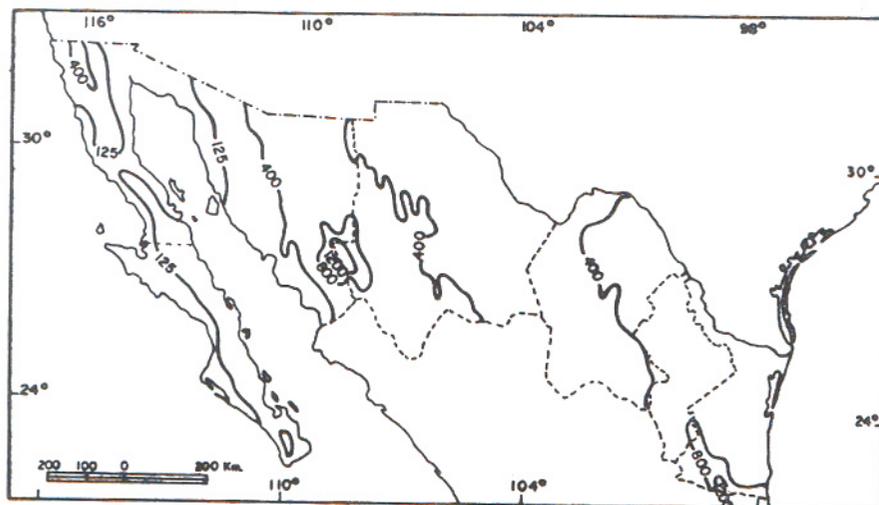


Figura 1. Precipitación total anual en mm.

La localización de los estados del norte de México en la Zona Subtropical del planeta, el relieve, consistente en dos enormes sierras que corren de noroeste a sureste y delimitan a la Altiplanicie Mexicana, la influencia de los océanos y la circulación de la atmósfera en esta latitud (entre 22°14' y 32°32' N), son las principales causas de los grandes contrastes en la cantidad y distribución de la precipitación que se observan.

Durante la mitad caliente del año dominan los vientos alisios provenientes del anticiclón Bermuda-Azores, situado en el Atlántico norte. La zona intertropical de convergencia (ITC) extiende su influencia a mayor latitud que en invierno y propicia la entrada de humedad al país.

Con el avance del verano, son más frecuentes las depresiones y los ciclones tropicales que se originan en ambos océanos.

En la costa del Océano Pacífico, sobre todo en el Golfo de Tehuantepec, dichas perturbaciones siguen trayectorias variables hacia el noroeste a lo largo de las costas y, con frecuencia, por efecto del monzón (García y Trejo, 1994), se introducen masas nubosas que coadyuvan a aumentar las precipitaciones sobre todo en áreas montañosas cercanas a las costas. En algunos días es muy importante la inestabilidad convectiva que se desarrolla.

La lluvia anual varía de 1 200 mm en las porciones más elevadas de la Sierra Madre Oriental (NL-Tamps) y de la Sierra Madre Occidental (Son-Chih), a 70 mm en la región de Mexicali y la cuenca del río Colorado (BC-Son).

En la porción oriental del país, las lluvias son más abundantes en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental: sierras de Cucharas, Chanal y la Colmena (NL-Tamps).

En la Altiplanicie, hacia el interior, las lluvias son menores de 400 mm anuales.

En la Sierra Madre Occidental, arriba de los 1 000 m de altitud, la precipitación anual varía de 400 a 1 200 mm en promedio, las isoyetas siguen la dirección general de la Sierra (noroeste a sureste), la porción más húmeda corresponde a la Sierra Tarahumara (Son-Chih).

En la Península de Baja California las lluvias son raquílicas, solo exceden escasamente los 400 mm en las sierras de Juárez y de San Pedro Mártir, situadas al norte, así como en las sierras de San Lázaro y La Laguna en el extremo sur. En general la cantidad anual fluctúa de 70 mm en las áreas más secas de los valles de Mexicali y del río Colorado a 250 mm en las laderas occidentales, mejor expuestas a la fuente de humedad del Océano Pacífico.

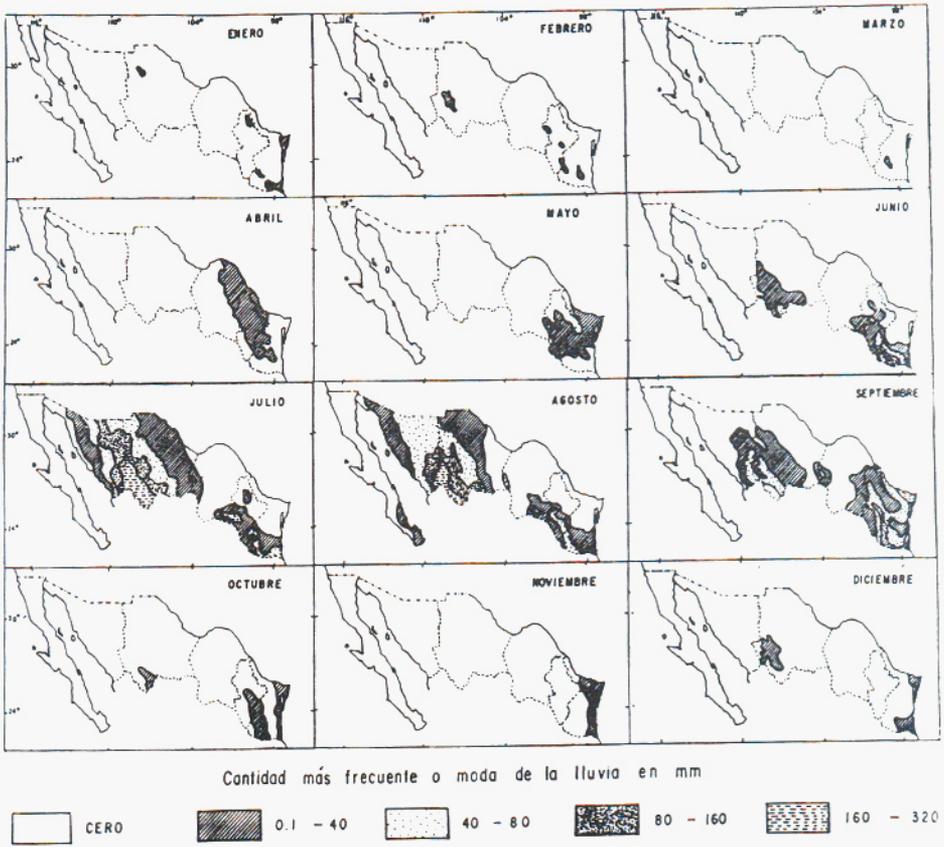
En la parte alta de las sierras mencionadas en el Norte de la Península no hay datos de precipitación, pero por la influencia del factor orográfico, y a juzgar por la vegetación de bosque de coníferas, la precipitación debe ser mayor de 500 o 600 mm (García y Mosiño, 1968).

