

Situaciones de tiempo en el noroeste de México. Estudio de caso: el verano 1990

María Engracia Hernández Cerda*
Rosalía Vidal Zepeda*
Enriqueta García*

Recibido: 22 de mayo de 1998
Aceptado en versión final: 8 de junio de 1999

Resumen. Este estudio se propone determinar las causas de la precipitación en la mitad lluviosa del año en el noroeste de México, para ello, se identifican los sistemas de tiempo presentes en la zona, en días seleccionados, durante los meses de mayo a octubre de 1990. La identificación de los sistemas de tiempo se hace con ayuda de las imágenes tomadas por los satélites meteorológicos, y con el análisis de las cartas diarias del tiempo, de acuerdo con la precipitación diaria. Se caracteriza el grado de pluviosidad de cada uno de los meses del verano 1990 de acuerdo con las series históricas, mediante error probable y anomalías de la precipitación.

Palabras clave: Precipitación, noroeste de México, verano 1990, anomalías.

Abstract. This paper determines the causes of precipitation during the rainy half of the year in Northwest Mexico, by identifying the weather systems in the area during selected days in the period May to October, 1990. The identification is made by using the satellite weather images, the synoptic weather charts and daily rainfall amounts. The summer 1990 pluviosity degree is determined by comparing its rain amounts, with the historic time series of precipitation by using the probable error and by calculating the monthly rain anomalies.

Key words: Precipitation, Northwest Mexico, summer 1990, anomalies.

INTRODUCCIÓN

Como es sabido, la oferta de agua en el noroeste de México sólo puede mantenerse por la precipitación, o mejor dicho, por la diferencia entre la precipitación y la evaporación, que es lo que finalmente puede ser aprovechado para usos agrícolas, urbanos, industriales, turísticos, y otros. Varios autores (Hernández, 1989; Reyes, *et al.*, 1990) han realizado estudios de la variabilidad espacial y temporal de la lluvia, lo cual es muy importante para entender el comportamiento del ciclo hidrológico y la disponibilidad de los recursos hídricos en la región.

Este estudio surgió con el propósito de evaluar, con la información obtenida de las imágenes de los satélites meteorológicos, la precipitación en el verano 1990, relacionar la cobertura de nubes con la cantidad de lluvia recibida, identificar los sistemas de tiempo responsables de la precipitación y calcular las anomalías de ese verano con respecto a la can-

tidad de lluvia recibida en la región, según los promedios de largo período, aspectos que enriquecen el proyecto TRAVASON-SWAMP realizado con el CICESE de Ensenada y la NOAA.

LOS DATOS

Datos diarios

Forman la base de datos 125 estaciones con registros de precipitación diaria para los meses de mayo a octubre de 1990. Parte de la información fue proporcionada por el Programa de Estudios de Balance de Agua, del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE), cuyo archivo fue elaborado por el grupo de Meteorología del mismo, y la División de Hidrometría de la Comisión Nacional del Agua en Ensenada, B.C. Otras fuentes de información fueron la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

* Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México, D.F.

Datos mensuales

A partir de los datos diarios se calcularon promedios mensuales de junio a septiembre, con los que se elaboraron mapas de distribución de la lluvia. La síntesis de la precipitación de la mitad lluviosa del año se muestra en el mapa de mayo a octubre de 1990.

Imágenes de los satélites meteorológicos

Las imágenes GOES (visibles con resolución de 1 km) proporcionadas por los satélites meteorológicos constituyen una herramienta muy útil para interpretar o identificar los sistemas de tiempo causantes de la precipitación (Woodly, 1971). Las nubes vistas en estas imágenes ayudan a entender el movimiento del aire, ya que la distribución de los grandes sistemas de nubes tiene una relación directa con los principales centros de alta y baja presión, lo que hace posible estimar cualitativamente el flujo general (Barret, 1970; García y Trejo, 1990a).

Cartas del tiempo

Las imágenes de satélite de los días que tuvieron precipitación, se analizaron en conexión con las cartas del tiempo, en superficie, para identificar los sistemas causantes de la nubosidad en cada una de las regiones. Estas cartas fueron proporcionadas por los Servicios Especiales para la Navegación en el Espacio Aéreo Mexicano (SENEAM), dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

CLIMATOLOGÍA GENERAL DE LA ZONA

Localización

La región noroeste de México está situada entre el Trópico de Cáncer a 23°27' y los 32° de latitud norte, en la región subtropical del globo; abarca los estados de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y la porción occidental de Chihuahua y Durango.

El relieve está formado por la llanura costera del Pacífico en Sonora y Sinaloa, las estribaciones de la Sierra Madre Occidental en el oriente de estos

mismos estados y en los de Chihuahua y Durango. La península de Baja California está recorrida en toda su longitud por una sierra cuya altitud es mayor en el norte (Sierra de San Pedro Mártir).

La región es importante desde el punto de vista agrícola, en ella se asientan diversos distritos de riego que dependen de numerosas presas localizadas en las estribaciones bajas de la Sierra Madre Occidental, por lo que colectan la precipitación recibida en las sierras. Así, las presas de Sonora y Sinaloa se alimentan con gran parte de la precipitación recibida en Chihuahua y Durango.

Circulación de la atmósfera

La circulación atmosférica está regida por los dos centros anticiclónicos semipermanentes: el Bermudas-Azores al este sobre el Atlántico, y el del Pacífico Nororiental. El primero tiene influencia durante el verano, en tanto que el segundo predomina durante el invierno.

Durante el verano, época que nos ocupa, aumenta la intensidad de los vientos alisios provenientes del Atlántico, que son húmedos, después de cruzar el Golfo de México; soplan en superficie con marcada componente del este y logran penetrar hasta la vertiente del Pacífico, donde interaccionan con los vientos del noroeste, muy característicos de esta región; aquí disminuyen la intensidad resultante e incrementan su variabilidad (Reyes, 1990).

La región se ve afectada en verano y parte del otoño por fenómenos propios de las latitudes medias y bajas, se observa la influencia de la zona intertropical de convergencia, así como el paso de los ciclones tropicales del Océano Pacífico Nororiental, que, en su trayectoria más frecuente, avanzan desde las costas de Oaxaca y Guerrero hacia el noroeste del país.

En los niveles superiores de la troposfera, especialmente a principios del verano y hasta finales del otoño, la Corriente de Chorro o *Jet Stream* ejerce sus máximos efectos a los 200 mb (12 km) y, aunque es más bien un sistema característico del invierno, su presencia es patente, asimismo, en las imágenes de satélite analizadas en este estudio.

Su efecto, prácticamente desaparece en verano en la mitad sur de la región.

Durante la mitad caliente del año, la Altiplanicie Mexicana, dada su enorme extensión, presenta condiciones de continentalidad y se calienta mucho más que el aire libre, al mismo nivel, sobre las tierras bajas o el mar, de manera que se ocasiona un fuerte gradiente de presión entre el aire que descansa sobre la altiplanicie (presión baja) y el que gravita sobre los océanos vecinos (presión alta).

El viento, al seguir la pendiente barométrica, sopla de los océanos al continente en una especie de monzón, el cual, aunque no tan bien desarrollado como el de Asia, es muy importante para la climatología de la región; se desplaza del Pacífico hacia el interior e introduce humedad de dicho océano; llega también del Atlántico, pero su entrada se enmascara por la presencia de la circulación del este dominante sobre el Golfo de México. Así, se ha denominado "monzón" al fenómeno que se presenta en la mitad caliente del año, ocasionado por desnivel barométrico entre las tierras elevadas, que se calientan durante los meses veraniegos, y los océanos vecinos, especialmente el Océano Pacífico, cuyas temperaturas se conservan más frescas (García y Trejo, 1994).

Regímenes pluviométricos

La manera como se distribuye la precipitación en el año depende de la influencia de los sistemas de tiempo que privan en la región; la porción occidental de la península de Baja California, que se ve afectada por los vientos del oeste en el invierno, recibe casi la totalidad de la precipitación en esta época del año, en cambio, en la porción central de Baja California, el norte de Sonora y la Sierra Madre Occidental, se presenta un régimen de lluvias de verano con un alto porcentaje de precipitación invernal (mayor de 10.2% de la anual); en tanto que el sur de la región ya tiene un régimen eminentemente veraniego.

En resumen, la temporada lluviosa en la mayor parte del área es el verano, con un porcentaje de precipitación invernal, que se va incrementando a medida que se avanza hacia el norte y noroeste; en el estado de Baja California cambia a régimen de invierno.

Precipitación total anual

La cantidad de precipitación anual que recibe la zona es por lo general escasa, inferior a 200 mm en la península de Baja California, así como en la llanura costera de Sonora y norte de Sinaloa; aumenta en las laderas bajas de la Sierra Madre Occidental y en la llanura del sur de Sinaloa donde se reciben de 200 a 400 mm; se registran de 400 a 800 mm, en las laderas de altitud media, y a altitudes mayores de 1 200 m se tienen de 800 a 1 500 mm.

En la mitad caliente del año, de mayo a octubre, la cantidad de lluvia que se recibe representa, por lo general, 90% de la total anual en los lugares del sur de la región con régimen típico de verano; este porcentaje disminuye hacia el norte hasta 40%; y en las áreas con régimen invernal, es menor de 15%.

Tipos de clima

Los climas, según el sistema de Köppen modificado por García, son muy áridos en la península de Baja California y en las llanuras de Sonora y norte de Sinaloa; son semiáridos en las laderas bajas de la Sierra Madre Occidental y subhúmedos en la parte alta de las montañas.

PRECIPITACIÓN DEL VERANO 1990

Distribución de la precipitación en 1990

Como se sabe, la duración de un evento de lluvia es variable y está relacionado con su origen. La lluvia de origen ciclónico o frontal puede durar varios días; algunos ciclones tardan hasta una semana recorriendo una región con trayectorias difíciles de prever. Pero si la lluvia es de origen convectivo, el evento por lo general sólo dura unas horas, debido a que las nubes se desarrollan verticalmente como pequeñas tormentas en las horas más calientes del día. A veces se forman las llamadas líneas de chubasco producidas por grupos numerosos de nubes que se organizan en formaciones lineales o en franjas menores, de dimensiones variables (menores de 10 km de ancho) y que pueden estar asociadas a un ciclón tropical.

Para analizar la distribución geográfica de la precipitación y hacer un inventario de este recurso para toda la temporada estival, se calculó la lluvia acumulada de mayo a octubre, y se elaboró un mapa (Figura 1). Destacan las isoyetas de 32, 64, 125, 200, 400 y 800 mm; se sombrearon las áreas con diferentes rangos de precipitación en tonos de gris,

el más oscuro corresponde al área más lluviosa localizada sobre la Sierra Madre Occidental con más de 400 mm y en los límites de Sinaloa con Durango con más de 800 mm. La precipitación disminuye hacia el norte y oeste, donde se registran menos de 32 mm en todo el estado de Baja California y el noroeste de Baja California Sur.

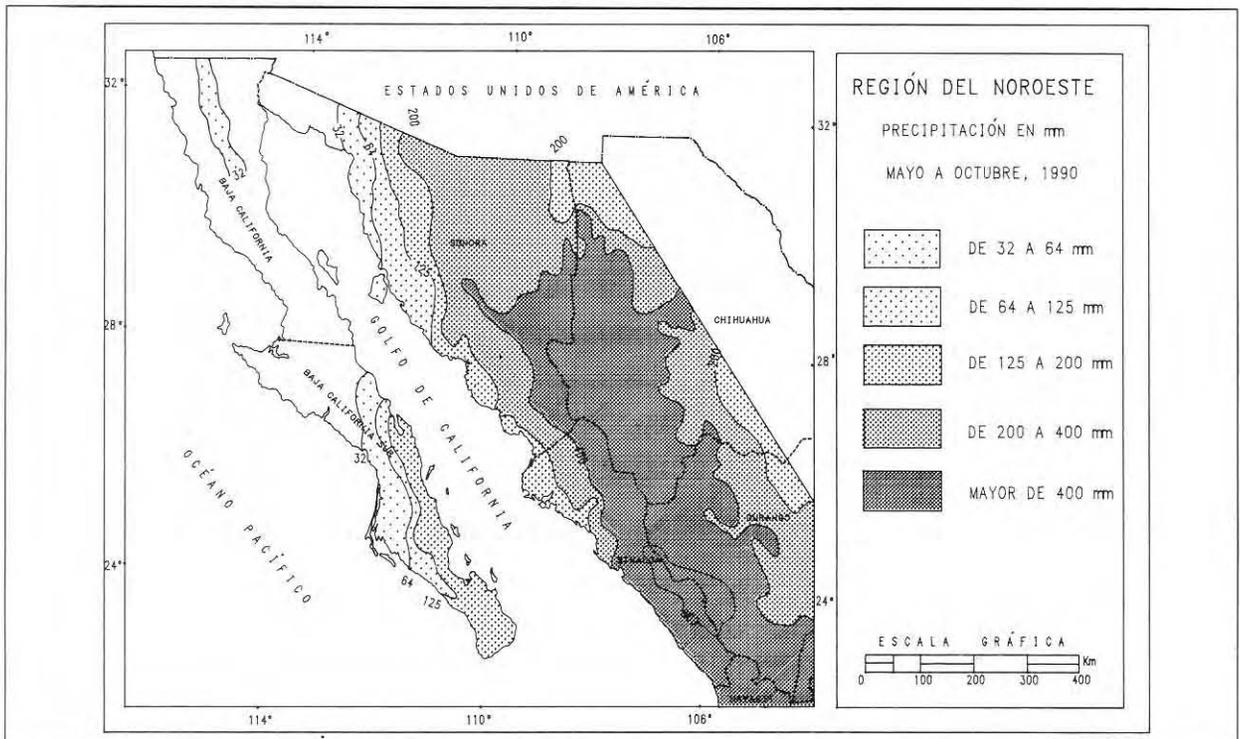


Figura 1. Precipitación de mayo a octubre, 1990.

La época de perturbaciones ciclónicas, correspondiente al verano de 1990 en el Océano Pacífico Nororiental, contó con 20 tormentas tropicales, de las cuales, 16 se convirtieron en huracanes.

“Rachel” fue el único sistema que entró al continente. Con excepción de dos, las perturbaciones ciclónicas se desarrollaron en la Zona Intertropical de Convergencia entre los 5° y 15° de latitud norte en las inmediaciones del Golfo de Tehuantepec y en la parte sur de Oaxaca; luego se desplazaron hacia el oeste y noroeste para disiparse sobre las frías aguas del Pacífico, sin afectar al continente.

Cinco ciclones tropicales se movieron cerca de la región de estudio y cruzaron al sur de Cabo San Lucas en el extremo de la península de Baja California.

Distribución mensual de la precipitación del verano 1990

MAYO. Lo más frecuente es la ausencia de precipitaciones en la región y este año no fue la excepción, ya que solamente se registraron pequeñas cantidades de lluvia, menores de 10 mm sobre la Sierra Madre Occidental y en la llanura costera del Golfo de California.

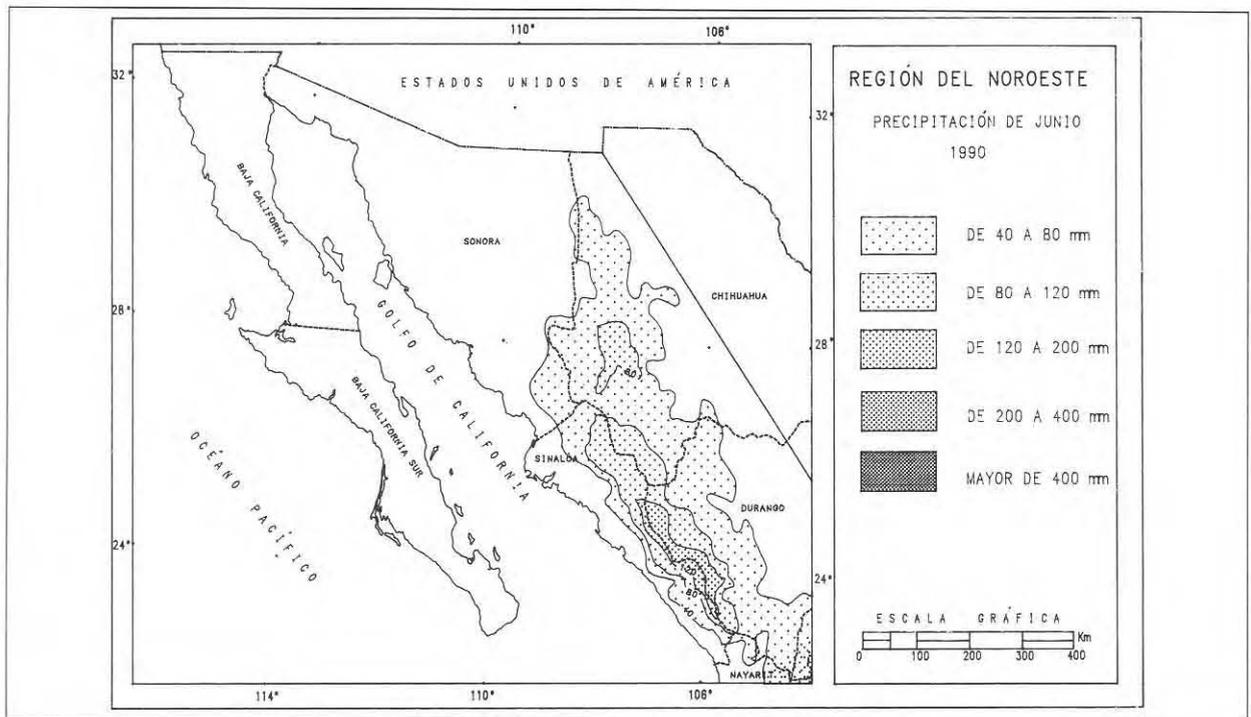


Figura 2. Precipitación de junio, 1990.

