

## Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur

CARLOS LATORRE D.

*Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F., MEXICO*

LUIS PENILLA

*Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, MEXICO*

(Manuscrito recibido: 14 de marzo, 1988; aceptado: 19 de abril, 1988)

### RESUMEN

Basados en 20 años de datos diarios, se estudian los patrones de la lluvia en Baja California Sur y se cuantifica la precipitación asociada a los ciclones que se acercaron a menos de 250 km de sus costas. Los 30 ciclones aquí analizados, contribuyeron moderadamente (20% en promedio) a la lluvia anual de la región, mostrando además que su patrón de la variación de la lluvia es diferente a los valores anuales. Se observan eventos singulares asociados a los ciclones que podrían tener una repercusión importante en la recarga de los acuíferos de la región como las fuertes lluvias locales observadas durante el paso de algunos ciclones o en ocasiones como en los años 1967 y 1977, cuando la precipitación durante los ciclones representó el 45 y el 69 % de la precipitación anual.

### ABSTRACT

Based on 20 years of daily data the precipitation patterns of Baja California Sur, Mexico are studied as well as the precipitation during the passage of the cyclones which came within 250 km of its coast. The 30 cyclones here treated have a moderate average contribution (20 %) to the annual precipitation and show a different precipitation pattern from the annual values. However the recharge to the aquifers may still benefit from the observed heavy localized rains during the passage of some cyclones or at times like in 1967 and 1977 when the cyclones contributed to about 45 and 69 % of the annual precipitation.

### 1. Introducción

Baja California Sur (BCS) es una de las regiones del litoral mexicano más expuesta a los ciclones del Océano Pacífico. Serra (1971), ha mostrado que en un año la probabilidad de que uno de estos ciclones se acerque a menos de 350 km de la costa de BCS, es de 0.97 y que la probabilidad de que al menos uno penetre en su territorio es de 0.46. Estos valores son los más altos encontrados en las zonas costeras de la República.

El clima de BCS es esencialmente árido y cálido, con temperatura media anual mayor que 22°C (García y Mosiño, 1968; Mosiño y García, 1974). En este angosto territorio las cuencas son pequeñas, lo que aunado a la baja precipitación, menor que 200 mm en promedio al año, resulta en la ausencia de corrientes superficiales perennes. El agua para usos domésticos y agrícolas es ciertamente escasa y se obtiene principalmente extrayéndola del subsuelo. Los principales acuíferos que se localizan en la estrecha planicie costera están siendo sobreexplotados y se han detectado casos serios de intrusión salina. Poco se sabe acerca del mecanismo de la recarga de los acuíferos, aunque la creencia general es que ocurre principalmente durante las fuertes lluvias producidas por los ciclones. Sin embargo, desde el punto de vista meteorológico otro factor de peso para la recarga podría estar asociado con la lengua de aire húmedo que proviene de la altiplanicie mexicana y que conlleva una actividad convectiva importante que puede afectar a la región (García y Mosiño, 1968).

Como primer paso en el estudio del balance de agua de la región, en el presente trabajo se han analizado 20 años de registros diarios de lluvia (1960-1979) de todas las estaciones climáticas disponibles, con el fin de determinar el porcentaje de la precipitación anual que se registra durante el periodo de ocurrencia de los ciclones que se acercaron a menos de 250 km de las costas de BCS. Los largos periodos de sequía de la región han permitido inferir una relación causa-efecto entre la presencia de los ciclones y la precipitación asociada que se registra en la península.