Otra forma de representar la distribución geográfica de la lluvia es mediante el trazo de isoyetas del valor modal de este elemento (García 1989).

En los doce mapas de moda o valor más frecuente de precipitación mensual (**Figura 2**) se observa, paulatinamente, el establecimiento de la temporada lluviosa en la región; destacan extensas áreas donde el valor más frecuente es cero durante ocho o nueve meses del año. La lluvia es escasa, generalmente menor de 300 mm, en las porciones más húmedas, y se concentra en los meses de abril a septiembre; es casi nula durante el invierno, con excepción de la franja costera Tamaulipeca que registra hasta 40 mm mensuales de noviembre a enero, lo que la convierte en un área privilegiada, ya que recibe lluvias todo el año. También en el extremo noroeste de Baja California el valor modal de la precipitación puede llegar hasta 40 mm en enero.

### **Régimen pluviométrico**

De acuerdo con la manera como se distribuye la lluvia en el año, resultan en México tres regímenes pluviométricos: si la precipitación se concentra en la mitad caliente del año (mayo a octubre), se dice que el régimen es de verano, si se presenta en la mitad fría del año, el régimen es de invierno, pero si la lluvia se distribuye en todos los meses del año, se denomina



**Figura 2.** Moda mensual de lluvia.

régimen intermedio. En la figura 3 se pueden observar las áreas del país sujetas a los diferentes regímenes pluviométricos.

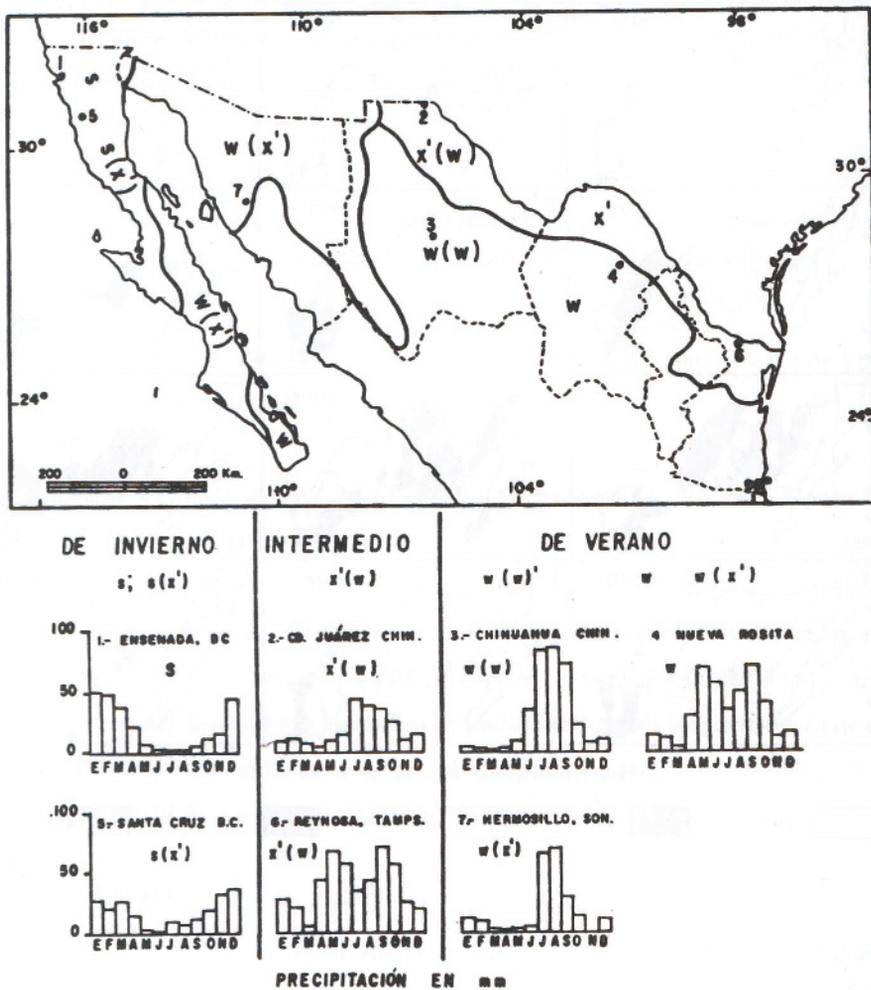


Figura 3. Régimen de lluvias.

El Sistema de Clasificación de Köppen modificado para México (García, 1964), permite establecer diferencias en los regímenes por medio de fórmulas que tienen en consideración la temperatura, la cantidad total de precipitación y el porcentaje de lluvia invernal. Se emplean dos fórmulas para el régimen de invierno, dos para el intermedio y tres para el de verano. Este sistema introduce el concepto de precipitación invernal expresada en porcentaje respecto a la total anual, lo cual permite conocer con mayor detalle la distribución de la lluvia en el año.

En el cuadro a continuación, se anotan las características de cada una de las variantes de los regímenes pluviales que se presentan en la región en estudio.