JUNIO (Figura 2). Se aprecia el rápido establecimiento de la temporada lluviosa sobre la Sierra Madre Occidental, la humedad penetró del sur, de manera que no se registró precipitación en el norte de la región. Los valores máximos se recibieron en las laderas de las sierras que descienden hacia el Océano Pacífico: Tarahumara, Tepehuanes y de Durango; en el resto de la región la precipitación fue inferior a 40 mm.

JULIO (Figura 3). La precipitación continúa extendiéndose hacia el oeste y norte, así en las laderas de la Sierra Madre Occidental se recibieron más de 200 mm, la porción más lluviosa es la misma que en el mes anterior con valores superiores a 400 mm. En el estado de Baja California Sur se registraron 120 mm sobre la Sierra de la Giganta y las del extremo sur de la península.

AGOSTO (Figura 4). La precipitación disminuyó en cantidad, se muestran sólo dos áreas con más de 200 mm, una corresponde a la cuenca alta del río Yaqui en Sonora, y la otra, a las laderas de la Sierra Madre Occidental en los límites de Sinaloa y Durango (Altos de Topia y Sierra de Tacuichamona).

SEPTIEMBRE (Figura 5). La precipitación sigue disminuyendo en cantidad en este mes, ya que el área con más de 120 mm sólo abarca las laderas de la Sierra Madre Occidental al sur del paralelo 28°N.

OCTUBRE (Figura 6). Casi toda la región en estudio careció de precipitación, con excepción de las laderas de la Sierra Madre Occidental que registraron de 40 a 80 mm; la parte alta de dicha sierra, más de 80 mm, y el extremo sureste de Baja California, más de 120 mm.

CARACTERIZACIÓN PLUVIAL DEL PERÍODO MAYO-OCTUBRE DE 1990

Mediante error probable, respecto al período histórico (1921 a 1980)

En climatología, con frecuencia es necesario determinar si es común que un evento se presente, o el grado de variación del mismo, por ejemplo, si cierta temperatura o cantidad de lluvia caen dentro de los límites normales o se alejan demasiado. Es importante saber los límites dentro de los cuales

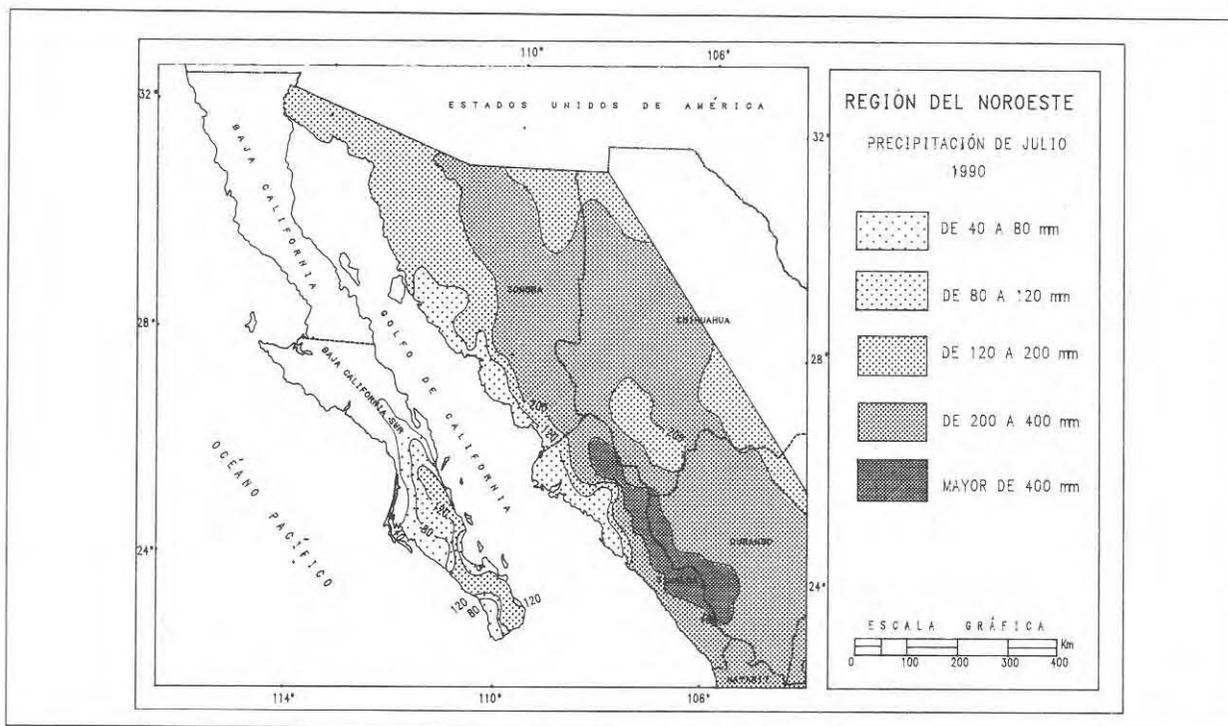


Figura 3. Precipitación de julio, 1990.

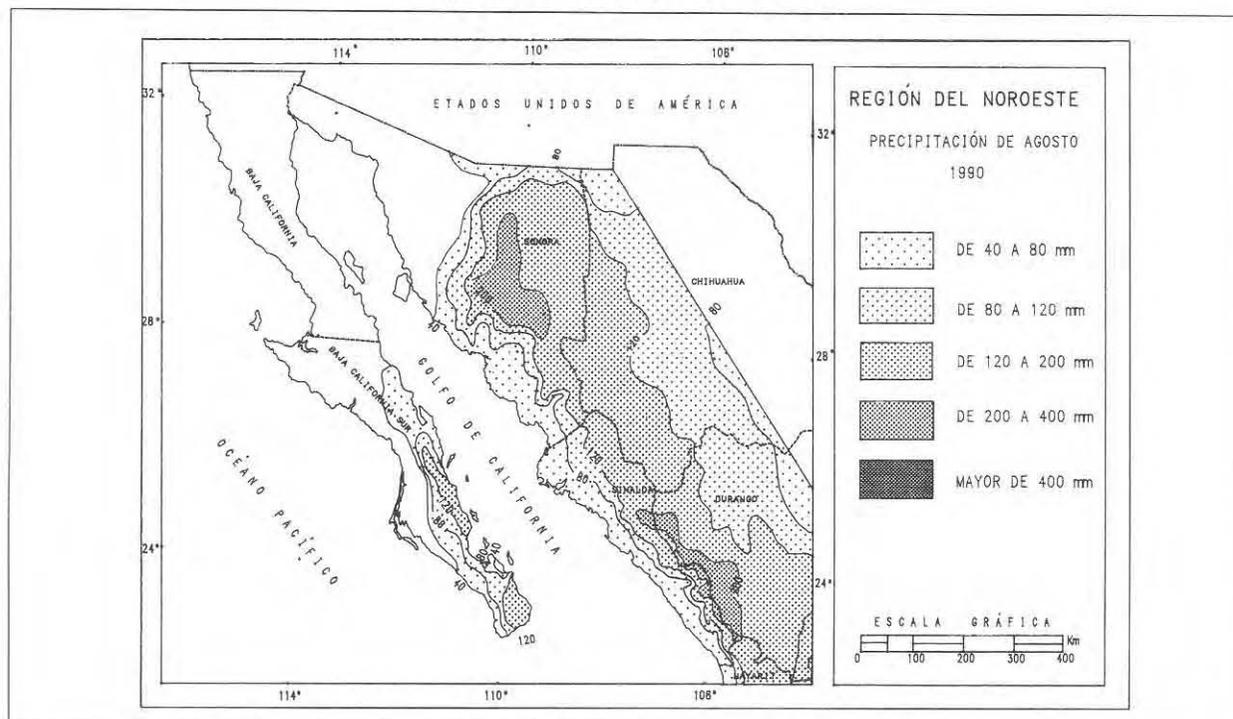


Figura 4. Precipitación de agosto, 1990.

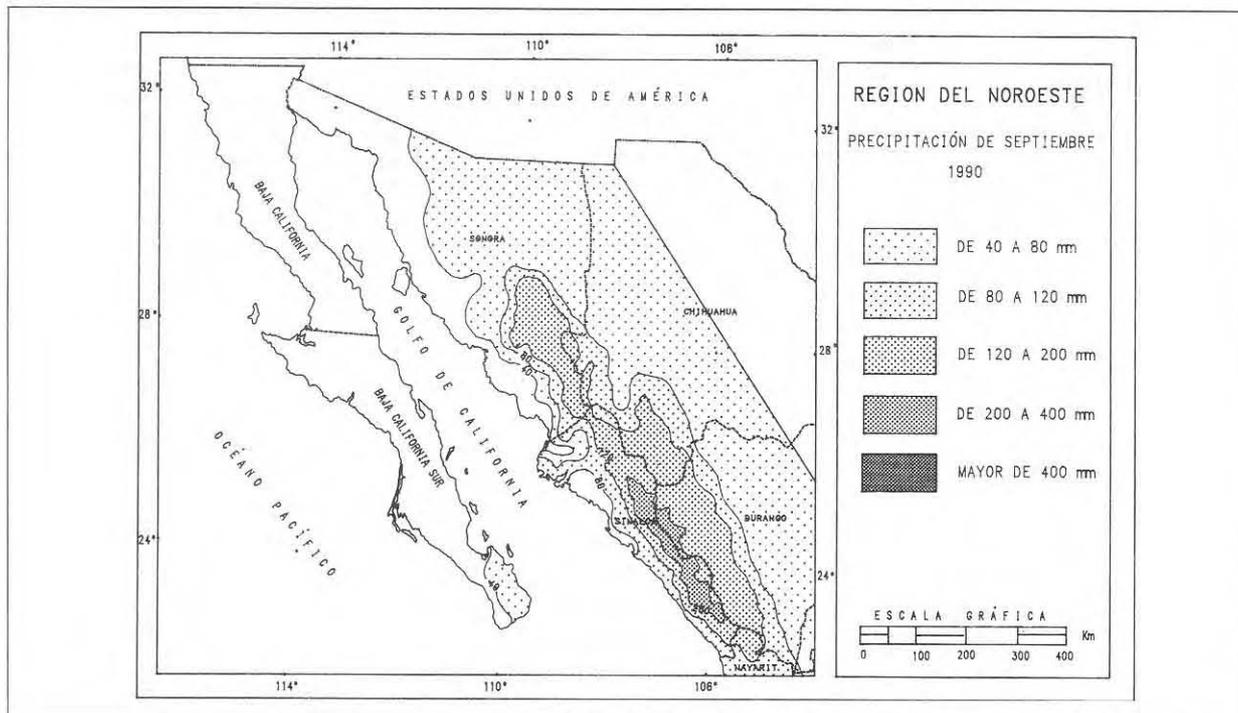


Figura 5. Precipitación de septiembre, 1990.

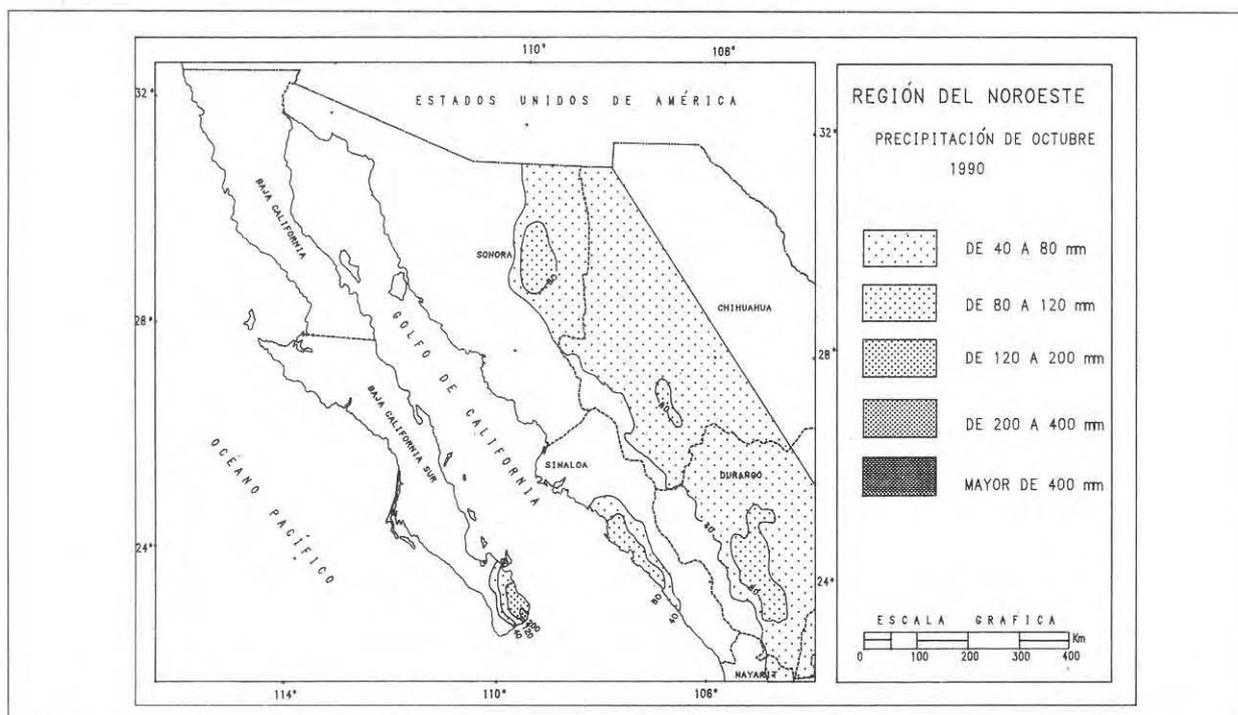


Figura 6. Precipitación de octubre, 1990.

puede variar un elemento climático, ¿es normal que haya cierta velocidad del viento, o cierta cantidad de lluvia en un determinado sitio, o esos valores se presentan raras veces o muy eventualmente?

En la práctica, el error probable $F = 0.6745 s$ en que s es la desviación estándar de la serie de da-

tos, parece dar una descripción mejor que la desviación estándar sola, ya que 50% de los casos quedan contenidos bajo la curva limitada por las ordenadas $-1F$ y $+1F$ respecto de la media X .

Los porcentajes de las áreas incluidas entre las ordenadas siguientes son:

Entre $X - F$ y $X + F$	50.0%
Entre $X - 2F$ y $X + 2F$	82.3%
Entre $X - 3F$ y $X + 3F$	95.7%
Entre $X - 4F$ y $X + 4F$	99.3%

Si la cantidad que se compara se encuentra por debajo de $X - 3F$ o el máximo sobre $X + 3F$, se consideran eventos raros que pueden ocurrir con una probabilidad muy escasa, debido a fenómenos extraordinarios y poco comunes.

El error probable puede utilizarse, con éxito, para comparar la cantidad de precipitación registrada en un día, en un mes, una época del año, en el año, etc., respecto a los promedios de largo período, y determinar su carácter de sequía o humedad. Es

necesario, para dar conclusiones adecuadas, emplear para los promedios de largo período, el mayor número posible de años de observación.

Se seleccionaron ocho estaciones de largo período en la región del noroeste para analizar el récord histórico de la lluvia de mayo a octubre, y se trazaron gráficas seculares de precipitación. De acuerdo con el error probable de la media X , se marcó en cada una el umbral de normalidad para el período correspondiente (Figuras 7 y 8).

$X + 3F$ y $X + 4F$	Húmedo en extremo
$X + 2F$ y $X + 3F$	Muy húmedo
$X + F$ y $X + 2F$	Húmedo
$X - F$ y $X + F$	Normal
$X - F$ y $X - 2F$	Seco
$X - 2F$ y $X - 3F$	Muy seco
$X - 3F$ y $X - 4F$	Seco en extremo

Según estos resultados se construyó una tabla con los **límites de precipitación** que determinan su **carácter de humedad** anual. Ejemplo, en una estación con precipitación promedio de largo pe-

riodo del mes de julio de 159.5 mm y un error probable de 36.5 mm, se establecerán los siguientes límites para caracterizar los diversos meses de julio de ese lugar.