## 2. Los patrones de la precipitación anual

En el estudio general de la climatología de BCS, García y Mosiño (1968), han mostrado que el régimen de lluvia es de verano como la mayor parte del país, con un porcentaje de la lluvia invernal de 5 a 10 % con respecto al promedio anual. En contraste, hacia el extremo norte de la península, las precipitaciones estivales son casi nulas y las de invierno representan el 36% de la lluvia anual. La transición entre las dos regiones de lluvia se ha ejemplificado en la Fig. 1 para cuatro estaciones seleccionadas a lo largo de la porción sur de la península. El análisis se basó en los 20 años de registros

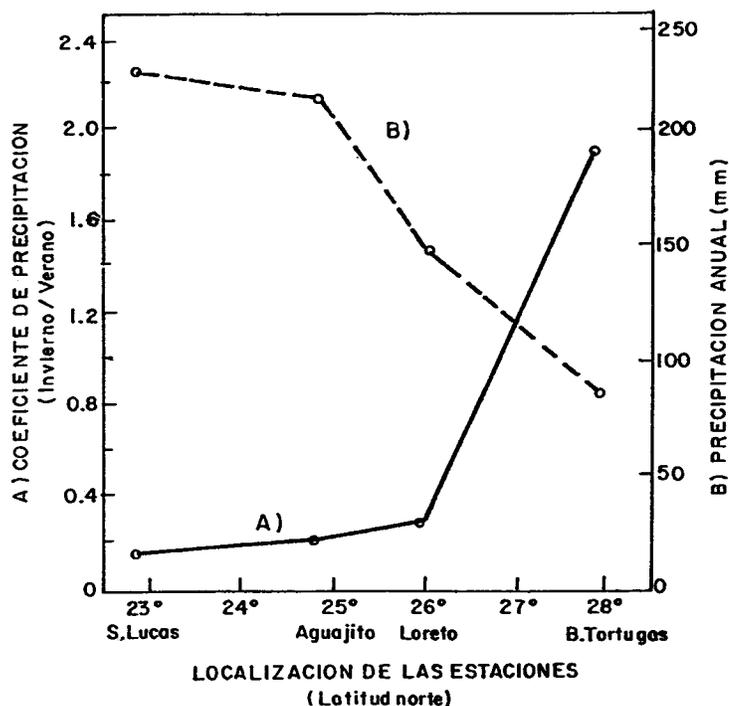


Fig. 1. A) Cociente de la precipitación acumulada en invierno con respecto a la de verano y B) la precipitación anual para 4 estaciones meteorológicas seleccionadas a lo largo de Baja California Sur. El análisis se basó en 20 años de registros de lluvia de 24 hrs. Los nombres de las estaciones y su localización aproximada aparecen en la abscisa.

de lluvia de 24 hrs. Los valores de la línea continua corresponden al cociente de la lluvia acumulada en invierno con respecto a la de verano. Se observa que en el extremo sur, en el paralelo 23°, la precipitación anual es predominantemente estival (con 80% verano, 14% invierno) mientras que en la parte norte de la región en estudio, en el paralelo 28° (con 28% verano, 55% invierno) ya se observa la transición hacia el régimen invernal. En la misma figura los valores de la precipitación anual, en la línea punteada, muestran que esta transición va acompañada de una marcada disminución de la precipitación anual, de 227.2 mm en el sur a 88.4 mm en el paralelo 28°.

Para tener una idea del comportamiento regional de la precipitación, se calculó el promedio aritmético de la lluvia diaria de las cuatro estaciones arriba mencionadas. Definida de esta forma la precipitación anual regional es de 173.3 mm, con el 71% de la precipitación registrada durante el verano y el 22% durante el invierno. Suponiendo una distribución simétrica, la desviación estándar de la precipitación anual es de  $\pm 86.7$  mm. Este tratamiento de los datos permite abordar un aspecto de particular interés para el presente trabajo, que es el análisis de la intensidad y duración de los periodos consecutivos con lluvia diaria en la región. Durante los 20 años analizados se obtuvo un total de 708 días con lluvia apreciable, o sea un promedio de 35.4 días al año, de los que el 65% corresponden al verano y el 26% al invierno. En el histograma de la Fig. 2 se puede apreciar que de los días con lluvia en verano, 328 días (71%) registraron lluvia apreciable con una intensidad menor que 5 mm al día y que contribuyeron al 20% de la precipitación total. Estos últimos valores están dados por los círculos en la Fig. 2. Al aumentar el rango de la intensidad de lluvia, el número de días se reduce considerablemente pero la contribución a la precipitación total se mantiene significativa con valores mayores o del orden de 10%. En el caso extremo, menos del 1% (3 días) de los días lluviosos, con una intensidad diaria mayor que 50 mm (131.9 mm/día en promedio), contribuyeron significativamente a la precipitación del verano, con más del 16% del total. Estas fuertes lluvias están por lo general asociadas a los ciclones, por lo que los resultados son en sí un indicio de la influencia de los ciclones en la precipitación anual en la región.