**Cuadro 1. Regímenes pluviométricos**

<b>De invierno:</b>		<b>Intermedio:</b>		<b>De verano:</b>		
Por lo menos tres veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad del año en que se encuentra el invierno, que en el mes más seco.		Si el mes más lluvioso es en verano no llega a ser 10 veces mayor que el mes más seco. Si cae en invierno, no llega a tres.		Por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad del año en que se encuentra el mes más seco.		
Porcentaje de precipitación invernal respecto a la anual						
Menor de 36 $s(x')$	Mayor de 36 $s$	Menor de 18 $x'(w)$	Mayor de 18 $x'$	Menor de 5 $w(w)$	de 5 a 10.2 $w$	Mayor de 10.2 $w(x')$

En los lugares con régimen de verano la lluvia de mayo a octubre representa un alto porcentaje respecto a la anual, por ejemplo en Chihuahua, Chih. suma 312.9 mm, que representan 90% de los 347.6 mm que en promedio recibe anualmente. El 3.3% cae en mayo, 9.8 en junio, 24 en julio, 25 en agosto, 21.2 en septiembre y 6.6 en octubre.

En la franja fronteriza, con lluvias repartidas todo el año (régimen intermedio), la estación Ciudad Juárez recibe 62% de su precipitación total en los meses de julio a octubre: 19% en julio, 17 en agosto, 15 en septiembre y 11 en octubre. El noroeste de la península de Baja California presenta régimen invernal; en Ensenada, por ejemplo, la temporada húmeda comienza en noviembre y termina en abril. La precipitación en este período representa 88% respecto a la total anual, mientras que la correspondiente de mayo a octubre es sólo de 12% .

### **Precipitación máxima en 24 horas**

Es la cantidad de precipitación máxima registrada en un día, en un lugar en todo el período considerado. Los registros muestran el valor máximo de cada mes, de estos valores se elige el mayor para trazar el mapa de precipitación máxima en 24 horas ya sea mensual o anual. La **figura 4** muestra el mapa anual y la **figura 5** los mapas de mayo a octubre.

La distribución de la lluvia, en general, presenta una considerable variación espacial y temporal ocasionada por diferencias en el tipo y escala de los sistemas productores de precipitación, es, además, fuertemente influenciada por factores locales y regionales, como la topografía y la dirección del viento (Wilson y Atwater, 1972).

La precipitación máxima en 24 horas es un parámetro importante, muy útil para la agricultura, en los estudios de drenaje, de tormentas, y para profundizar en el análisis pluviométrico de cualquier región. Pocas áreas del mundo experimentan una precipitación que pueda ser predecible, y no son la excepción los estados del norte de México donde la lluvia máxima en 24 horas mostró considerable variación: de 30 mm en la cuenca baja del río Colorado a 325 en las sierras frontales de la Sierra Madre Oriental.

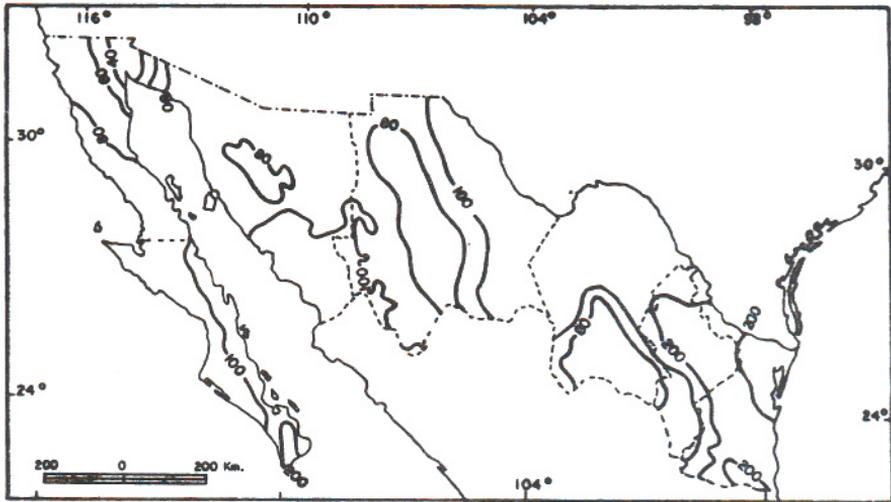


Figura 4. Precipitación máxima en 24 horas (anual mm).

Debido a que la magnitud de la precipitación en un día depende del grado de inestabilidad atmosférica, de la humedad suplementaria y de la variabilidad de la lluvia de un día a otro, es necesario conocer, para cada región, la presencia de las cantidades máximas de lluvia en el pasado.

La distribución anual de la precipitación máxima en 24 horas corresponde a un período de 40 años de observaciones (1941 a 1980). En el análisis de este elemento del clima destaca la importancia que ejercen algunos factores geográficos como la altitud, el relieve y la cercanía a los océanos, principales fuentes de evaporación.

Las regiones de mayor precipitación máxima en 24 horas, se localizan en la vertiente oriental del macizo continental y de la mitad austral de la península de Baja California en donde se reciben más de 100 mm, y aún 200, en las laderas mejor expuestas.