Límite de precipitación	Carácter de humedad
Menor de 50.9	Seco en extremo
Entre 50.9 y 87	Muy seco
Entre 87.0 y 123	Seco
Entre 123.0 y 196	Normal
Entre 196.0 y 232	Húmedo
Entre 232.0 y 268	Muy húmedo

PRECIPITACIÓN MAYO-OCTUBRE

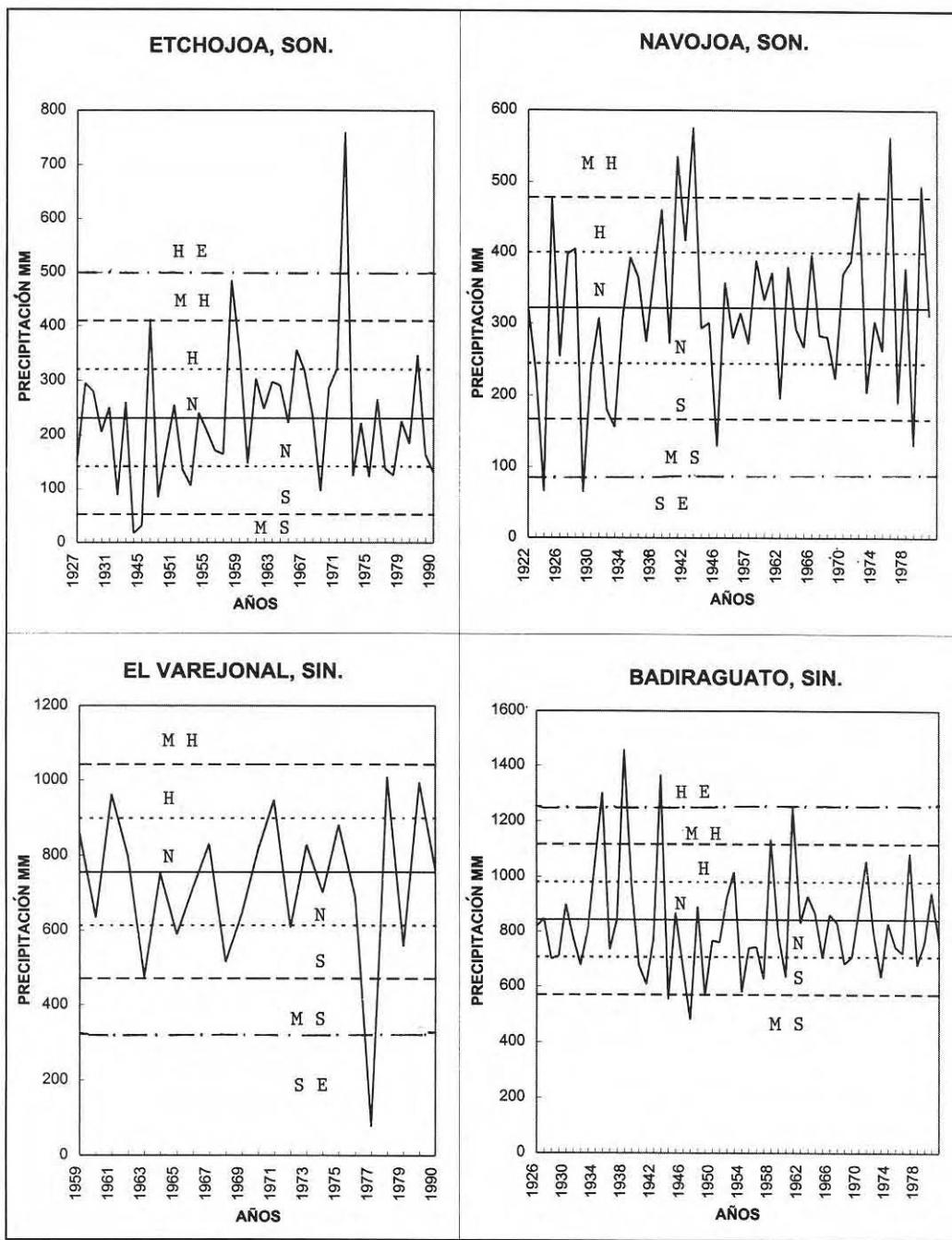


Figura 7. Gráficas seculares de precipitación de mayo a octubre de estaciones seleccionadas (HE - Húmedo en Extremo, MH - Muy Húmedo, H - Húmedo, N - Normal, S - Seco, MS - Muy Seco, SE - Seco en Extremo).

PRECIPITACIÓN MAYO-OCTUBRE

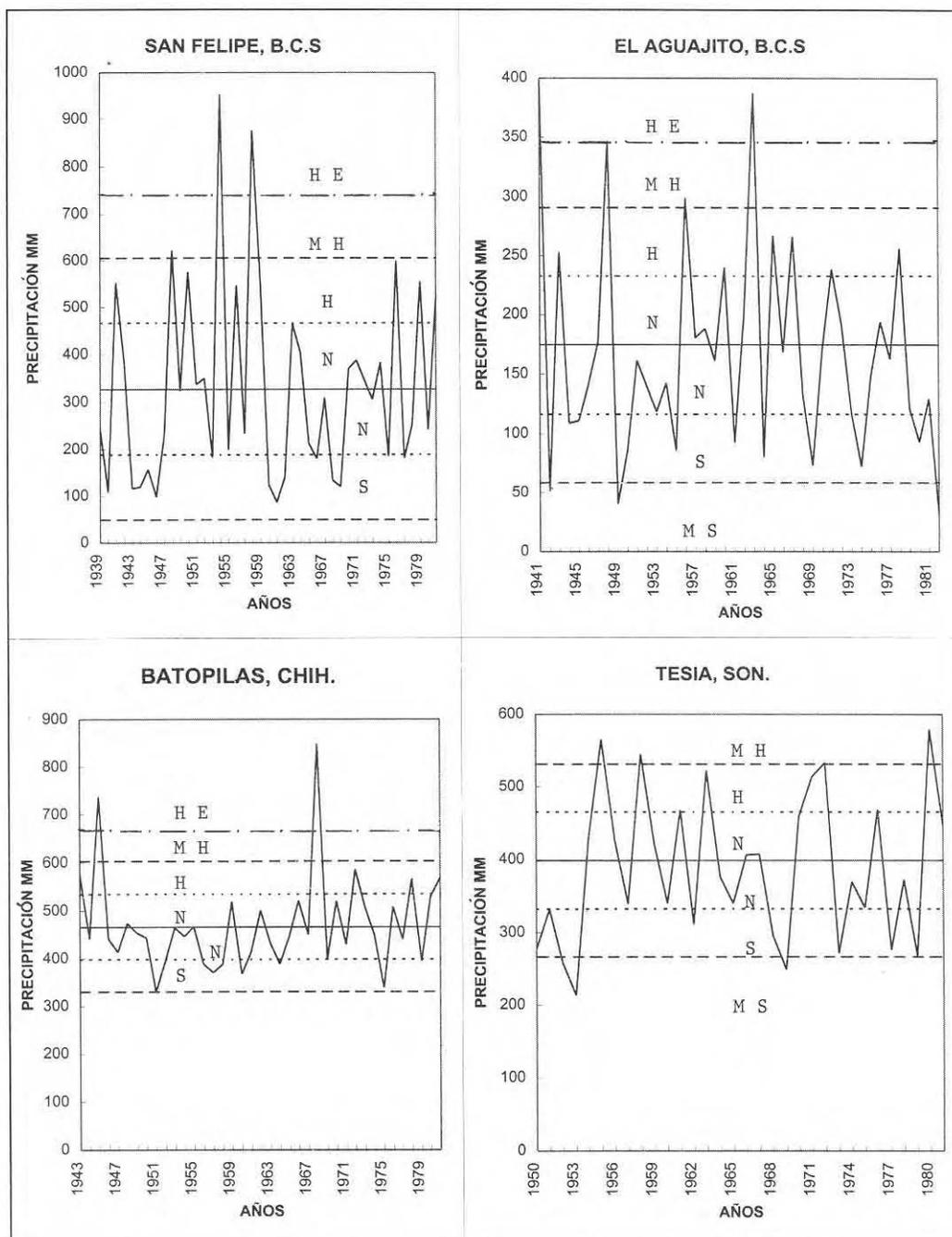


Figura 8. Gráficas seculares de precipitación de mayo a octubre de estaciones seleccionadas (HE - Húmedo en Extremo, MH - Muy Húmedo, H - Húmedo, N - Normal, S - Seco, MS - Muy Seco, SE - Seco en Extremo).

Se consideraron como normales los períodos de mayo a octubre en que la cantidad de lluvia fluctúa entre la media menos un error probable y la media más un error probable. Los resultados son los siguientes:

El verano de 1990 fue más seco de lo normal en las estaciones El Aguajito y San Felipe, Baja California Sur, situadas en las inmediaciones de la Sierra la Giganta, en Etchojoa, Sonora, en la llanura costera al sur del estado de Sinaloa. En contraste, el mismo período resultó normal en las estaciones Tesia y Navojoa, Sonora, Badiraguato y El Varejonal, Sinaloa. Sólo en la estación Batopilas, Chihuahua sobre la Sierra Madre Occidental, el verano 1990 fue más húmedo de lo normal, ya que se recibieron 100 mm más que la precipitación promedio para el período 1943-80.

En las gráficas del período histórico, se pueden observar épocas cuyos veranos fueron más húmedos o más secos de lo normal.

Caracterización del verano 1990, en cuanto a precipitación, por medio de anomalías

Con objeto de evaluar las condiciones pluviométricas del verano 1990 y compararlas con la precipitación de largo período, se calcularon las anomalías de la lluvia o variaciones en el índice de pluviosidad.

Este índice es la medida que representa la cantidad de lluvia registrada en un lugar durante un lapso determinado; por lo general, esta medida es la media aritmética, o también puede ser la moda como proponen Mosiño y García (1978 y 1981).

Las variaciones del índice de pluviosidad a nivel anual, constituyen una referencia más significativa para determinar si un año fue abundante o deficiente en precipitación y proporcionan un medio de evaluar la sequía meteorológica, fenómeno que, en términos generales, puede definirse en función del déficit de precipitación, expresado en porcentaje, respecto a la precipitación media anual o estacional de largo período, y su duración en una determinada región.

Las anomalías pueden tener valores positivos, lo que indica que la cantidad de lluvia registrada en

un período determinado fue superior a la media aritmética o a la moda estadística obtenida, y por tanto, lluvioso respecto al término de comparación. Debe aclararse que el término lluvioso, en estos casos, no necesariamente indica grandes cantidades de precipitación, puesto que en las zonas áridas, anomalías positivas mayores de 100%, pueden no representar cantidades considerables de agua. Por ejemplo, Loreto, con una media de largo período para el mes de junio, de 0.1 mm, registró 5 mm en 1990, lo que representa una anomalía positiva de 525% respecto a la media; la estación Abelardo Rodríguez, con una media de 8 mm, registró en este junio 61.6 mm, lo que arroja una anomalía de 878%; ambas estaciones resultan catalogadas como lluviosas en extremo respecto a la media, no obstante que la cantidad de lluvia es pequeña. Anomalías con valores negativos significan que la precipitación en el período estudiado fue menor que la media aritmética o que la moda estadística.

En general, se recomienda utilizar la moda estadística en lugar de la media aritmética, por representar los valores más frecuentes de la precipitación, esta medida ocurre con una probabilidad de 70 a 75%, a diferencia de la media que sólo representa 50% (Mosiño y García, 1981). No obstante, en este estudio se eligió la media aritmética en lugar de la moda estadística, ya que en los climas áridos el valor de la moda es cero a nivel mensual, lo que no permite el cálculo de las anomalías.

Se calcularon las anomalías mensuales de la precipitación de mayo a octubre respecto a la media aritmética, de 80 estaciones pluviométricas de largo período, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Anomalía mensual (\%)} = 100 ((X_i - X)/X)$$

donde:

X_i es el valor de la precipitación mensual y

X la media aritmética mensual de largo período.

Con estos datos se trazaron las cartas mensuales de anomalías.

Las anomalías negativas no necesariamente catalogan a un mes como seco, porque fueron calculadas a partir de la media, y ésta exagera en 25% el valor de

la moda, utilizada por García y Hernández (1989) en la caracterización de períodos secos o húmedos.

Para este estudio, la caracterización de los meses de 1990 es como sigue:

Valor de la anomalía		Carácter de humedad
menor de	-100 %	seco en extremo respecto a la media
de -100 a	-50 %	muy seco respecto a la media
de -50 a	-25 %	seco respecto a la media
de -25 a	0 %	normal respecto a la media
de 0 a	25 %	lluvioso respecto a la media
de 25 a	50 %	muy lluvioso respecto a la media
mayor de	50	lluvioso en extremo respecto a la media

Por motivos de claridad, solamente se sombreadon con diferentes tonos de gris las áreas consideradas como normales, lluviosas, muy lluviosas y lluviosas en extremo, respecto a la media. A continuación se hará un análisis de la distribución de las condiciones de sequía a nivel mensual.

MAYO (Figura 9). Los mapas de distribución de las anomalías muestran que la zona considerada como lluviosa, respecto a la media, en sus dife-

rentes grados, se encuentra sobre la Sierra Madre Occidental y en la llanura costera del Golfo de California, desde los límites de Sinaloa hacia el norte. Predominan las áreas con anomalías menores de -100%, o secas en extremo respecto al valor promedio; se localizan sobre la mayor parte de la península y en el estado de Sinaloa, al sur del paralelo 25° N, así como sobre las laderas orientales de la Sierra Tarahumara al sur del paralelo 28° N.

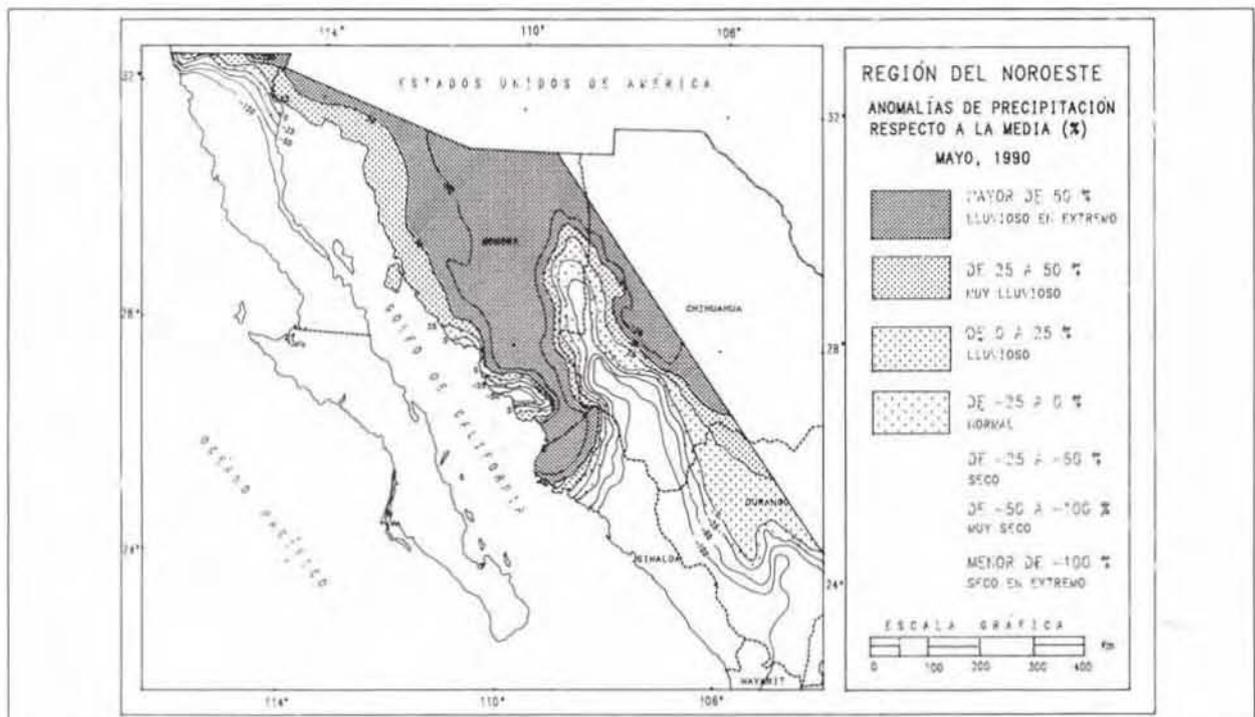


Figura 9. Anomalías de precipitación respecto a la media, mayo, 1990.

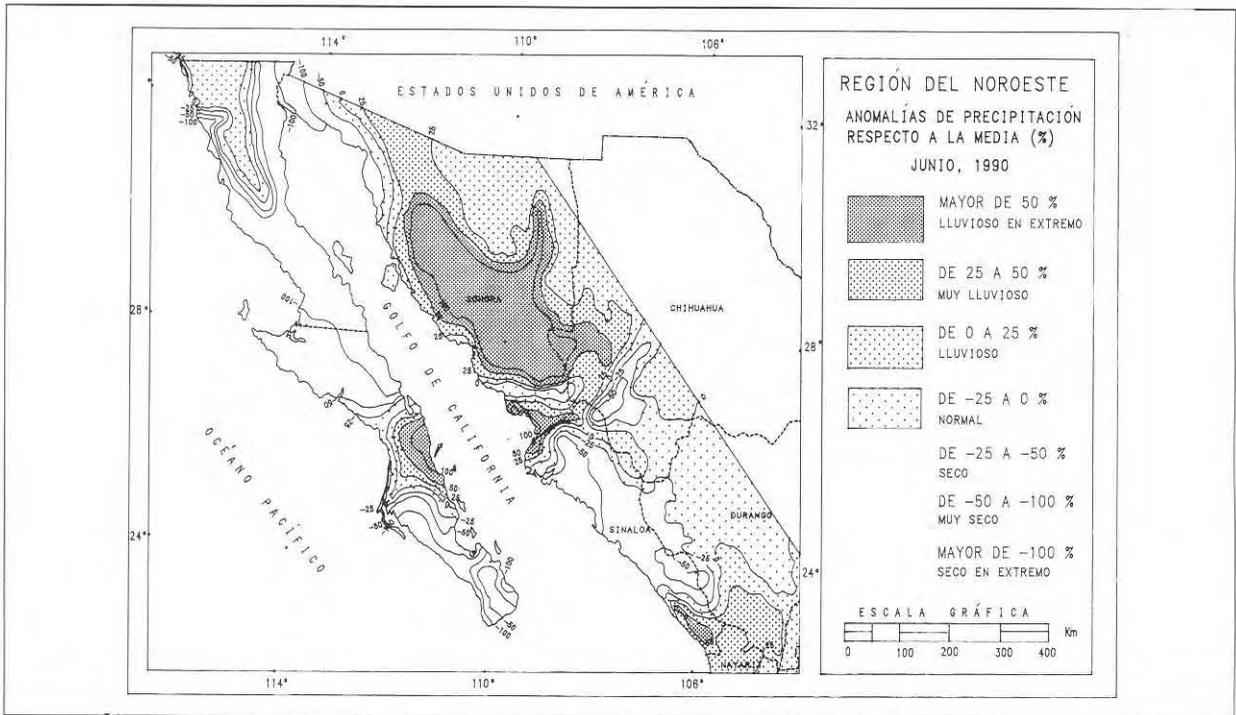


Figura 10. Anomalías de precipitación respecto a la media, junio, 1990.