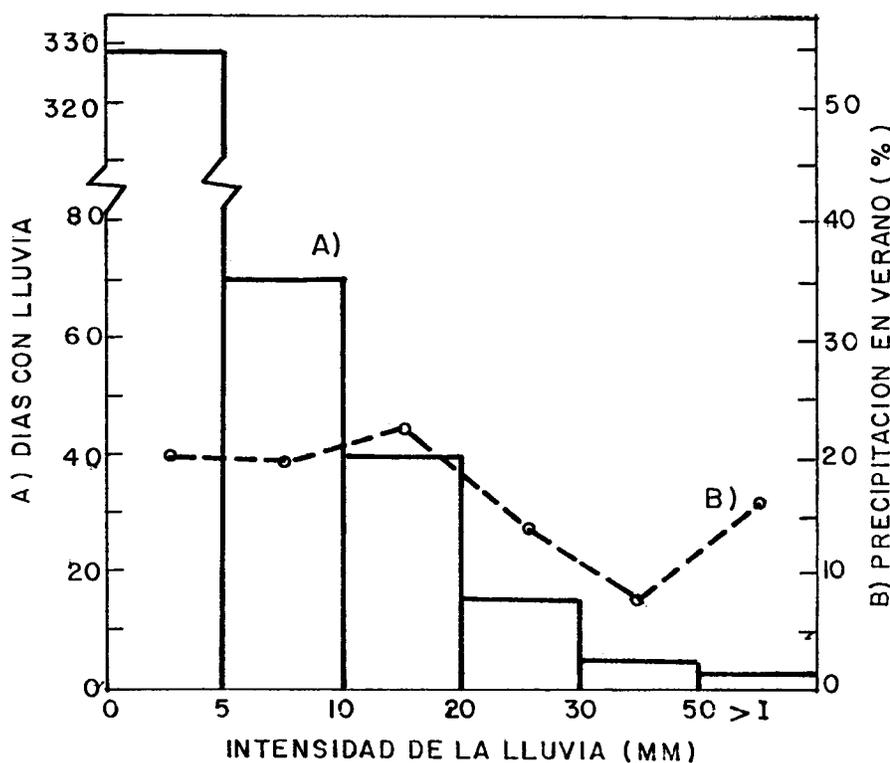


Fig. 2. A) Frecuencia de los días con lluvia y B) el porcentaje de la precipitación del verano en función de diversos rangos de intensidad de la lluvia para el promedio de la lluvia de las cuatro estaciones de la fig. 1.

Los días con lluvia durante el verano se presentaron en 269 periodos consecutivos con precipitación cuya duración se muestra en la Fig. 3. La mayoría de los periodos son de 1 y 2 días de duración (83 % de los casos), pero un número importante, 40 periodos (15%), duraron entre 3 y 5 días. Ningún periodo duró más de 10 días. Las condiciones extremas de sequía en BCS se pueden inferir de la Fig. 3 con los resultados de la frecuencia de ocurrencia de los periodos secos, formados por los días consecutivos sin lluvia que separan a los periodos con lluvia. Se observa que un número considerable de periodos secos, más del 40% de los casos, tienen una duración de más de 5 días sin lluvia y que hasta en el caso de más de 10 días sin lluvia su frecuencia es alta, con más del 22% de los casos.