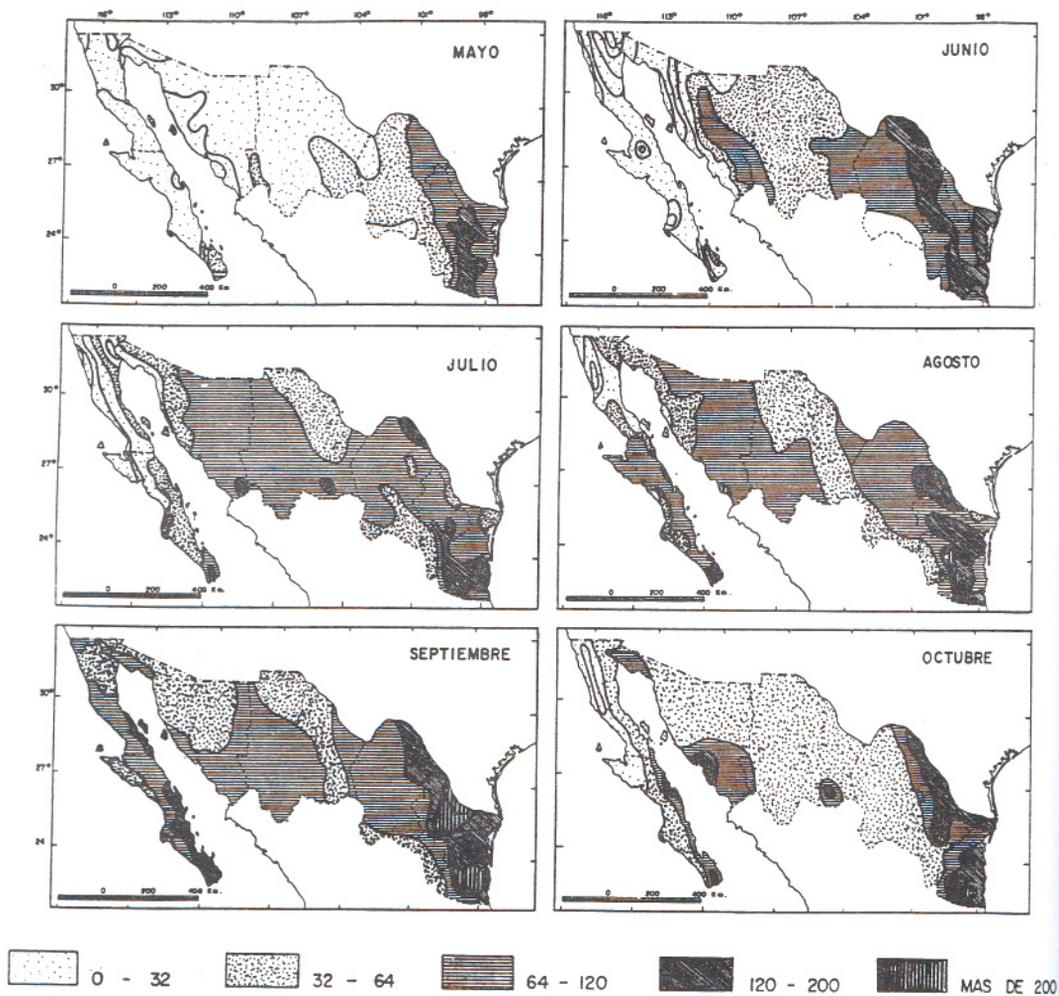


Figura 5. Mapas mensuales de precipitación máxima en 24 horas.

Las cantidades de precipitación máxima revelan la presencia de grandes tormentas de corta duración, en las que fuertes vientos del mar al continente (efecto de monzón) prevalecen en la tropósfera baja que se mantiene saturada y con gran inestabilidad convectiva (Hales, 1972; Jáuregui, 1980).

El efecto más importante del relieve sobre el viento sucede cuando las masas de aire son forzadas a ascender, así se produce en el lado de barlovento de las montañas de la Sierra Madre Oriental abundante precipitación orográfica que, en la región, puede ser mayor de 200 mm en 24 horas; y un efecto de sombra pluviométrica en el lado de sotavento, en donde, en contraste, se tienen menos de 80 mm en la Altiplanicie Mexicana. Así cuando los vientos que traen las nubes de lluvia vienen principalmente de una dirección, las montañas se convierten en auténticas divisorias (Yukio, 1978).

En el noroeste del país las lluvias son escasas, sin embargo, suelen presentarse tormentas que en 24 horas pueden acumular de 40 a 80 mm. En contraste, en las regiones húmedas del sureste de México, pueden alcanzar de 200 a 400 mm o más. Lo ideal sería contar con datos de lluvia horaria que permitieran aplicar los criterios que recomienda la Organización Meteorológica Mundial para clasificar los tipos de lluvia acumulada en una hora: menor de 0.5 mm, lluvia ligera; de 0.5 a 4 mm, lluvia moderada, y mayor de 4 mm, lluvia fuerte. Pero al carecer de esa información se utilizarán los datos de precipitación máxima en 24 horas, como es costumbre, en estudios de drenaje y prevención de siniestros, ya que la ocurrencia de valores extremos de precipitación suelen ocasionar desastres.

Precisamente, la expresión más visible de los desastres ocurre con las tormentas severas. La vulnerabilidad humana a este tipo de tormentas va en aumento por la ocupación progresiva de áreas peligrosas, tales como cauces de ríos y pendientes escarpadas.

**Mapas de precipitación máxima en 24 horas, de mayo a octubre**

Con los datos de precipitación máxima en 24 horas se trazaron seis mapas de isoyetas mensuales correspondientes al período de mayo a octubre. Es interesante observar la distribución mensual de la lluvia máxima en 24 horas porque representa las mayores cantidades de precipitación que se han recibido en el período de 1941 a 1980. Destacan los meses de septiembre y octubre con la más alta precipitación, misma que coincide con el mayor número de tormentas tropicales.

La región más lluviosa es el noreste de la Sierra Madre Oriental y la llanura costera adyacente, así como el extremo sur de la península de Baja California, donde la lluvia máxima supera los 200 mm en un día. Por ejemplo, una de las cantidades más altas fue 332 mm en Villa de Santiago, N. L., el 22 de septiembre de 1967, al paso del huracán Beulah que ingresó al territorio nacional por la costa de Tamaulipas en esa fecha. Sería de utilidad identificar en las imágenes de satélite, los sistemas de tiempo que produjeron las mayores precipitaciones máximas en 24 horas (véase siguiente cuadro).

**Cuadro 2.** Precipitación máxima en 24 horas (mm) en el período 1941-1980

	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct
Ahualulco, Tamps.	148	367	222	227	198	200
S. Laguna, B.C.S.	4	23	340	200	327	365
V. Santiago, N. L.	98	226	128	200	332	277
Palestina, Coah.	70	239	165	105	160	220

### **Precipitación media mensual de los días más lluviosos**

Los registros de precipitación máxima en 24 horas mensuales pueden ser de utilidad para determinar la cantidad de precipitación en los días lluviosos; su promedio representa valores frecuentes de lluvia máxima, lo cual permite calcular períodos de retorno para cantidades seleccionadas de precipitación.