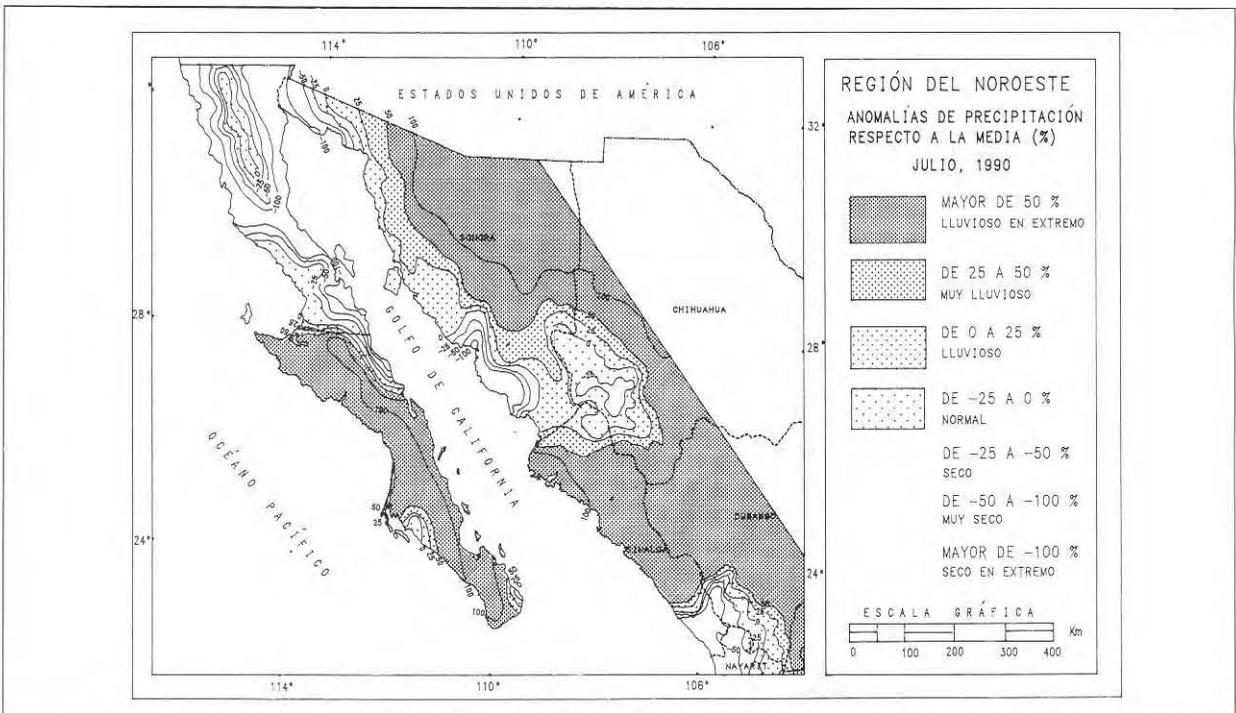


Figura 11. Anomalías de precipitación respecto a la media, julio, 1990.

JUNIO (Figura 10). La zona más lluviosa respecto a la media se localiza sobre la Sierra Madre Occidental desde el paralelo 27° N hacia el norte. Hay otra que se ubica en las inmediaciones de Loreto, sobre las laderas orientales de la Sierra de la Giganta en el estado de Baja California Sur y se continúa sobre el continente frente a la bahía de Agiabampo, en esta área la precipitación fue menor de 40 mm. El área con anomalías de -100% se reduce en forma considerable, resultan dos áreas muy secas, una se sitúa en la parte central de la península, sobre las dos vertientes del estado de Baja California, y la otra sobre Baja California Sur.

JULIO (Figura 11). La porción más húmeda se desplaza hacia el sur y se extiende hasta abarcar parte de la Baja California sugiriendo una especie de canal de humedad que penetra de oeste a este desde el Pacífico y el Golfo de California.

Se presentan tres áreas que caen dentro de la categoría de secas: una al norte del paralelo 30° N sobre el estado de Baja California, exceptuando la Sierra de San Pedro Mártir, prolongándose sobre la llanura cos-

tera de Sonora, en la porción comprendida entre los ríos Yaqui y Mayo, la segunda se ubica en la Sierra Madre Occidental sobre las laderas de las sierras de San José y del Gato, entre Sonora y Sinaloa, y la tercera, en los alrededores de Mazatlán.

AGOSTO (Figura 12). Se observa una considerable reducción en el área lluviosa presentándose sólo en la costa oriental del estado de Baja California Sur, con una extensión hacia Hermosillo, sobre el área continental.

La zona catalogada como seca abarca gran parte del estado de Baja California con tres núcleos secos y secos en extremo situados, uno en la región del Vizcaíno, otro en la cuenca del Río Colorado y el tercero en las inmediaciones de Tijuana. Otra área seca se sitúa en los alrededores de Mazatlán y se extiende hacia el norte sobre la llanura costera y las laderas bajas de la Sierra Madre Occidental en las sierras de Baroyeca y Álamos, así como sobre las partes altas de las sierras de Chávez y Choroachic. Se presenta también una pequeña área seca al sur de Bahía Magdalena en Baja California Sur.

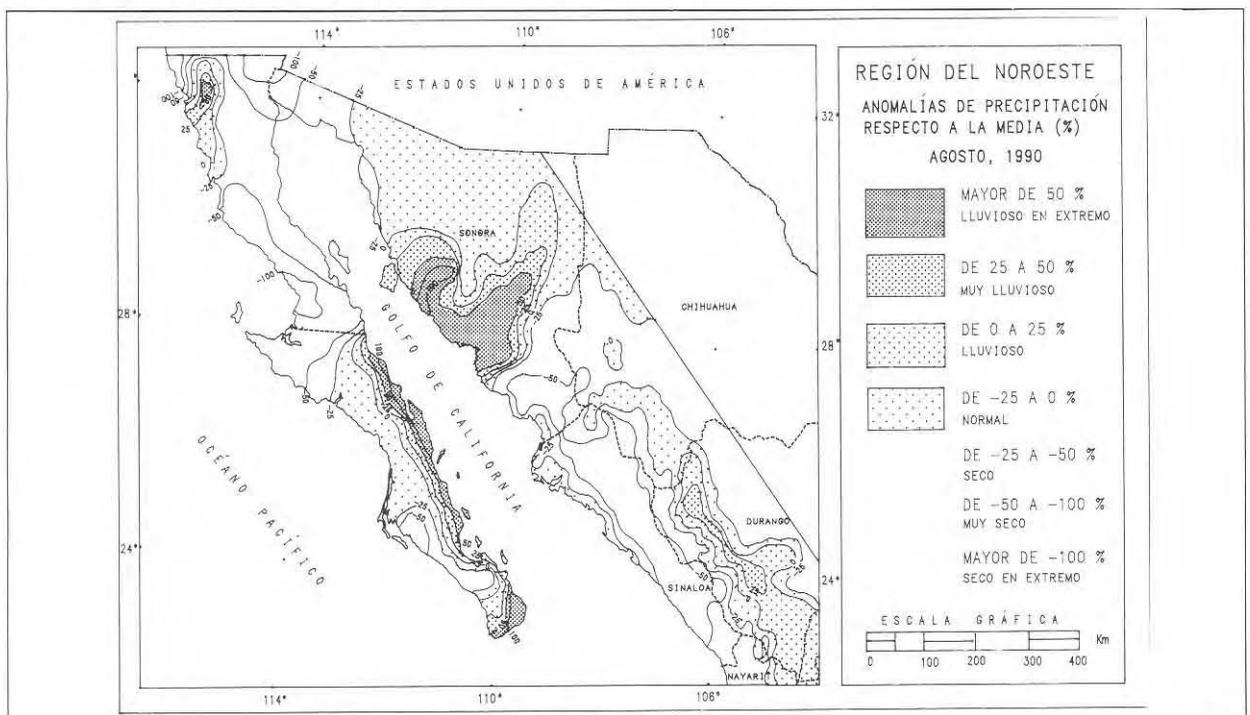


Figura 12. Anomalías de precipitación respecto a la media, agosto, 1990.

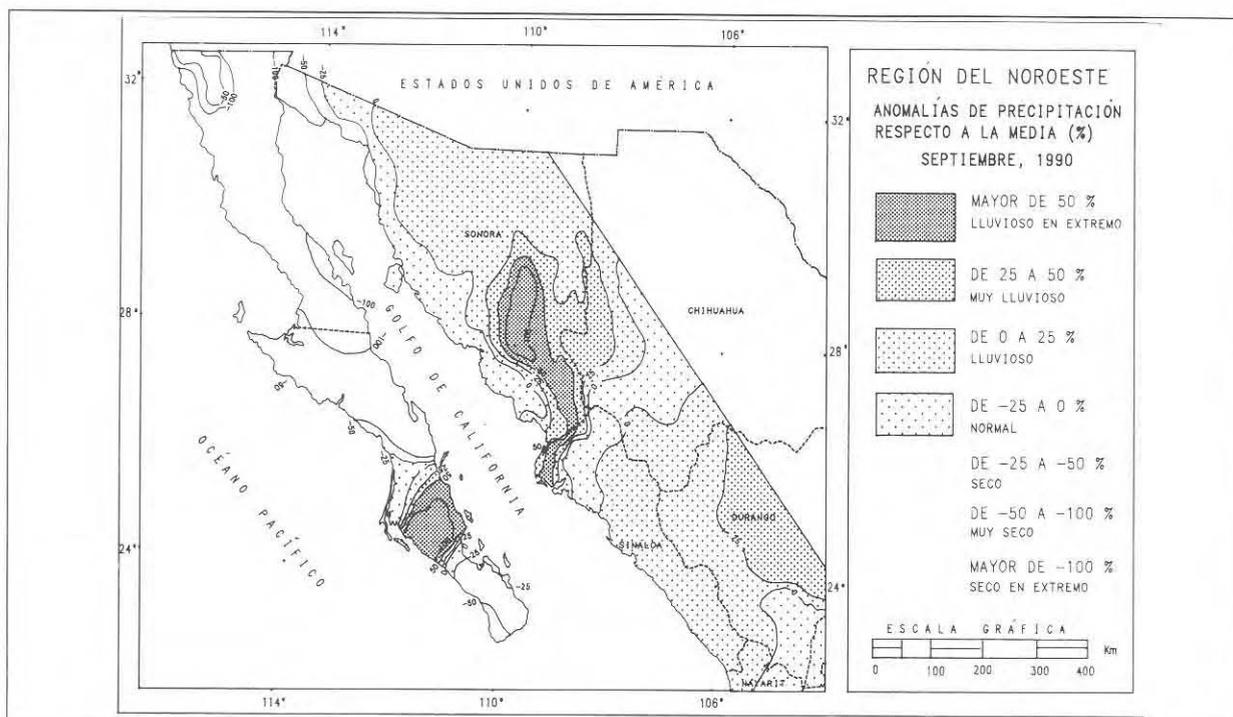


Figura 13. Anomalías de precipitación respecto a la media, septiembre, 1990.

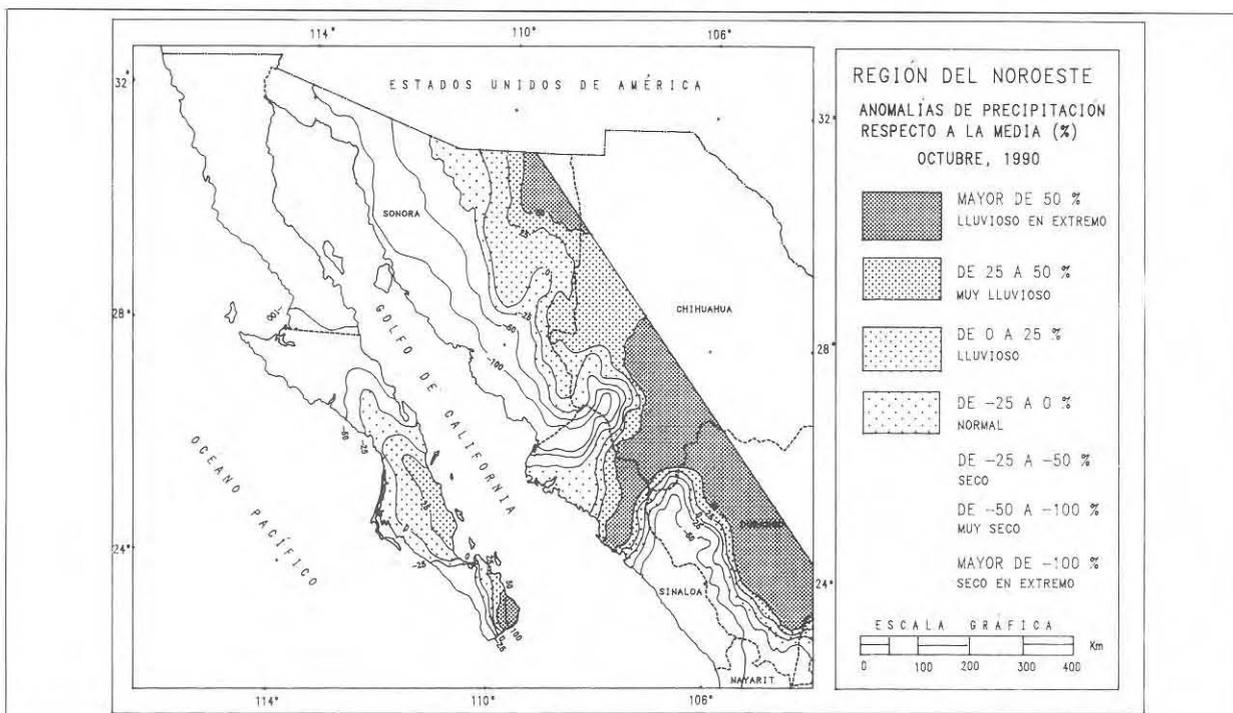


Figura 14. Anomalías de precipitación respecto a la media, octubre, 1990.

SEPTIEMBRE (Figura 13). Vuelve a presentarse la entrada de humedad por el Pacífico a través de la península y del Golfo de California, el área clasificada como lluviosa en extremo respecto a la media, abarca la Sierra Madre Occidental en Sonora, así como la parte central del estado de Baja California Sur, no obstante, en esta región la cantidad recibida fue menor de 40 mm.

Las zonas secas son dos, una en el estado de Baja California que se prolonga hacia el sur hasta los 26° 30' N; la otra, en el extremo sur de la península. En la parte sur de la Sierra Madre Occidental, sobre Sinaloa y Durango, la precipitación no se apartó de sus valores normales.

OCTUBRE (Figura 14). Se nota una disminución considerable en las áreas de anomalías positivas, ya que sólo el extremo sureste de Baja California Sur resulta extremadamente lluvioso respecto al valor promedio, así como la Sierra Madre Occidental en Durango y sur de Chihuahua.

Se presentan dos zonas secas, pero de mayor extensión que en el mes anterior; una en el estado de

Baja California se extiende a Sonora sobre el desierto de Altar y hacia el sur, hasta la Sierra de Álamos en el límite estatal de Sonora y Sinaloa, y presenta principalmente valores de -100%. La otra, situada en los alrededores de Mazatlán, se extiende hacia el sur de la zona en estudio.

RESUMEN DE LAS CONDICIONES DEL VERANO 90 (Figura 15). El mapa de la distribución de las anomalías de la mitad húmeda del año, muestra que la mayor parte del área en estudio presenta anomalías cuyos valores caen dentro de la categoría de lluviosos, es decir, mayores de +50%; se localizan en dos áreas, una sobre la parte central y sur del estado de Baja California Sur, y la otra, en la porción norte del estado de Sonora, la cual abarca desde Hermosillo y se extiende al este por el desierto de Altar hasta las estribaciones boreales de la Sierra Madre Occidental. No obstante, dado que la cantidad de lluvia es muy pequeña, el que se haya duplicado no representa un cambio en las condiciones de sequía de la región.