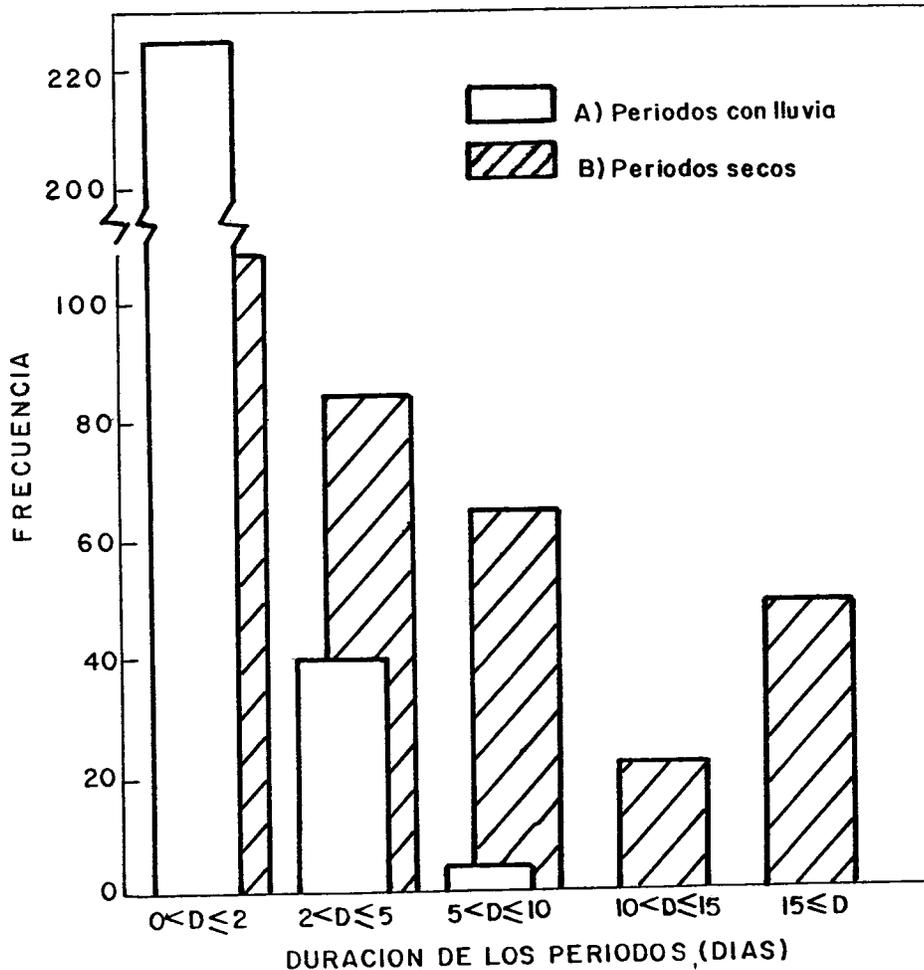


Fig. 3. Frecuencia de los periodos A) con lluvia y B) secos para el promedio de la lluvia de las cuatro estaciones de la Fig. 1.

### 3. Precipitación asociada a los ciclones

Profundizando en el análisis de la precipitación de la sección anterior se procederá aquí a evaluar la precipitación que se registró en BCS durante la presencia de ciclones en sus inmediaciones. Se parte de la suposición de que durante los días de actividad de los ciclones, éstos son responsables directos de la precipitación registrada en BCS. En todos los casos analizados, excepto en tres de ellos (2. "Orla", 7. "Emily" y 25. "Kathlean"), se encontró que previamente a la aparición de los ciclones existían