La cantidad de agua que llega al suelo, en un día lluvioso, puede variar, de unos lugares a otros de forma notable, incluso en áreas relativamente pequeñas, y en especial en terrenos escarpados. Las variaciones locales están relacionadas con la exposición y la altitud.

La precipitación de las zonas áridas es muy variable y normalmente escasa, pero en los días lluviosos de la temporada menos seca, la precipitación máxima en 24 horas puede fluctuar de 20 a 80 mm.

Como afirma Griffiths (1978), no solo es importante la cantidad de lluvia sino su distribución temporal.

Para observar la evolución de este elemento durante la época de lluvias, se trazaron los seis mapas correspondientes a la mitad caliente del año, que en nuestro país abarca de mayo a octubre (**Figura 6**).

Es necesario conocer la distribución del promedio de los días lluviosos, pues se ha estimado que las tormentas y granizadas con fuertes vientos provocan desastres anuales, con un promedio de 30 000 muertos y 2.5 billones de dólares en daños alrededor del mundo (Keith, 1992).

En general, las tormentas severas son producidas por varios fenómenos atmosféricos, principalmente ciclones tropicales, por convergencia entre masas de aire contrastantes y fuerte convección superficial, según afirman varios autores.

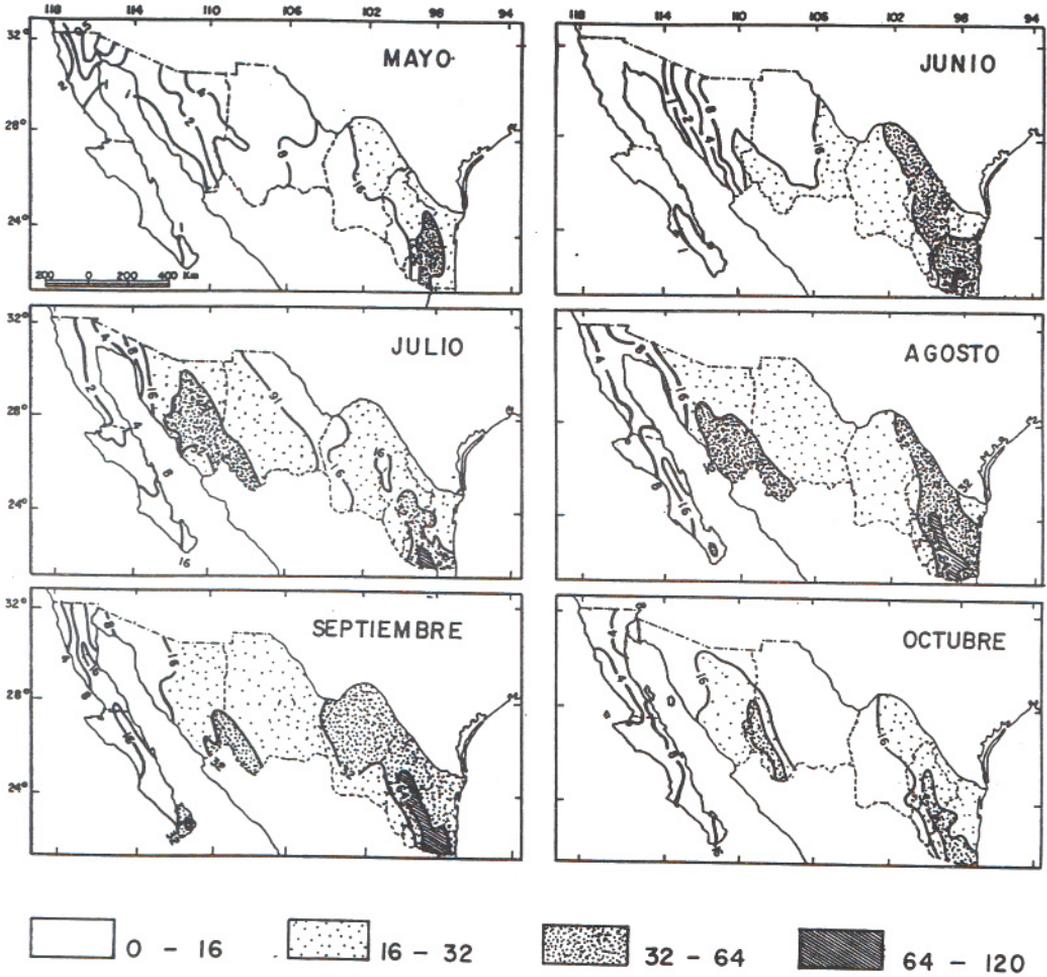


Figura 6. Promedio de precipitación de los días más lluviosos.

En **mayo** inicia la temporada de lluvia de verano, siendo todavía insignificante la cantidad de precipitación en los días lluviosos en casi toda la región norte del país, sólo el noreste recibe más de 16 mm, y las laderas este de la Sierra Madre Oriental presentan un promedio de lluvia mayor de 32 mm; ahí destacan lugares como El Cuchillo y General Bravo, N. L. que reciben en este mes, 30.3 y 40 mm, respectivamente; Villagrán, Tamps., 50.5 mm, y Ahualulco, Tamps., 51.9 mm.

En **junio**, el área con precipitación mayor de 16 mm se extiende un poco hacia la mitad oriental de la Altiplanicie Mexicana y parte sur de la Sierra Madre Occidental. En la Sierra Madre Oriental y la llanura costera, la lluvia aumenta a 32 mm en promedio, y es superior a 64 mm en los alrededores de la estación Ahualulco, Tamps.

Destacan en este mes lugares como Santiago, N. L. con 51 mm y Villagrán en Tamaulipas, con 51.8 mm; Ahualulco con 100.5, El Mante con 63.6 y Aldama con 58.2.

En **julio** la región que suele recibir precipitación mayor de 16 mm abarca, además, casi todo el estado de Sonora, aunque se observa una disminución en la porción central de la Altiplanicie.