Las áreas secas se circunscriben a tres: la de mayor extensión se presenta sobre la península

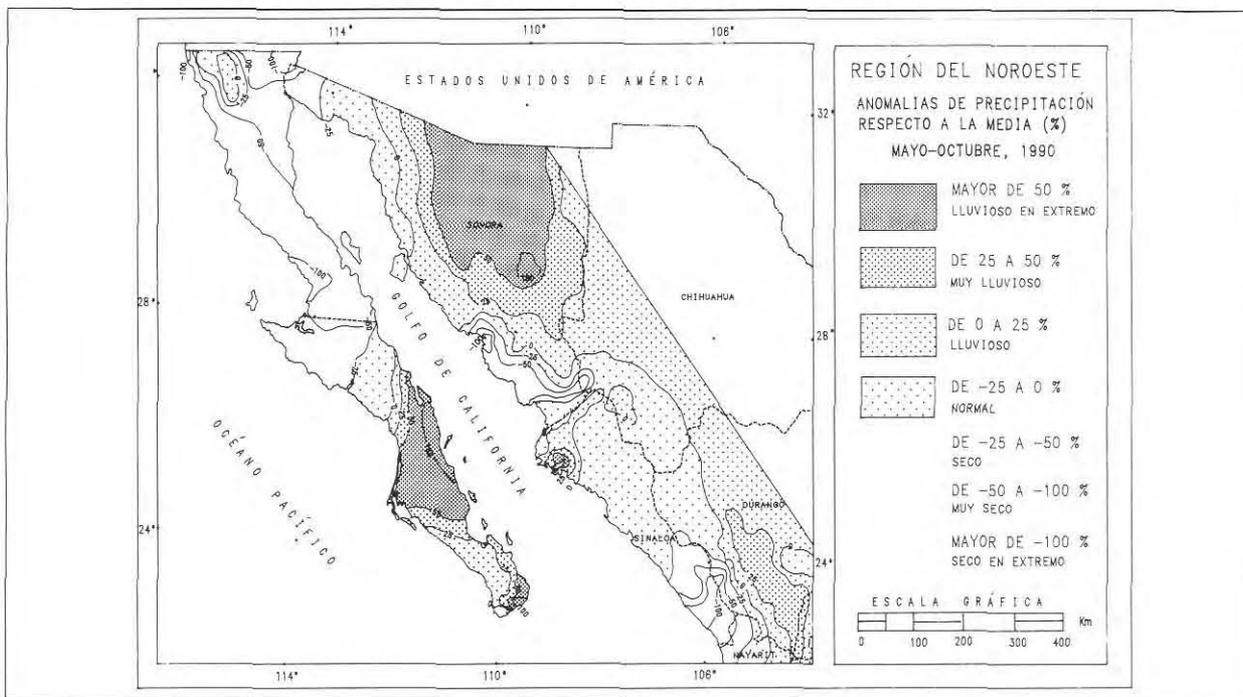


Figura 15. Anomalías de precipitación respecto a la media, mayo-octubre, 1990.

de Baja California al norte del paralelo 27° N, las otras dos se localizan, una en el extremo sureste de Sonora entre las bahías de Guaymas y de Agiabampo, y la otra en la porción sur del estado de Sinaloa. Por lo anterior, se estima que el verano 1990 no se apartó de las condiciones promedio de manera substancial

SISTEMAS DE TIEMPO RESPONSABLES DE LA PRECIPITACIÓN

Análisis de los mapas de lluvia en días seleccionados

Las lluvias son consecuencia de situaciones sinópticas características que pueden estudiarse en las

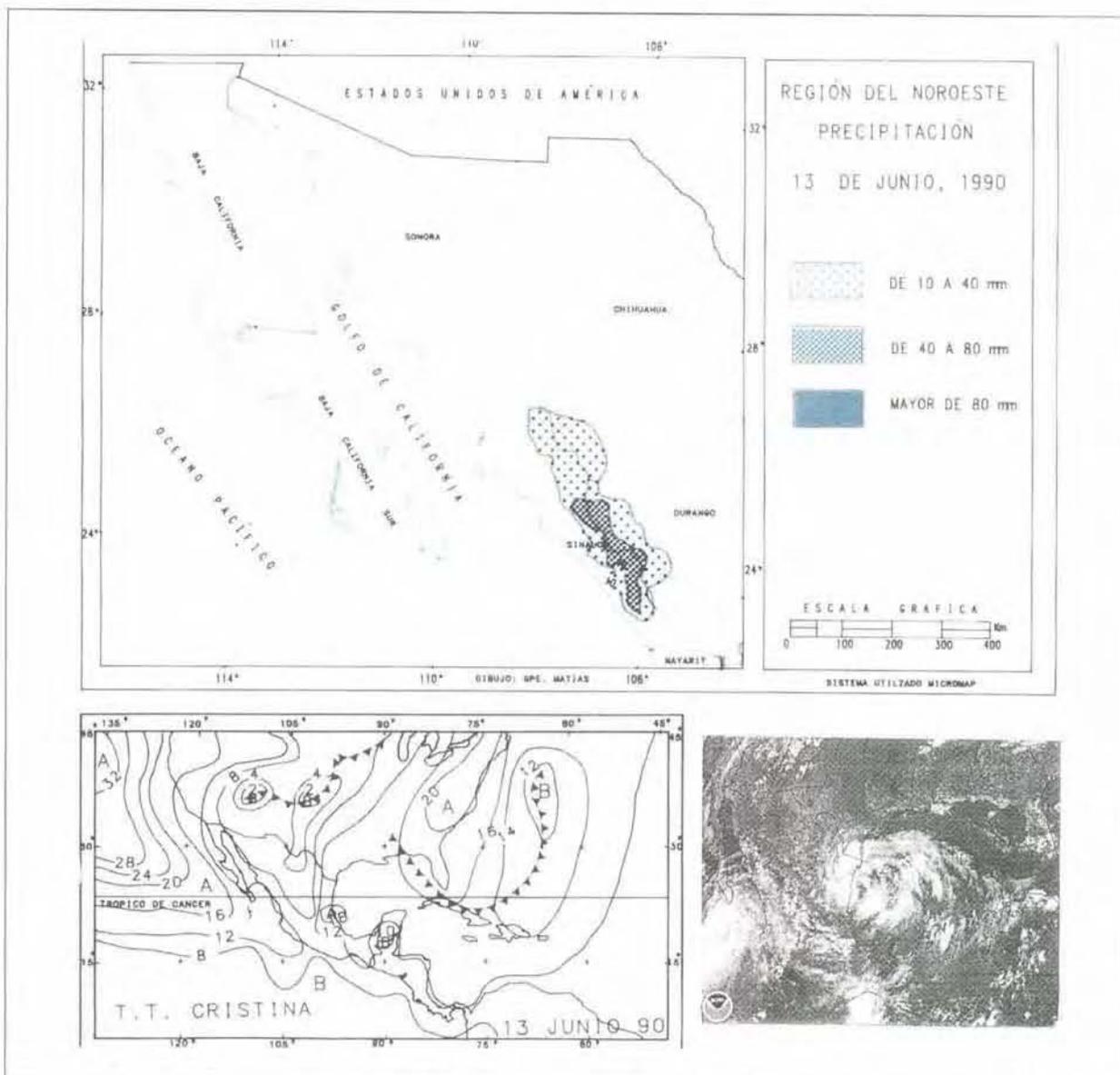


Figura 16. Precipitación, carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 13 de junio de 1990.

imágenes de satélite y explicarse con apoyo de la carta del tiempo de la misma fecha. Se hace un análisis de los días con mayor precipitación en el noroeste de México en el verano de 1990.

13 de junio (Figura 16). Hubo precipitación pluvial entre 10 y 80 mm sobre la Sierra Madre Occidental en las inmediaciones de la Sierra de Surotato y Sierra de Tacuichamona en Sinaloa;

los Altos de Topia en los límites de Chihuahua con Durango, así como en las sierras del Espinazo del Diablo y de las Ventanas en Durango, en estas últimas se presentó la mayor precipitación. Según la imagen de satélite de este día, el país estaba cubierto de aire marítimo tropical proveniente de ambos litorales. Soplaban los vientos alisios desde el Océano Atlántico introduciendo humedad hasta el noroeste del país.

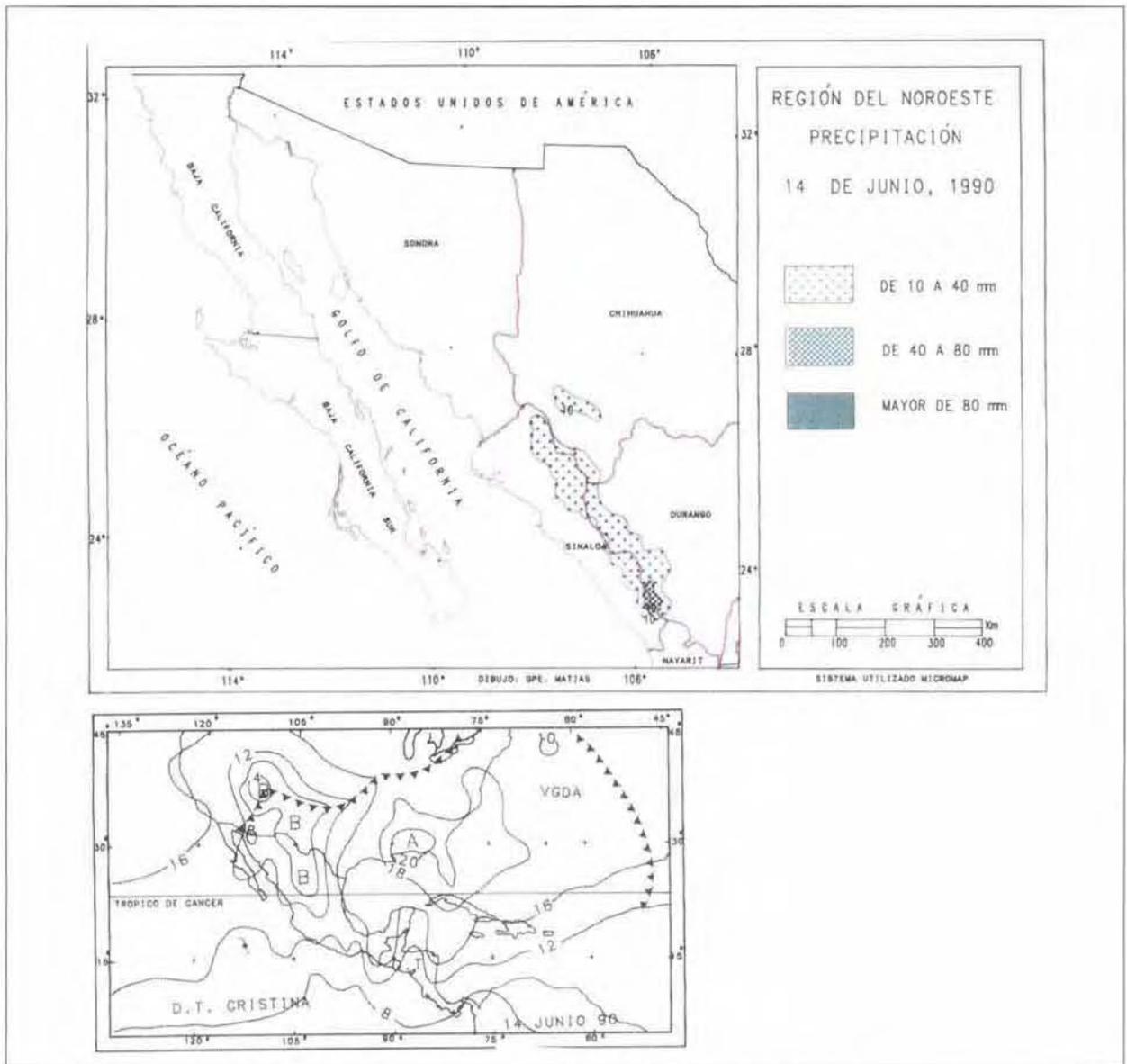


Figura 17. Precipitación y carta del tiempo del 14 de junio de 1990.

En el Océano Pacífico la tormenta tropical "Cristina" se localizaba 1200 km al suroeste de San José del Cabo, B.C.S., a las 00:0 Z (tiempo universal, igual a 6:00 hora local), latitud de 15° 42' norte y longitud 116° 12' oeste, moviéndose hacia el oeste a una velocidad de 17 km/h con vientos hasta de 83 km/h, la presión en el centro de la tormenta era de 996 mb.

40 mm sobre la Sierra de Huajicori en los límites con Sinaloa y Durango. La región seguía bajo la influencia de los vientos alisios y del monzón; para esta fecha, "Cristina", situada a 1475 km al suroeste de la península de Baja California, se había convertido en depresión tropical, con vientos de 45 km/h y presión atmosférica de 1009 mb en su centro, a las 12:00 Z se localizaba a 17° 30' de latitud norte y 121° 06' de longitud oeste.

14 de junio (Figura 17). Continuaron las lluvias aunque en menor cantidad; se recibieron más de

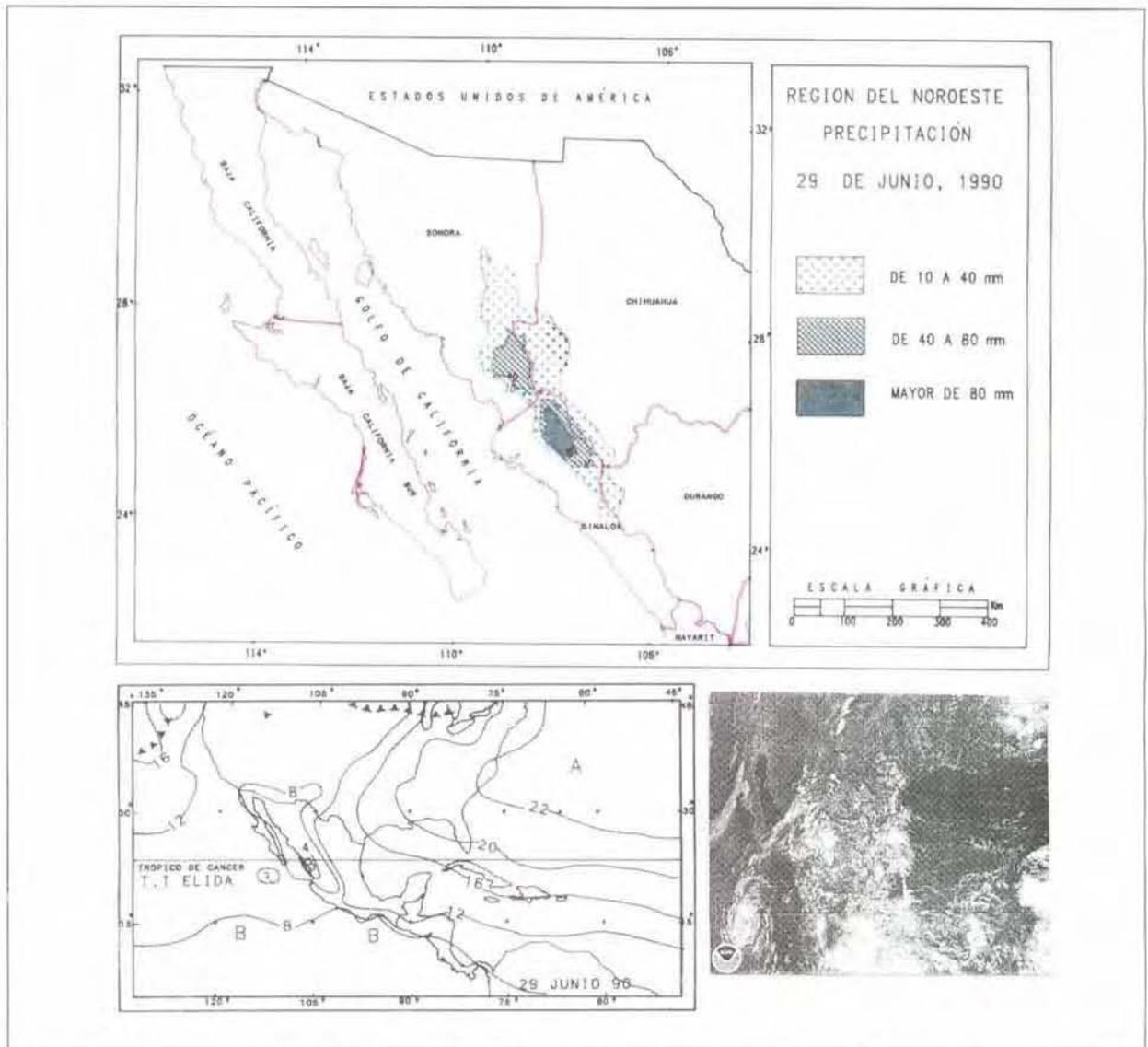


Figura 18. Precipitación y carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 29 de junio de 1990.

29 de junio (Figura 18). Se registró precipitación de 10 a 40 mm sobre la Sierra Madre Occidental, principalmente en la Sierra Tarahumara, Cumbres del Gato y Altos de Topia, y mayor de 80 mm sobre la Sierra de Surotato en Sinaloa. Según la imagen de satélite se observó la presencia del huracán "Eli-da" 750 km al suroeste de San José del Cabo, Baja California Sur, que se movía hacia el noroeste a 22 km/h; a las H 00:0Z se localizaba en 19° 48' de

latitud norte y 113° 24' de longitud oeste, con vientos de 126 km/h y una presión de 990 mb en su centro, tenía categoría de huracán 1.