Cuadro 1

CLAVE	CICLON	INTEN- SIDAD	FECHA	AÑO	PRECIPITACION DU- RANTE LOS CICLONES	
					LAMINA (mm)	ANUAL%
1.	Diana	TT	17-19 ago	1960	35.0	19
2.	Orla	TT	6-11 sep	1962	8.4	5
3.	Claudia	TT	20-24 sep	1962	72.6	31
4.	Doreen	H	1-5 oct	1962	5.0	2
5.	Sylvia	TT	23-24 ago	1964	5.6	4
6.	Tillie	TT	7-10 sep	1964	21.5	15
7.	Emily	H	30 ago-4 sep	1965	18.1	9
8.	Hazel	TT	24-26 sep	1965	12.2	6
9.	Helga	H	9-15 sep	1966	31.5	21
10.	Kirsten	TT	26-29 sep	1966	18.1	12
11.	Katrina	H	30 ago-2 sep	1967	71.6	32
12.	Olivia	TT	6-14 oct	1967	30.0	13
13.	Hyacinth	TT	17-19 ago	1968	1.3	1
14.	Naomi	H	9-13 sep	1968	6.6	5
15.	Pauline	H	29 sep-3 oct	1968	12.5	9
16.	Emily	H	22-25 ago	1969	4.9	5
17.	Florence	H	2-7 sep	1969	1.7	2
18.	Glenda	H	9-12 sep	1969	3.7	4
19.	Helga	TT	16-20 jul	1970	9.3	8
20.	Katrina	TT	8-12 ago	1971	28.2	18
21.	Mónica	D	29 ago-4 sep	1971	12.4	9
22.	Olivia	TT	20-30 sep	1971	3.9	3
23.	Joanne	H	29 sep-6 oct	1972	32.0	11
24.	Irah	H	21-26 sep	1973	46.0	32
25.	Kathlean	H	7-10 sep	1976	28.9	11
26.	Lisa	H	25 sep-1 oct	1976	50.2	18
27.	Doreen	H	13-18 ago	1977	83.2	55
28.	Heather	H	4-7 oct	1977	20.5	14
29.	Paul	TT	23-26 sep	1978	45.8	23
30.	Rosa	TT	2-7 oct	1978	3.5	2

Cuadro 1. Ciclones que se acercaron a menos de 250 km de la costa de Baja California Sur durante 1960-1979. La intensidad máxima alcanzada dentro de este radio se clasifica según Denney, 1972, en H: Huracán, TT: Tormenta Tropical y D: Depresión Tropical. En la precipitación durante los ciclones, la columna "Lámina (mm)" corresponde al promedio de lluvia de todas las estaciones de la región, y la columna "ANUAL %" es el porcentaje que resulta de esta precipitación cuando se compara con la precipitación anual de la región.

condiciones de sequía, caracterizados por registros nulos de lluvia, o cuando más, con lluvias aisladas de baja intensidad. En general, la presencia de los ciclones se manifestó por un claro aumento en el número de estaciones que registraban lluvia y por su mayor intensidad que tendía a disminuir dentro de los siguientes 3 días. Para el presente análisis se utilizaron los datos de lluvia diaria de los 20 años señalados anteriormente, proveniente de prácticamente, la totalidad de las estaciones meteorológicas (49) de la región. La información de las trayectorias de los ciclones para el periodo 1960 a 1967 se obtuvo de los datos publicados por el Servicio Meteorológico Nacional de México, SARH (1981) y el resto de las trayectorias se tomaron de los análisis detallados publicados anualmente en el Monthly Weather Review (Denney, 1969, 1971, 1972; Baum, 1970, 1973, 1974, 1975 y 1976; Gunther, 1977, 1978, 1979 y 1980).

Los periodos de aparición y la intensidad máxima alcanzada por los ciclones en la vecindad de las costas de BCS se proporcionan en el cuadro 1, y las trayectorias acumuladas se muestran en las Figs. 4A-C. En total fueron 30 los ciclones (un promedio de 1.5 ciclones por año) que en algún punto de su trayectoria se acercaron a unos 250 km de las costas de BCS. Aproximadamente 13 de los