Las partes más altas de las sierras Madre Oriental y Occidental, en lugares bien expuestos a los vientos provenientes del Golfo de México, donde los alisios se cargan de humedad, reciben en sus días lluviosos más de 32 mm de precipitación. Son ejemplos extremos Ahualulco con 74.2 mm, el Mante con 64.8 y Aldama con 62.5, situados a barlovento sobre las sierras frontales de la Sierra Madre Oriental.

En **agosto**, al aumentar la temperatura y el contenido de humedad del aire, la precipitación se incrementa en casi todo el norte del país, las medias mensuales de los días lluviosos mayores de 16 mm alcanzan hasta el sur de la península de Baja California. Las regiones situadas sobre las sierras y en la costa de Tamaulipas reciben precipitaciones de 32 a 64 mm,

por ejemplo, Villa de Santiago, N. L. con 69.2 mm, y en Tamaulipas, estaciones como Ciudad Victoria con 57.7 mm, Villagrán con 54, Ahualulco con 77.7 y Ciudad Mante con 57.5 mm.

En **septiembre** el promedio de precipitación de los días lluviosos reporta las mayores cantidades; sobre la Sierra Madre Oriental las tormentas son más severas como lo indica la presencia de una pequeña área con más de 60 mm; la nubosidad acarreada por los ciclones a menudo se acumula a lo largo de las laderas montañosas de las principales sierras, y destacan lugares como Monterrey (65.5 mm) y Villa de Santiago (90.7 mm) en Nuevo León; Ciudad Victoria (80.4), Aldama (84.8) y Villagrán (71), en Tamaulipas. En contraste, Saltillo, que dista 89 km de Monterrey hacia el oeste, recibe solamente 21.6 mm.

En el extremo sur de la península de Baja California las precipitaciones son mayores de 32 mm, en Loreto, 35.9; La Paz, 33.4 ; San Bartolo Sur 67.8; San José del Cabo 40.9 y Santiago 59.5 mm.

En **octubre** la precipitación promedio de los días lluviosos disminuye drásticamente: las partes más lluviosas son las laderas de las sierras Madre Oriental y Occidental así como la costa de Tamaulipas, con un promedio mensual de 16.3 mm; sólo es mayor de 32 mm en Villa de Santiago (63.1) y Monterrey, N. L. (38.8), así como en el corredor que va por San Fernando (34.4), Villagrán (37.2), Ciudad Victoria (42.4), Ahualulco (80.3), Ciudad Mante (38.9) y Aldama (38.6), en Tamaulipas.

En suma, de junio a septiembre, las áreas mejor expuestas a los vientos húmedos como son las laderas este de la Sierra Madre Oriental, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, reciben promedios de lluvia mayores de 64 mm.

Los seis mapas mensuales de lluvia promedio de los días lluviosos permiten observar la dinámica de la distribución de este elemento, que como una alfombra de humedad se va desenredando de este a oeste, en el norte de México, conforme avanzan los meses de la mitad caliente del año; abarca su máxima extensión en agosto y septiembre.

El extremo noroeste de Sonora y de la península de Baja California presenta régimen de lluvias de invierno, o intermedio con un alto porcentaje de precipitación invernal, y permanece seco el resto del año.

#### **Algunos criterios para evaluar las cantidades máximas de precipitación**

Camarillo (1984), en su estudio de precipitación diaria y horaria del Observatorio de Tacubaya establece las siguientes denominaciones para las cantidades de lluvia recibidas en 24 horas: llovizna o lluvia ligera de 0.1 a 1.0 mm; llovizna fuerte de 1 a 5; lluvia fuerte de 5 a 10; lluvia muy fuerte de 10 a 20; y chubasco, mayor de 20 mm.

Como es sabido, las tormentas que producen más de 16 mm en 24 horas son el resultado de varios aguaceros fuertes o de un gran chubasco.

Winkler (1988) al estudiar las características de las tormentas de verano en Minesota, E.U., definió la cantidad de 75 mm como lluvia extrema en 24 horas; sin embargo, aclara que el potencial de una tormenta para causar inundaciones varía con la cantidad de precipitación recibida anteriormente, con la topografía, la intensidad de la lluvia, su duración, la cubierta del suelo y la estación del año, por lo que todos estos factores deben tenerse en cuenta.

Las tormentas intensas son más comunes en verano, sus características son poco conocidas, por tanto, es necesario efectuar estudios climáticos detallados de frecuencia, duración, extensión, magnitud y tiempo de ocurrencia, así como de las variaciones locales y regionales en los sistemas de tiempo que las producen.

### Períodos de retorno

El período de recurrencia o de retorno es el promedio de tiempo que tardaría un evento en presentarse con las mismas condiciones.

Para la región que nos ocupa se calcularon los períodos de retorno para ciertas cantidades de precipitación máxima en 24 horas: 40, 60, 80, 100, 150 y 200 mm, correspondientes a septiembre, que representa uno de los meses más lluviosos del año.

Se calculó con la fórmula:

$$PR = 1/1-p$$

donde:

PR es el período de retorno y p es la probabilidad.

$$p = m / n + 1$$

donde m es el número de orden de la variable x, en la serie de valores de precipitación en milímetros, acomodada en orden creciente de magnitudes, y n es el número total de observaciones de la serie.

En el **cuadro 3** se muestran los períodos de retorno para 20 estaciones, correspondientes a los estados del norte del país, con períodos de observación mayores de 27 años.