Se observan las bandas de nubes que se desprenden del huracán introduciendo humedad a la región noroeste del país. El mismo día a las 12:00 Z cambió a la categoría de tormenta tropical con vientos de 108 km/h.

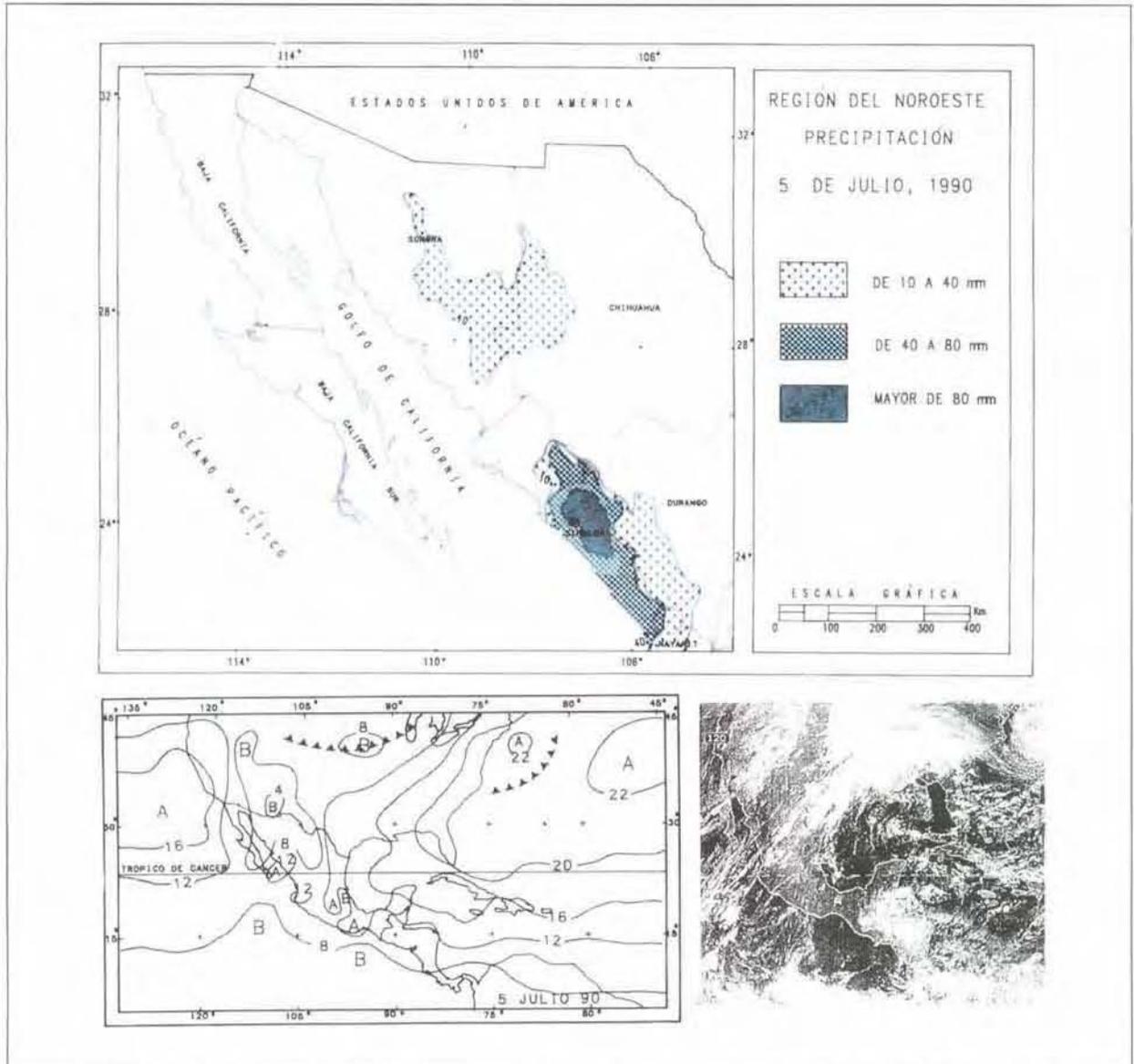


Figura 19. Precipitación, carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 5 de julio de 1990.

mo sur de la península de Baja California, también en la sierra de Huachinera en Chihuahua y en los alrededores de Hermosillo, Sonora. Las lluvias fueron mayores de 40 mm en las sierras de Tacuichamona y del Espinazo del Diablo, así como en las sierras de las Ventanas y Huajicori en los límites de Nayarit.

cán 1 a las 18:00Z con vientos de 135 km/h y una presión de 981 mb, se localizó a 17°06' de latitud norte y 107° 54' de longitud oeste. Algunas horas más tarde, en la imagen de las 23:31 Z, se observa la magnitud del fenómeno cuyas bandas nubosas introdujeron humedad a la región noroeste del país.

La imagen de satélite de las 00:0Z muestra la tormenta tropical "Fausto" que subió a la categoría de huracán

14 de julio (Figura 21). Se presentaron precipitaciones mayores a 10 mm en la porción norte de la

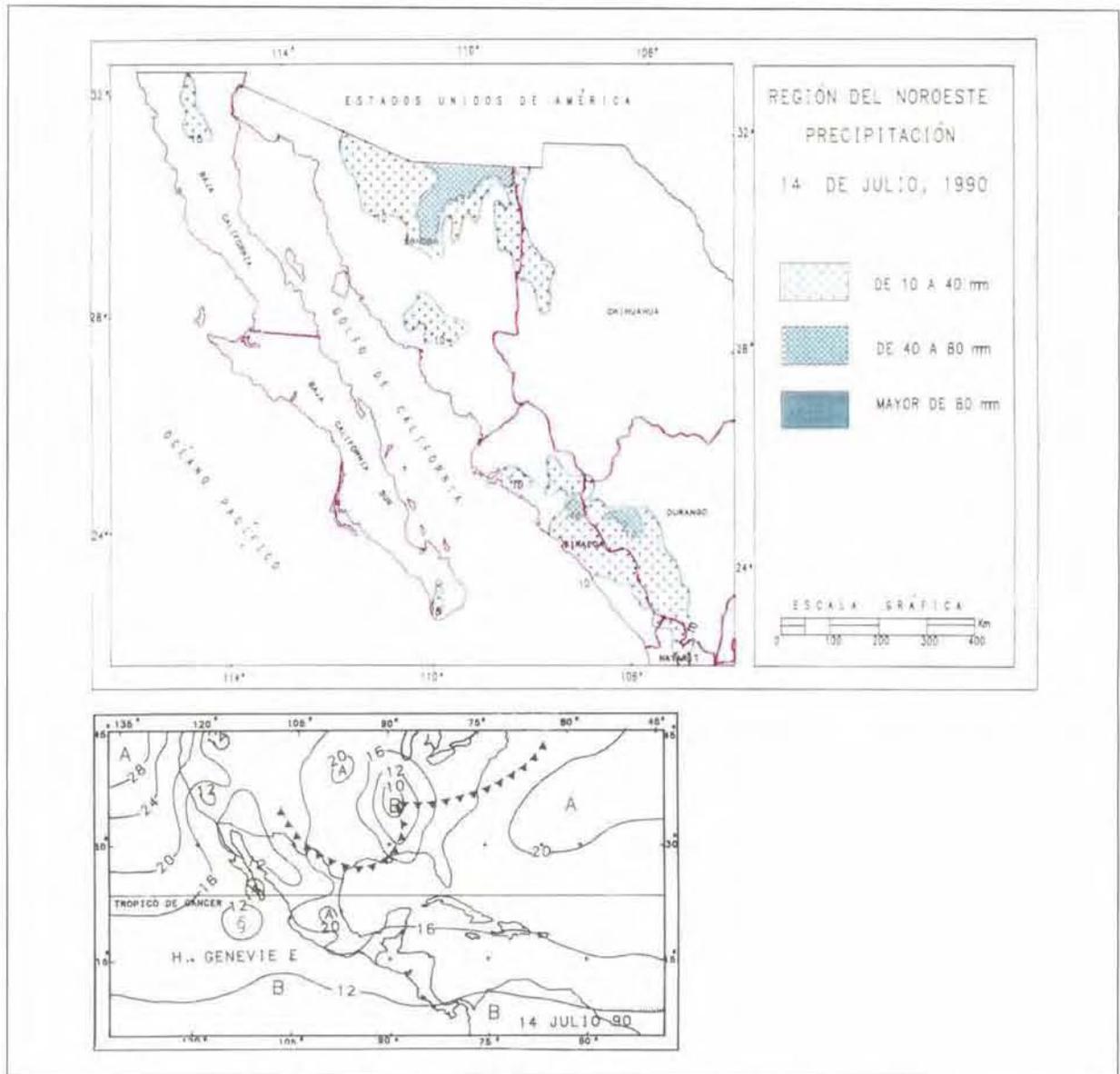


Figura 21. Precipitación y carta del tiempo del 14 de julio de 1990.

Sierra Madre Occidental (en las sierras de Santa Rosalia y Teras) y mayores a 40 mm en la Sierra de los Ajos en la misma área. También hubo precipitaciones de 10 a 40 mm en los Altos de Topia y sierra de la Magdalena en Durango, y gran parte de la cuenca del río Culiacán en Sinaloa.

La carta del tiempo registró la presencia del huracán "Genevieve" con categoría 1 que a las 18:00Z

se localizó a 19° 24' de latitud norte y 114° 48' de longitud oeste con vientos de 144 km/h y 977 mb de presión en su centro, con un desplazamiento hacia el noroeste.

18 julio (Figura 22). Las precipitaciones fueron mayores de 10 mm sobre la Sierra Madre Occidental y en el extremo sur de la Península de Baja California, y aún más abundantes de 40 mm en las sierras

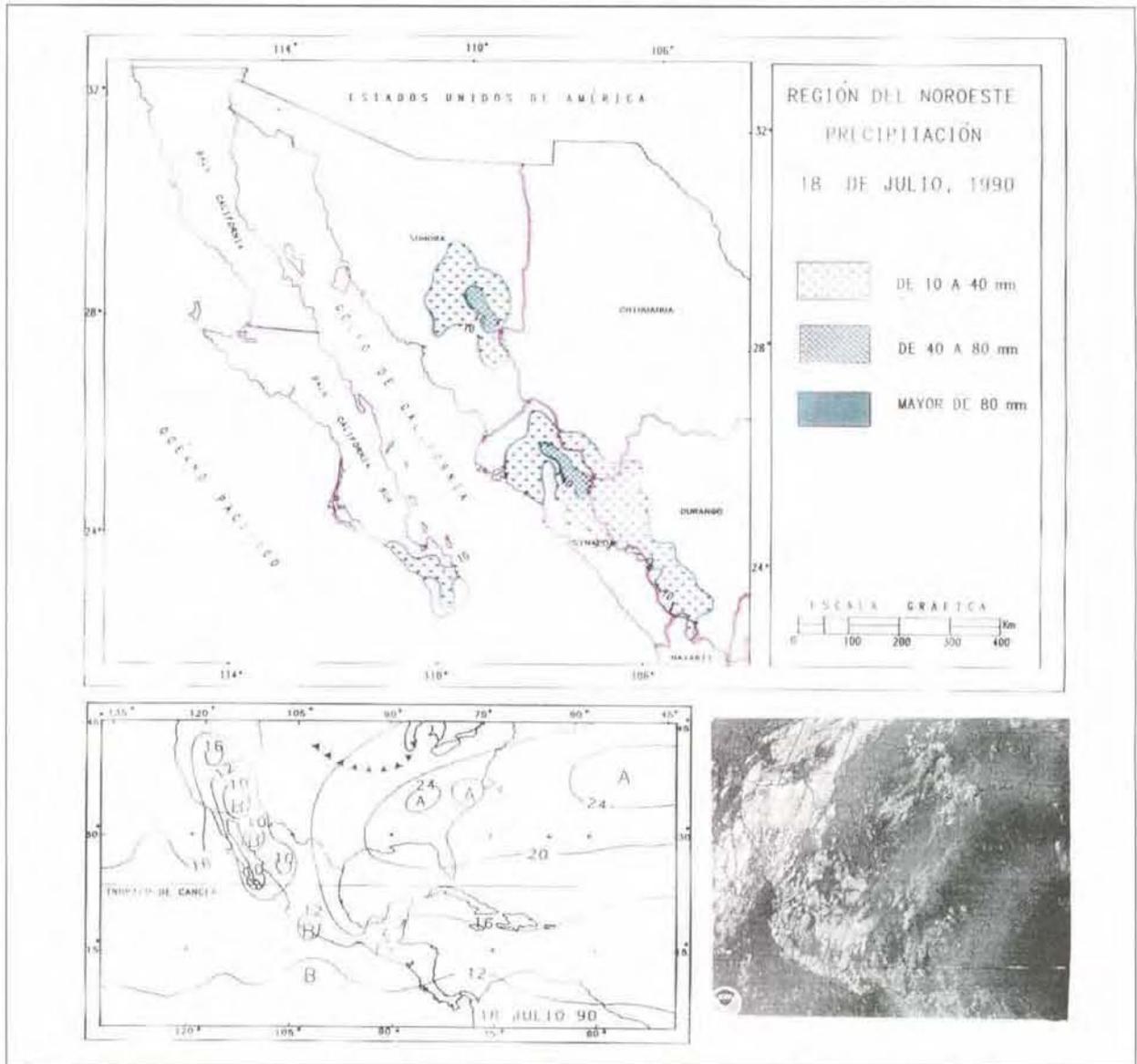


Figura 22. Precipitación, carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 18 de julio de 1990.

de Surotato y Altos de Topia en Sinaloa. En la imagen de satélite se pudo observar la entrada de aire marítimo tropical del Pacífico producido por efecto del monzón; como indica la carta de tiempo, había varios centros de baja presión en el noroeste del país.

11 y 12 de agosto (Figuras 23 y 24). El 11 de agosto llovió a lo largo de toda la Sierra Madre Occidental y la cuenca del río Yaqui, así como en la parte

media de la península de Baja California en las sierras de Santa Lucía y la Giganta. La máxima precipitación fue superior a 80 mm. Al día siguiente, 12 de agosto, continuó la precipitación principalmente en los estados de Sonora y parte de Durango; destaca con más de 80 mm el extremo norte de la Sierra Madre Occidental, sobre las sierras de Santa Rosalía, Batuc y la cuenca alta de los ríos Yaqui y Sonora.

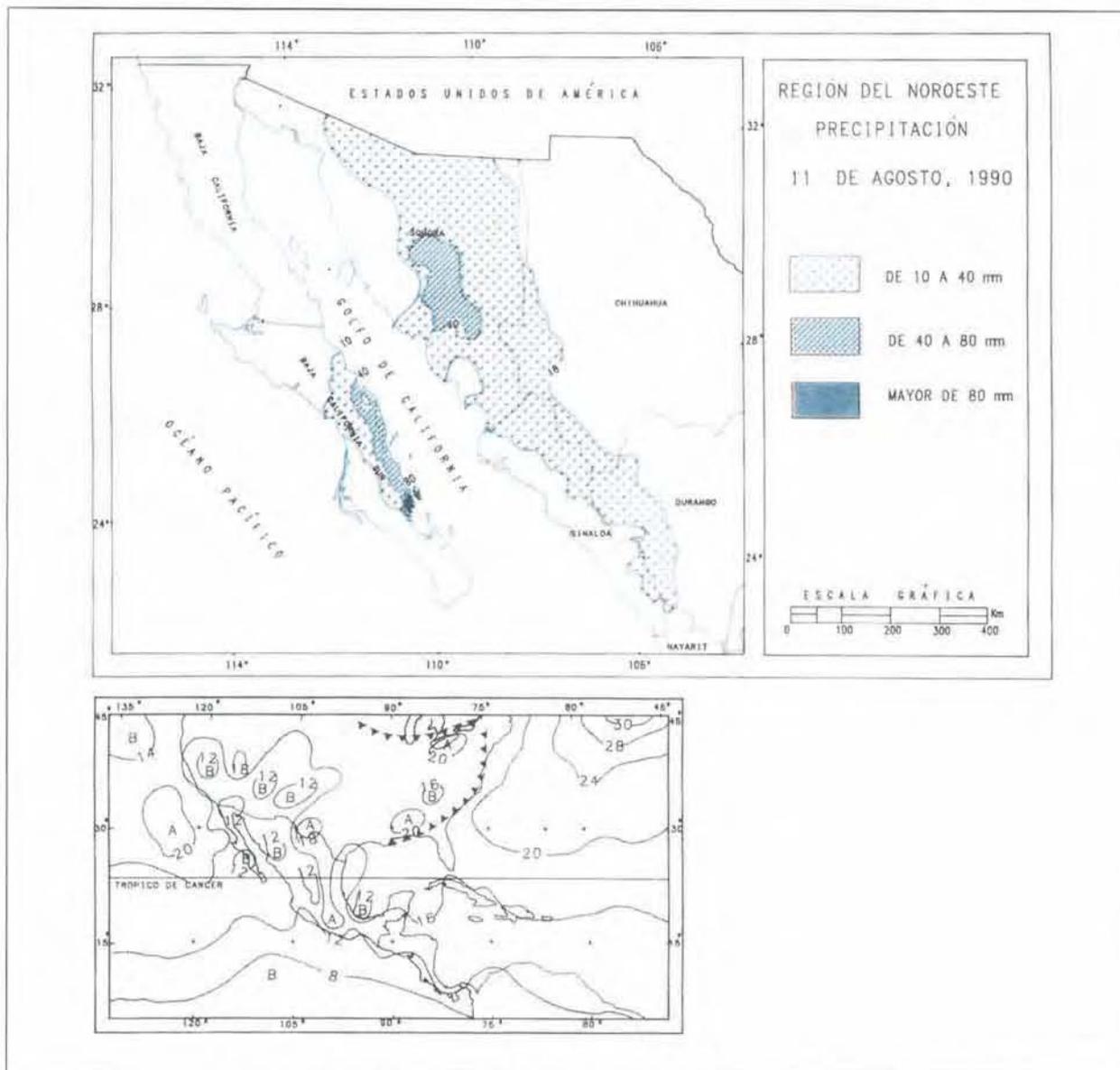


Figura 23. Precipitación y carta del tiempo del 11 de agosto de 1990.