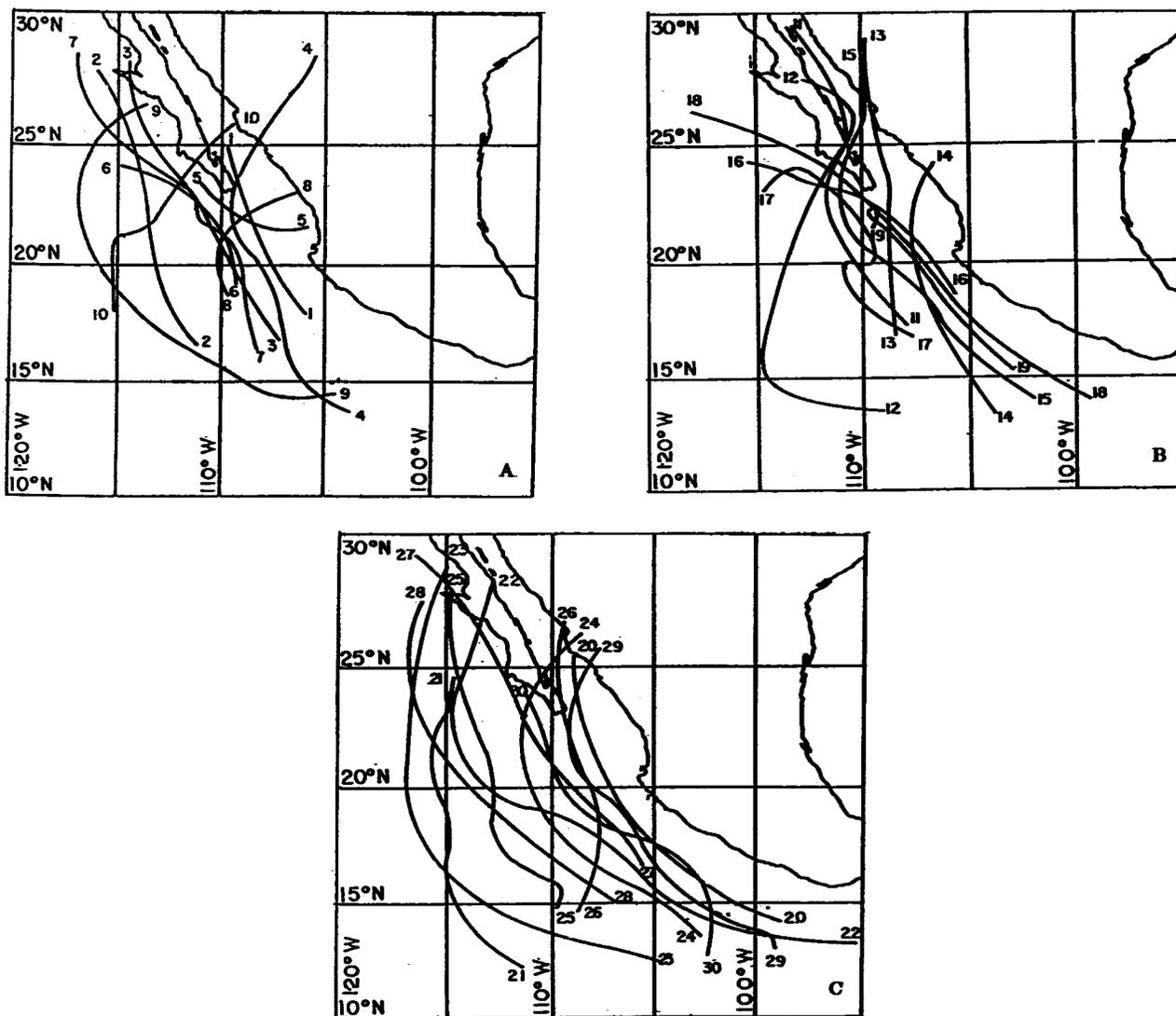


Fig. 4. Trayectorias de los ciclones que se aproximaron a Baja California Sur durante A) 1960-1966, B) 1967-1970 y C) 1971-1979. La clave de los ciclones corresponde a la clave proporcionada en el Cuadro 1.

ciclones (promedio de 0.65 ciclones por año) tocaron cuando menos las costas del territorio y 5 de ellos, marcados con las claves 10, 11, 12, 15 y 24 en la Fig. 4, se internaron tierra adentro causando lluvias abundantes y bien definidas a lo largo de su trayectoria, como se puede observar en los casos de los ciclones 11. "Katrina" y 24. "Irah" en la Fig. 5. Las isolíneas en las figuras anteriores corresponden a la precipitación acumulada durante el periodo en que se presentó cada ciclón y su trazo se realizó independientemente de las trayectorias para evitar cualquier ajuste de tipo subjetivo. La precipitación acumulada en cada caso y el porcentaje de la precipitación anual que representa, se proporcionan en las dos columnas de la derecha en el cuadro 1. Se puede observar en el cuadro 1 que la precipitación promedio en la región durante los dos ciclones de la Fig. 5, fue de 72 y 46 mm respectivamente, que corresponde al 32% de la precipitación anual en ambos casos.