**Cuadro 3.** Períodos de retorno de la precipitación de septiembre en los estados del norte de México

ESTACIONES	Precipitación en mm					
	40	60	80	100	150	200
<b>Baja California</b>						
Ba. Ángeles	9	12		25		
<b>Baja California Sur</b>						
Buenavista	5	7	12	20		
Comondú	7	14	20			
Loreto	3	5	7	10		20
La Paz	3	8		10	20	
S. José del Cabo	2	3	8	20		
Santiago	2	3	4	5	12	
<b>Coahuila</b>						
Progreso	2	4	9	12		
Sabinas	2	5	9	16		
Saltillo	5					
<b>Chihuahua</b>						
Delicias	5					
La Junta	20					
<b>Nuevo León</b>						
El Cuchillo	3	4	5	8	11	14
Monterrey	2	3	4	5	20	
Villa Santiago	1	2	2	3	8	14
<b>Sonora</b>						
Alamos	4	11				
Angostura, Pr.	8					
Cauhtémoc, Pr.	12					
<b>Tamaulipas</b>						
San Fernando	2	4	7	12		
Villagrán	1	2	3	6	12	

Observaciones: Loreto, B. C. S. registró 276 mm una vez en 32 años  
 El Cuchillo, N. L., " 236 mm una vez en 42 años  
 Villa Santiago, N. L., " 332 mm una vez en 41 años

Cada una de las columnas corresponde a cierta cantidad de lluvia y se especifica la frecuencia o número de años (período de retorno) con que esa cantidad se ha presentado. Por ejemplo en Monterrey, N. L. la frecuencia con que se reciben 40 mm de precipitación máxima en 24 horas en septiembre, es de dos años, lo que significa que al menos en uno de cada dos períodos de lluvias se puede esperar que llueva esa cantidad o más. Mientras que 60 mm tienen un período de retorno de tres años. Cada cuatro años se pueden esperar 80 mm; 100 cada cinco años y 150 una vez cada 20 años.

Aunque en el estado de Baja California no predomina el régimen de lluvias de verano, algunos lugares reportan algo de precipitación en esta época, por ejemplo, la estación Bahía de los Ángeles (situada sobre el paralelo 29°N, frente a la Isla Ángel de la Guarda, del Mar de Cortés) recibe en septiembre 40 mm de precipitación máxima en 24 horas cada 9 años; para 60 mm el período de retorno es de 12 años y para 100 mm de lluvia es de 25 años.

Se observa gran variación en la duración de los períodos de retorno de las estaciones seleccionadas, por ejemplo, se pueden esperar 40 mm de lluvia máxima en 24 horas, al menos una vez al año en lugares como Villa de Santiago (La Boca), N. L. y en Villagrán, Tamaulipas; mientras que en Mexicali, B. C., cada 11 años y en La Junta, Chih., sólo cada 20 años.

### **Origen de la precipitación**

Con base en algunos resultados del estudio "Los fenómenos meteorológicos vistos en imágenes de satélite para el período 1970-1985", que actualmente se desarrolla en el Instituto de Geografía de la UNAM, la lluvia tiene su origen en diversos sistemas de tiempo que se presentan combinando sus efectos y con distintas frecuencias según la época del año. En el noroeste de México varios autores coinciden en afirmar que gran parte de la humedad de verano tiene su origen en el Océano Pacífico (Hasimoto y Reyes, 1988). García y Trejo (1994) encontraron que predominan en la región sistemas como el monzón y los ciclones tropicales del Océano Pacífico.

En el norte de la Altiplanicie y el noreste del país los sistemas dominantes, en primer lugar, son los vientos alisios del este, noreste y sureste, seguidos por los "nortes" o masas de aire polar modificado. Estos sistemas de tiempo aunque son característicos del invierno, algunos años suelen presentarse anticipadamente. Los "nortes" son invasiones de aire polar modificado a lo largo de la llanura costera y sobre el Golfo de México, algunos son someros, mientras que otros, altos y profundos, y recorren la altiplanicie con dirección norte-sur y producen descensos importantes de temperatura. Los nortes húmedos son estas mismas invasiones de aire polar modificado pero que introducen humedad del Golfo de México hacia las vertientes de la Sierra Madre Oriental donde producen lluvias abundantes.

En dicho estudio, después de analizar los sistemas de tiempo en las imágenes diarias del satélite y confirmar su existencia en la carta del tiempo, se obtuvo que en septiembre, en la región situada al noreste de la Sierra Madre Oriental en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, predominaron los vientos alisios durante una tercera parte del mes, en 14 de los 15 años estudiados. En 1974 hubo predominio de "nortes".

Para estudiar la circulación de la atmósfera, las tormentas convectivas y el transporte horizontal de vapor de agua productores de lluvia en el suroeste de Norteamérica, un numeroso grupo de investigadores trabaja actualmente con los datos recopilados durante el verano de 1990 en el Proyecto TRAVASON/SWAMP (Reyes *et al.*, 1994).

Los autores informan de resultados preliminares que identifican a la Sierra Madre Occidental como un centro de convergencia de las masas de aire húmedo originadas en las vertientes del Océano Pacífico y del Caribe.

Los días despejados en la región son en promedio 13.5 para el mes de septiembre, que nos ocupa, pero se observa gran variación de un año a otro; por ejemplo, en 1975 se presentaron 25 días despejados, y al año siguiente, sólo hubo tres.

Sobre la Sierra Madre Oriental en Nuevo León, y en la llanura costera de Tamaulipas, la frecuencia y el tipo de fenómeno es similar: en 11 de los 15 años estudiados predominaron los vientos alisios, y en los cuatro restantes hubo presencia de "nortes". El promedio de días despejados, en la región, es de 12 para el mes de septiembre.

En verano, con el desplazamiento hacia el norte del anticiclón Bermuda-Azores, dominan los vientos alisios, que con una dirección general de noreste a suroeste en superficie, o de este a oeste en las alturas, introducen gran cantidad de la humedad recogida al pasar sobre el Golfo de México (García, 1989). A veces, las ondas del Este se asocian con los alisios; en ellas pueden formarse los ciclones tropicales que tienen su origen en el Mar de las Antillas y en el Océano Pacífico; su frecuencia es mayor en septiembre.

### **Conclusiones**

En los estados del norte de México la precipitación total anual es escasa, menor de 400 mm en el noroeste y el altiplano, sólo en las sierras Madre Oriental y Occidental puede ser mayor de 800 mm anuales. En ellos están presentes los tres regímenes pluviométricos: el intermedio o de lluvias repartidas todo el año, en la franja fronteriza desde Chihuahua hasta Tamaulipas; el régimen de invierno, en el noroeste de Baja California, y el de verano, en el resto de la región. Sin embargo, se presentan grandes contrastes en la distribución anual de la precipitación máxima en 24 horas, pues fluctúa de 30 mm en el valle del río Colorado a 325 mm en Villa de Santiago, N. L. Es muy abundante sobre las sierras frontales de la Sierra Madre Oriental que reciben cada año tres o cuatro chubascos con cantidades mayores de 200 mm en un día.