En la imagen correspondiente al día 12, se observa nubosidad sobre la región, propiciada por la presencia de bajas presiones que produjeron el efecto de monzón.

Se deduce de la imagen y la carta de tiempo, que la precipitación fue de origen convectivo por la entrada de aire marítimo tropical del Océano Pacífico por efecto del monzón.

30 de agosto (Figura 25). Se presentó solamente un núcleo de precipitación menor de 80 mm sobre la Sierra Madre Occidental en los Altos de Topia.

4 septiembre (Figura 26). Sólo se registraron precipitaciones de 10 a 40 mm sobre la Sierra Madre Occidental y la porción suroeste de la península de

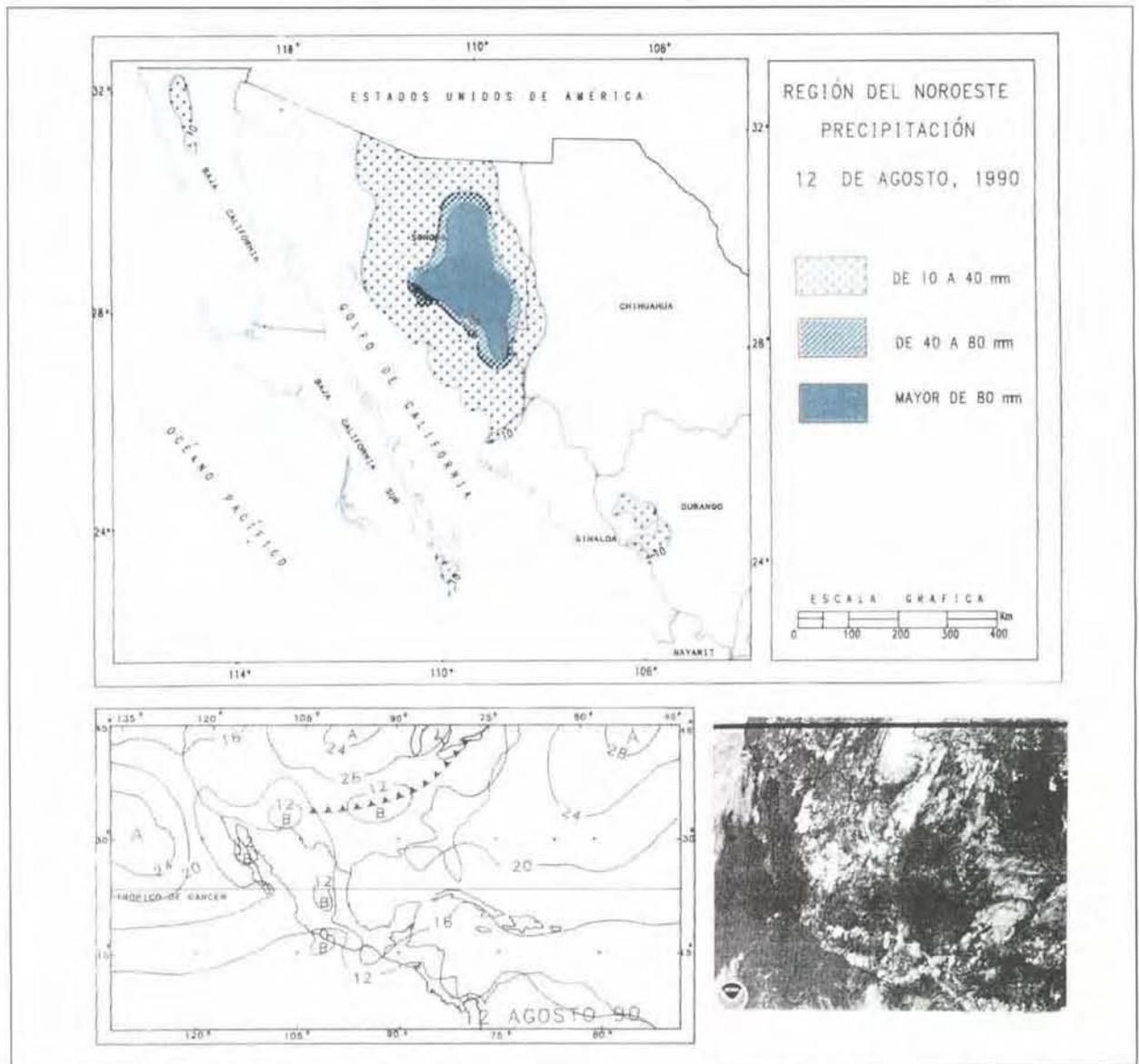


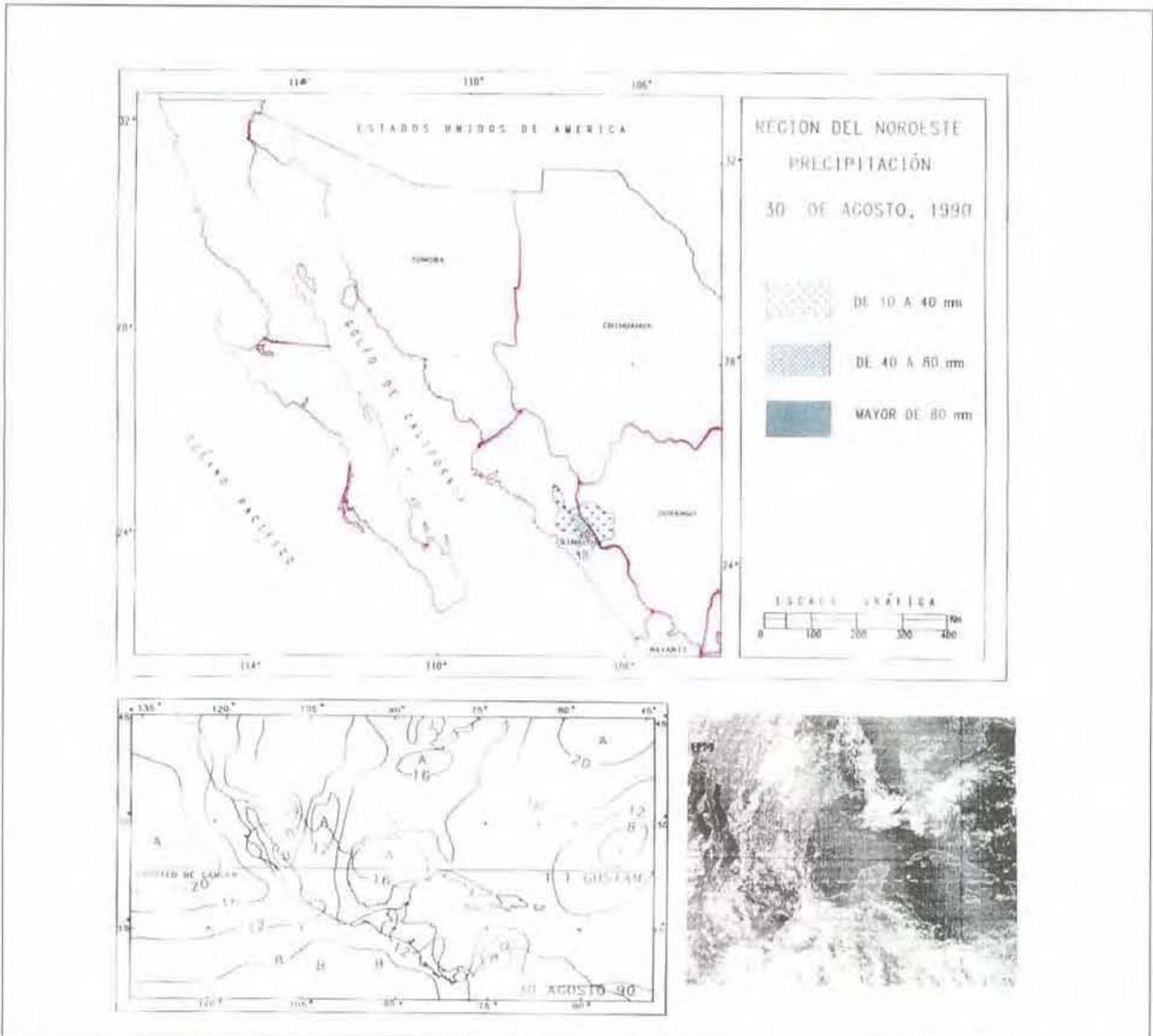
Figura 24. Precipitación, carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 12 de agosto de 1990.

Baja California. Según la carta del tiempo correspondiente, se observa la entrada de aire marítimo tropical del Pacífico por efecto del monzón.

2 de octubre (Figura 27). Un sistema de baja presión sobre el Pacífico condujo a la tormenta tropical "Rachel" hacia el noreste, afectando la región sur de La Paz, así como la porción sur de Sinaloa, a partir de Los Mochis; recurvó hacia tierra e incrementó la velocidad del viento que a las 00:0Z era de 99 km/h, la más alta alcanzada en su trayectoria, se

mantuvo en los reportes de las 06:00 y 12:00Z con una presión mínima de 994 mb en su centro al atravesar el Golfo de California. Arribó a tierra en la costa oeste de Sinaloa a medio camino entre Los Mochis y Culiacán a las 19:00 Z de este mismo día.

La entrada de dicha tormenta produjo precipitaciones pluviales entre 10 y 80 mm sobre la Sierra Madre Occidental y la llanura costera de Sinaloa, y mayor de 80 mm en el extremo sur de la península de Baja California. El Servicio Meteorológico Na-



cional reportó más de 200 mm de lluvia en San José del Cabo, Baja California Sur.

Al moverse sobre el continente se debilitó con rapidez como registran los datos del día 3 de octubre, en que se localizó a los 28° 30' de latitud norte y los 105° de longitud oeste a las 00:02 con vientos de 45 km/h, que la convirtieron en depresión tropical con presión de 1004 mb en su centro. Los rema-

nentes de "Rachel" llegaron hasta Texas en Estados Unidos.

De las 20 tormentas tropicales del Pacífico que se presentaron en el período en estudio, "Rachel" fue el único sistema que entró a tierra. La gran mayoría de ellas recurvan hacia el occidente a la latitud de la Bahía de Banderas. No obstante, la humedad introducida a la troposfera media por estos sistemas,

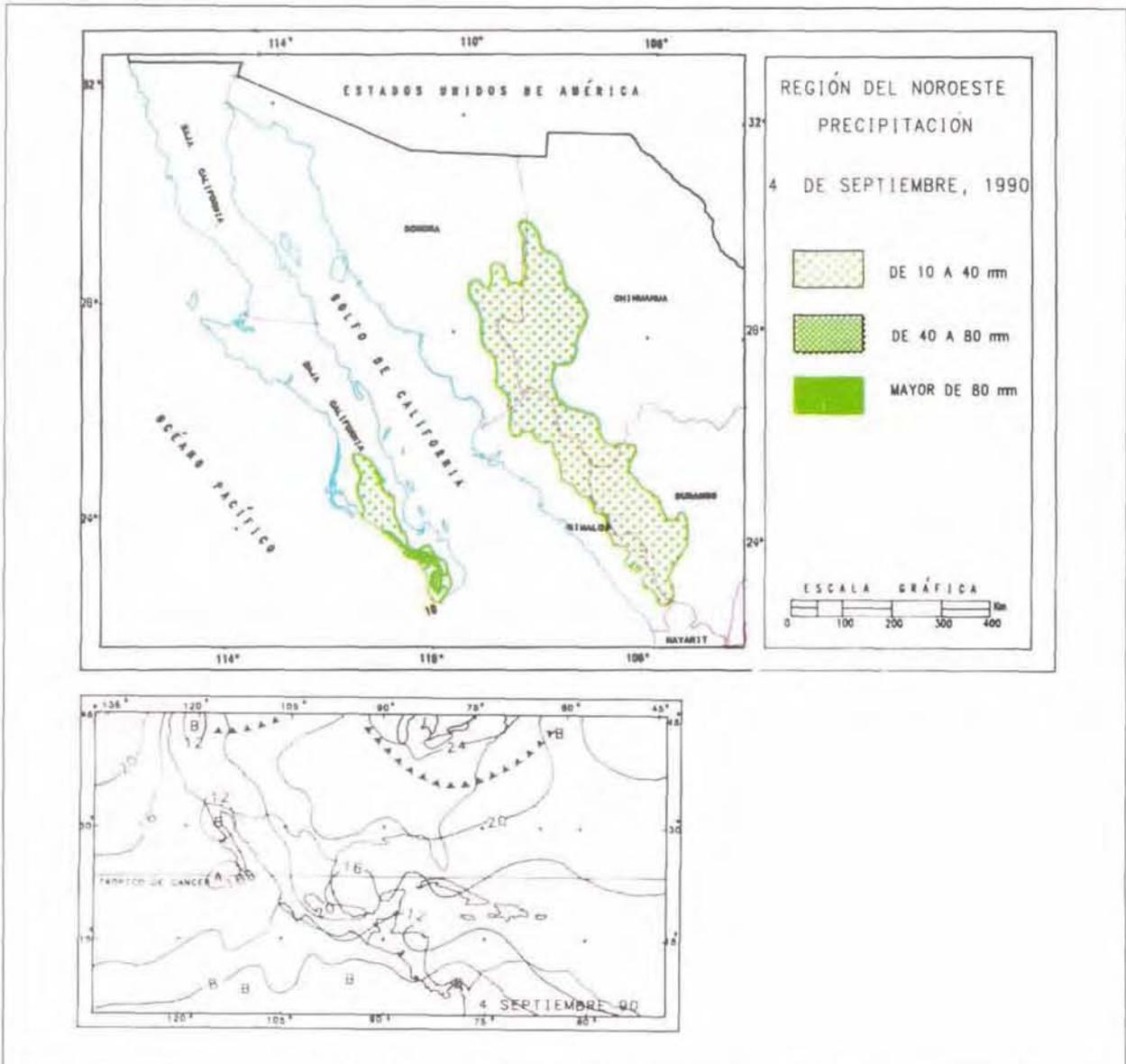


Figura 26. Precipitación y carta del tiempo del 4 de septiembre de 1990.

puede ser introducida al continente por los movimientos monzónicos del aire.

Mediante el análisis de las imágenes de satélite y las cartas de tiempo correspondientes fue posible reconocer los principales fenómenos productores de precipitación en días seleccionados del verano 1990.