La distribución mensual de la precipitación máxima en 24 horas permitió realizar un análisis más detallado y localizar las áreas que han recibido más de 60 mm, por lo menos una vez en el período estudiado. Destacan amplias regiones con más de 100 mm de lluvia en septiembre y octubre. Esta humedad se origina en perturbaciones de la corriente de los alisios, tales como las ondas del Este o los ciclones tropicales.

El promedio de precipitación de un día lluvioso en el noroeste de México, porción central de la Altiplanicie, Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, es inferior a 16 mm en los primeros meses de la temporada lluviosa, pero supera los 32 mm hacia fines del verano y principios del otoño, por la mayor incidencia de ciclones tropicales y por la presencia de surgencias de humedad.

Se concluye que la precipitación máxima mensual en 24 horas en el norte de México no va en proporción con la lluvia media, sino que es muy superior a ésta; en uno o dos días con lluvia máxima abundante se recibe la cantidad correspondiente al total de un año o de varios años sumados. Este hecho puede ocasionar grandes desastres, con daños a la infraestructura de las vías de comunicación y transporte, a la agricultura, inundaciones y fuerte erosión del suelo, sin contar las pérdidas humanas y a la propiedad privada. En consecuencia, es de mayor utilidad conocer los períodos de retorno de cantidades seleccionadas de precipitación máxima (40, 60, 80, 100, 150 o 200 mm), que el solo dato de lluvia máxima en 24 horas del período, porque ésta pudo haber ocurrido una sola vez en los últimos 60 años. En contraste, localidades como Monterrey, N. L. y Ciudad del Cabo, B. C. S. reciben aguaceros de 40 mm, al menos una vez cada dos años.

### Referencias

- Brenner, Y. (1974), A surge of Tropical Air- Gulf of California to SW U. S., *Mon. Wea. Rev.* vol. 102, pp. 375-389
- Camarillo, C. E. (1984), Climatología estadística diaria y horaria de la precipitación en el Observatorio Meteorológico Central de la Ciudad de México, SARH, México.
- Douglas, M., R. Maddox y K. Howard (1993), The Mexican Monsoon, *J. of Climate*, vol. 6, pp. 1665-1677.
- García, E. (1965), Distribución de la precipitación en la República Mexicana, *Publicaciones del Instituto de Geografía*, vol. 1, México, pp. 171-191.
- García, E. y P. A. Mosiño (1968), Los climas de Baja California, en *Memoria 1966-1967 del Comité Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional*, Instituto de Geofísica, UNAM, México, pp. 29-56.

- García, E. (1988), Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, Offset Larios, 5a ed., México.
- García, E. y P. A. Mosiño (1989), Moda o valor más frecuente de la precipitación mensual y anual, en García de Fuentes, A., Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, vol. 2, cap. IV, núm. 4.8, (12 mapas Esc. 1: 16 000 000).
- García, E. y R. I. Trejo (1994), La presencia del monzón en el noroeste de México, *Investigaciones Geográficas Boletín* del Instituto de Geografía, núm. 28, UNAM, México, pp. 33-64.
- Griffits, J. F. (1978), *Applied Climatology*, Oxford University Press. U. K.
- Hales, J. E. (1972), Surges of Maritime Tropical air northward over The Gulf of California, *Mon. Wea. Rev.* 100, pp. 298-306.
- Hasimoto, R. y S. Reyes (1988), Transporte atmosférico de vapor de agua sobre la región de América tropical, de mayo a septiembre de 1979, *Geofísica Internacional*, vol. 27-2, Instituto de Geofísica, UNAM, México, pp. 199-229.
- Hernández, M. E. (1989), Condiciones climáticas del Golfo de California y sus islas, *Boletín* del Instituto de Geografía, núm. 20, UNAM, México, pp. 71-87.
- Jáuregui O., E. (1975), Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad, *Boletín* Instituto de Geografía, núm. 6, UNAM, México, pp. 7-36.
- Jáuregui O., E. y F. Cruz (1980), Algunos aspectos del clima de Sonora y Baja California. Equipatas y surgencias de humedad, *Boletín* del Instituto de Geografía, núm. 10, UNAM, México, pp. 143-180.
- Luna Bauza, C. (1979), Atlas de huracanes en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico, Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, SPP, México.
- Miller A., A. (1982), *Climatología*, Omega, 5a ed., Barcelona.
- Mosiño, A. P. y E. García (1981), La cantidad de lluvia más frecuente (moda) en la República Mexicana, Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, SPP, México.
- Reyes, S. y D. L. Cadet (1988), The wouthwest branch of the North American monsoon during summer 1979, *Mon. Wea. Rev.*, 116, pp. 1175-1187.
- Reyes, S., M. W. Douglas y R. A. Maddox (1994), El monzón del suroeste de Norteamérica, (TRAVASON-SWAMP), *Atmósfera*, vol. 7, núm. 2, pp. 117-137.
- SARH, Servicio Meteorológico Nacional, Oficina de Cálculo Climatológico, Archivo Interno, Datos de 1921 a 1980, México.

Smith, K. (1992), *Environmental Hazards*, Routledge, London, U. K.

Tang, M. y E. R. Reiter (1984), Plateau monsoons of the Northern Hemisphere: A comparison between North America and Tibet, *Mon. Wea. Rev.* 112, pp. 617-637.

Vidal Z., R. (1989), Precipitación, en García de Fuentes, A., Atlas Nacional de México, Instituto de Geografía, vol. 2, cap. 4, núm. 1, UNAM, (Mapa esc. 1: 4 000 000).

Yukio, G. (1978), Numerical experiment of orographic heavy rainfall due to a stratiform cloud, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, ser. II, vol. 56, núm. 5, pp. 405-423.

Winkler, J. A. (1988), Climatological characteristics of Summertime extreme rainstorms in Minnesota, *Ann. As. Am. Geo.*, vol. 78, núm. 1, pp. 57-73.