Número de días con precipitación mayor de 20 mm

El área en estudio tiene, como ya se indicó, climas secos, exceptuando la parte alta de las montañas; una característica de las zonas áridas es que la lluvia se presenta en aguaceros torrenciales en unos cuantos días, el número de días con

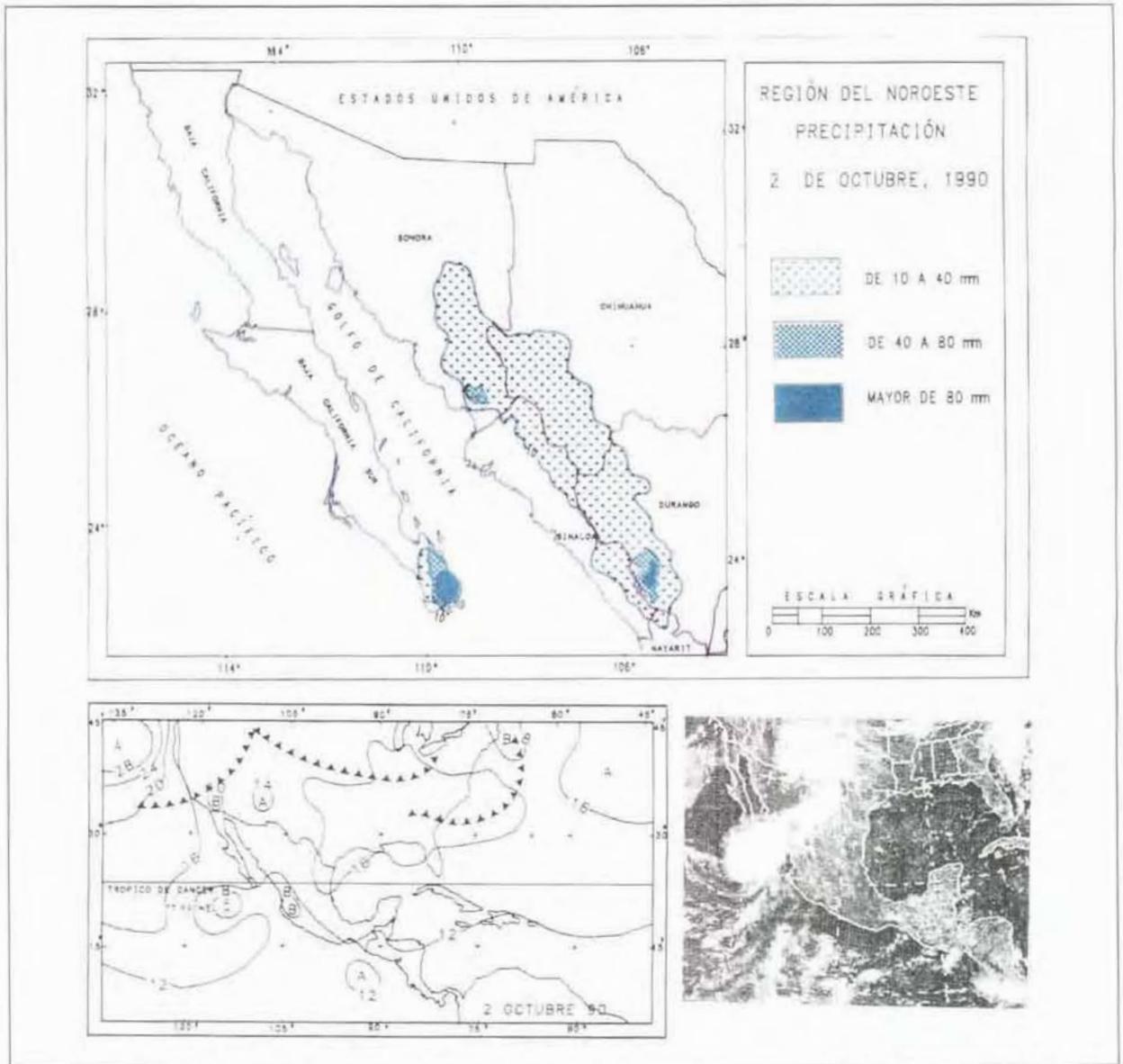


Figura 27. Precipitación, carta del tiempo e imagen del satélite meteorológico GOES-8 del 2 de octubre de 1990.

FECHA	SISTEMAS DE TIEMPO
13 de junio	Alisios y monzón del Pacífico
14 de junio	Alisios, monzón y T. T. "Cristina"
29 de junio	Huracán "Elida" y monzón
5 de julio	Monzón del Pacífico
8 de julio	Huracán "Fausto" y monzón
14 de julio	Huracán "Genevieve" y monzón
18 de julio	Monzón del Pacífico
11-12 de agosto	Monzón del Pacífico y convección
30 de agosto	Convección y monzón
4 de septiembre	Monzón
2 de octubre	Tormenta tropical "Rachel"

precipitación mayor de 20 mm no excede de 6 en ninguno de los estados en la región; por tanto, se considera que el análisis que se hizo en la sección anterior, de los mapas de precipitación en días seleccionados y los sistemas de tiempo relacionados, es representativo de lo que ocurre en la zona.

Como se aprecia en el mapa de precipitación de junio (Figura 2), no llovió en el estado de Baja California, el área con mayor precipitación se localizó sobre la Sierra Madre Occidental en los límites de Durango y Sinaloa con más de 120 mm.

A pesar de los ciclones "Cristina" y "Elida" que se presentaron los días 13, 14 y 29, respectivamente, sobre el Océano Pacífico, la lluvia se concentró en dos días en Sinaloa y en tres en Durango, en el primero representó 74% de la lluvia total del mes, en el segundo, de 60 a 74%.

Julio fue el más lluvioso del período (Figura 3), en efecto, se registraron más de 120 mm en toda la región en estudio, exceptuando una angosta franja litoral en Sonora y Sinaloa y las porciones norte y central de la península de Baja California.

Hubo un mayor número de días con precipitación apreciable, y con más de 20 mm un promedio de seis, en los que se concentró de 60 a 90% de la mensual. Los responsables de la precipitación fueron los ciclones "Fausto" y "Genevieve", la zona intertropical de convergencia estuvo bastante desplazada hacia el norte y presentó inestabilidad,

en ella tuvo su origen gran cantidad de humedad que fue transportada hacia el interior por el efecto monzónico, ocasionado a causa del intenso calentamiento del área continental.

Como en los meses anteriores, en agosto no llovió sobre el estado de Baja California (Figura 4), la precipitación mayor de 120 se concentró exclusivamente sobre la Sierra Madre Occidental, y sólo en dos áreas superó los 200 mm.

No hubo ningún día con precipitación mayor de 20 mm en Baja California, en cambio, sobre Baja California Sur ya hubo dos días con precipitación mayor de esta cantidad, en los que cayó en promedio 70% de la precipitación total mensual. En Sonora hubo en promedio tres días con precipitación mayor de 20 mm y ésta representó alrededor de 85% de la total del mes.

A medida que se avanza hacia el sur y al este va aumentando el número de días con lluvia mayor a 20 mm; ya en Sinaloa se tuvieron cuatro días con precipitación mayor a esta cantidad, la lluvia caída en este breve lapso fue del orden de 80% de la total mensual. En Durango hubo un promedio de cinco días con precipitación de esta magnitud en que se acumuló alrededor del 80% de la precipitación del mes.

La causa primordial de la precipitación en este mes fue el monzón proveniente del Pacífico y, en seguida, los fenómenos convectivos del aire ocasionados por el intenso calentamiento continental.

La precipitación de septiembre (Figura 5) sólo fue superior a 120 mm sobre la Sierra Madre Occidental y el sureste de la Baja California, en estas mismas regiones 80% de la precipitación del mes se concentró en cuatro días, ocasionada por la entrada de aire marítimo tropical del Pacífico por efecto del monzón y la presencia de la Corriente de Chorro en la altura.

En octubre, la entrada de la tormenta tropical "Rachel" produjo precipitaciones pluviales diarias superiores a 20 mm sobre la Sierra Madre Occidental, la llanura costera de Sinaloa y el extremo sur de la Península de Baja California. El Servicio Meteorológico Nacional reportó más de 200 mm de lluvia en un solo día, en San José del Cabo, Baja California Sur. Como en los meses anteriores, la precipitación total del mes se registró en 3 o 4 días.

RELACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE TIEMPO EN EL VERANO 1990 Y LOS DEL PERÍODO 1970-1984

García y Trejo (1994) en un estudio previo, relacionan las nubes vistas en las imágenes de los satélites meteorológicos con el clima en el noroeste de México. Analizan las imágenes diarias de nubes tomadas por los satélites ESSA y GOES durante 15 años (1970-1984), en conexión con las cartas diarias del tiempo, producidas por el Servicio Meteorológico Nacional para identificar nueve sistemas de tiempo productores de nubosidad sobre la parte occidental de México, cinco de los cuales se presentan en la mitad caliente del año, y son los siguientes:

Ciclones Tropicales del Pacífico al sur del paralelo 20° N

Ciclones Tropicales del Pacífico al norte del paralelo 20° N

Alisios del noreste

Alisios del este

Monzón

García, en 1970 (1990a), hizo una regionalización del país en cuanto a grado de afectación por nubes, tomando en cuenta el relieve, la altitud, la exposición a vientos húmedos, las cantidades de precipitación y los regímenes pluviométricos de unas 1 000 estaciones meteorológicas de largo período, delimitando 27 regiones de nubes; de ellas, ocho corresponden a la región en estudio, y son las siguientes:

REGIÓN 1. Noroeste de Baja California

REGIÓN 2. Sierra de San Pedro Mártir

REGIÓN 3. Centro de Baja California

REGIÓN 4. Sureste de Baja California

REGIÓN 5. Desierto de Altar

REGIÓN 6. Llanura costera del Pacífico

REGIÓN 7. Norte de la Sierra Madre Occidental

REGIÓN 8. Sur de la Sierra Madre Occidental

Sistemas de tiempo en el noroeste de México

La tabla siguiente muestra la importancia de los sistemas de tiempo en las ocho regiones estudiadas y cómo varió su frecuencia en los 15 años de análisis de imágenes de satélite.

Las regiones se acomodaron en la tabla de norte a sur.

Porcentaje de los sistemas que visitaron el área en estudio de mayo a octubre, respecto al número total en el mismo período:

En los 15 años de datos analizados, los sistemas de verano más importantes en la producción de nubosidad y de precipitación son el monzón, los ciclones tropicales y los alisios del este y noreste. El verano 1990 no es excepción a la regla.

Las diferencias en la cantidad de precipitación que año con año se presentan en el área pueden atribuirse

SISTEMA DE TIEMPO	REG.2	REG.1	REG.8	REG.3	REG.5	REG.7	REG.4	REG.6
Monzón	21.8	26.2	44.8	46.2	47.8	54.4	60.3	73.1
Ciclón Tropical	4.0	6.6	3.0	14.4	3.5	3.9	17.4	9.1
Alisios	-	-	29.8	-	33.6	107	-	4.8

buirse a la posición variable de la Zona Intertropical de Convergencia y al carácter veleidoso de los ciclones tropicales responsables, en gran parte, de las variaciones en humedad de la troposfera media sobre el Pacífico y, por ende, del contenido en humedad del monzón, el cual transporta dicha humedad hacia el interior del país.

Una observación importante que se desprende de este estudio es que en el norte predominan los fenómenos invernales como son los vientos del oeste, el *Jet Stream* y los frentes de ciclones extratropicales, aun en la mitad caliente del año, y su frecuencia disminuye hacia el este y hacia el sur; en cambio, la frecuencia del monzón va aumentando hacia el este y el sur del área en estudio.

CONCLUSIONES

La región en estudio presenta una tendencia a regímenes pluviométricos intermedios, debido a la interacción de sistemas tropicales y boreales sobre el área, aun cuando la precipitación sea escasa. Resultan dos grupos climáticos: los secos (áridos y semiáridos) y los subhúmedos.

Por lo general, se considera como un mes húmedo el que recibe precipitación mayor de 60 mm en los climas cálidos y mayor de 40 en los templados. En la región noroeste sólo los meses de julio, agosto y septiembre de 1990 pueden considerarse como húmedos en gran parte de la región.

La caracterización en cuanto a humedad del período mayo a octubre de 1990, respecto a la precipitación de largo período, resultó similar empleando error probable y anomalías.

Los mapas mensuales de anomalías de la precipitación señalan áreas lluviosas y lluviosas en extremo, por el simple hecho de haber registrado precipitaciones mayores que el promedio, lo cual no significa, necesariamente, grandes cantidades de lluvia, ya que en la zona árida los promedios son muy pequeños. En efecto, al examinar la cantidad de lluvia mensual se puede apreciar que se recibieron cantidades pequeñas, en la mayor parte de la

región, con excepción de las laderas elevadas de la Sierra Madre Occidental.

El verano 1990, según las anomalías, resulta más lluvioso que lo normal en la parte central de Baja California Sur y al norte de Sonora, y como se dijo, dada la escasa cantidad de lluvia aun con anomalías positivas, no representa un cambio en las condiciones de sequía de esta área; el resto de la región no se aparta mucho de lo normal, o sea que la cantidad de precipitación recibida en ella, fue similar al promedio de largo período. Por error probable, a nivel puntual, se corrobora lo anterior.

En las zonas áridas lo más común es que no llueva, la precipitación no se encuentra uniformemente repartida en los días del mes, el promedio mensual puede haber sido en un solo aguacero. A nivel diario, 20 mm de lluvia representan encharcamientos e inundaciones.

Se seleccionaron los días de mayor precipitación (más de 20 mm) en el verano 1990, que en ningún caso fueron más de 6 por mes; se encontró que la cantidad de lluvia de esos días fue representativa de la mensual en más de 70%. Se identificaron los sistemas de tiempo responsables de tal precipitación en las imágenes de los satélites meteorológicos con apoyo de las cartas del tiempo. Los sistemas de tiempo responsables de la precipitación son, en combinación, el monzón y los ciclones tropicales sobre el Pacífico, y en mucho menor proporción los vientos alisios.

Al comparar estos resultados con la frecuencia de incidencia de los sistemas de tiempo en la región durante los 15 años de datos analizados en el estudio previo mencionado, se encontró que son los mismos. Es interesante hacer notar que para la climatología de la región noroeste del país tiene una gran importancia la presencia del monzón, visto en las imágenes de satélite como nubosidad proveniente del Océano Pacífico, con origen en la humedad introducida en la troposfera media por la zona intertropical de convergencia y los fenómenos que en ella se originan, como son las perturbaciones ciclónicas y los ciclones tropicales.

Se encontró que el método de análisis empleado en este trabajo es una importante herramienta para relacionar las imágenes de satélite con la precipitación en el territorio mexicano, y que consiste en: a) estudiar, de manera cualitativa, la cubierta nubosa a nivel diario, en conexión con las cartas del tiempo y con la precipitación máxima en 24 horas; b) calcular las frecuencias y la importancia relativa de cada sistema de tiempo en producir nubes.

Este método ha sido, también, de gran utilidad para realizar una revisión de la circulación general de la atmósfera sobre México y dar a cada sistema de tiempo la importancia que merece, y mostrar cuáles son los sistemas responsables de la precipitación en el noroeste de México, en especial el llamado monzón mexicano (Douglas *et al.*, 1993; Reyes *et al.*, 1994), ya que en el pasado se creía que los alisios eran los fenómenos más importante en la producción de precipitación en todo el país.

REFERENCIAS

- Avila, L. A. (1991), "Eastern north pacific hurricane season of 1990", *Mon. Wea. Rev.*, vol 119, August, pp. 2034-2046.
- Barrett, E.C. (1970), *Climatology from satellites*, Methuen, EUA.
- Douglas, M. W., R. Maddox, K. Howard y S. Reyes (1993), "The mexican monzon", *Journal of Climate*, American Meteorological Society, pp. 1665-1677.
- García, E. (1965), *Distribución de la precipitación en la República Mexicana*, Instituto de Geografía, UNAM, México, 1:171-191.
- García, E. y M. E. Hernández (1989), "Anomalías de la precipitación en la República Mexicana (respecto a la moda de largo período)", *Revista Geografía*, INEGI, pp. 1-24.
- García E. y R. I. Trejo (1990a), "Climatología de satélites aplicada al estudio de la precipitación en México", *Memoria del XII Congreso Nacional de Geografía*, tomo I, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística e INEGI, Tepic, México, pp. 224-233.
- García, E. y R. I. Trejo (1990b), "Causas de la precipitación en Nayarit", *Memoria del XII Congreso Nacional de Geografía*, tomo I, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística e INEGI, Tepic, México, pp. 234-243.
- García, E. y R. I. Trejo (1994), "La presencia del monzón en el noroeste de México", *Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. 28, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 33-64.
- García, E. et al. (1973-1977), *Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación*, 19 Volúmenes, Serie Climas, CETENAL-Instituto de Geografía, UNAM.
- García, E. y P. A. Mosiño (1978), "Caracterización del régimen pluviométrico de las regiones áridas y semiáridas de México, mediante la distribución Gamma", *Boletín*, Soc. Mex. de Geogr. y Est., México, tomo I, 26, pp. 13-24.
- Hernández, M. E. (1989), "Condiciones climáticas del Golfo de California y sus islas", *Boletín*, núm. 20, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 71-79.
- Horn, L. H. y R. A. Bryson (1960), "Harmonic analysis of the annual march of precipitation over the United States", *Annals of the Assoc. of American Geographers*, vol 50, núm. 2:157-171.
- Mosiño, A. P. y E. García (1981), "The variability of rainfall in Mexico and its determination by means of the Gamma distribution", *Geografiska Annaler*, 63a:1-10. Estocolmo, Suecia.
- Reyes, S. et al. (1990), *Climatología de la región noroeste de México. Parte 1. Precipitación: Series de Tiempo y Estadísticas del Año Climatológico*, Reporte Técnico, CICESE, Ensenada, B. C.
- Reyes, S., M. Douglas y R. Maddox (1994), "El monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON-SWAMP)", *Atmósfera*, núm. 2. vol. 7, pp. 117-137.
- Sadler, J. C. (1964), "Tropical cyclones of the eastern north Pacific as revealed by the TYROS observatories", *Journal of Applied Meteorology*, vol. 3, núm. 4, pp. 347-382.
- Scotfield, R. A. y V. J. Oliver (1977), "Using satellite imagery to estimate rainfall from two types of convective storms", *11th. Tech Conference of Hurricanes and Tropical Meteorology*, Am. Met. Soc., Boston, Mass., pp. 204-211.
- Servicio Meteorológico Nacional (1969-1984), *Boletín Meteorológico Mensual*, Dirección de Geografía, SARH, México.
- Wallen, C. C. (1955), "Some characteristics of precipitation in Mexico", *Geografiska Annaler*, Estocolmo, Suecia, 37:1-2, pp. 50-85.
- Woodly, W. L. y B. Sancho (1971), "A first step towards rainfall estimation from satellite cloud photographs", *Weather*, vol. 7, pp. 279-289.