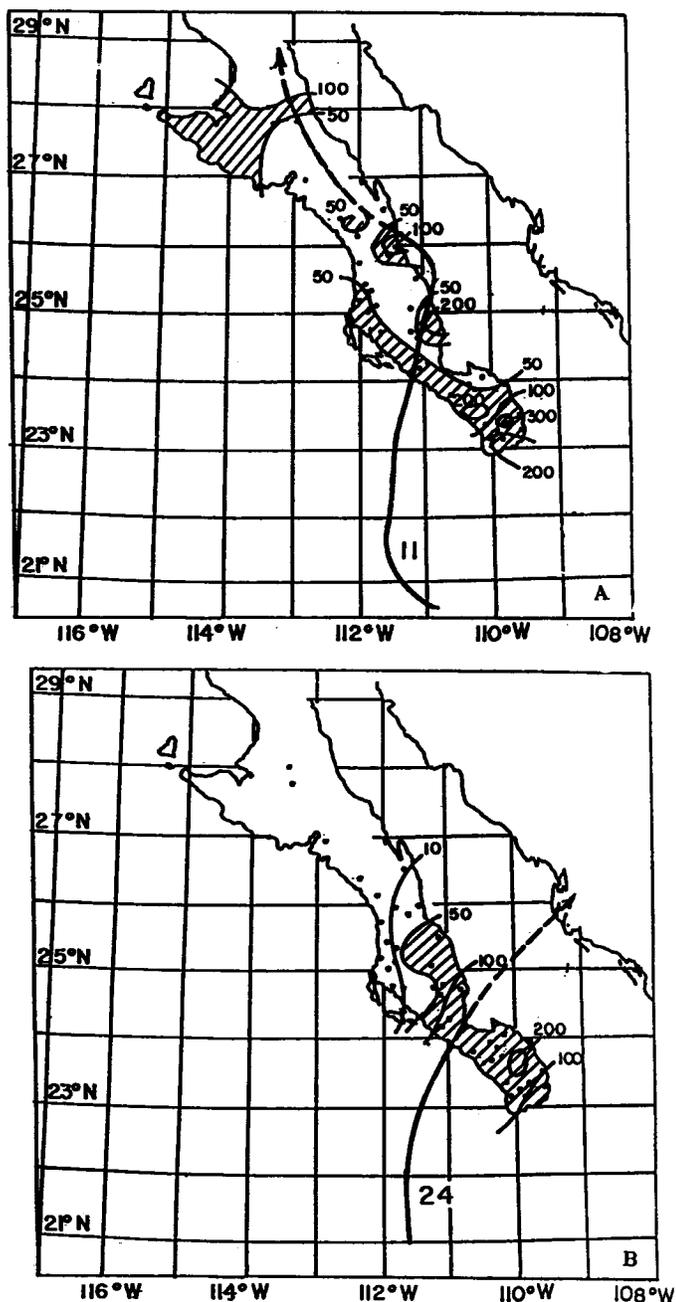


Fig. 5. Trayectoria de los ciclones A) 11. "Katrina" y B) 24. "Irah". Las isólnneas corresponden a la precipitación acumulada (mm) durante el periodo de actividad del ciclón. En las trayectorias se han representado los estados del ciclón: Huracán con línea continua, Tormenta Tropical con línea punteada y Depresión Tropical con cruces. Los puntos en el territorio representan a las estaciones climatológicas utilizadas en el estudio.

Otro grupo de ciclones que tuvo gran importancia para la precipitación de la región fue el de los ciclones que se desplazaron paralelos y cercanos a la costa de BCS. En este grupo se encuentran cinco ciclones cuyas trayectorias se pueden observar en la Fig. 4 con las claves 3, 7, 18, 25 y 27. Las lluvias asociadas a los dos ciclones más importantes de este grupo, 3. "Claudia" y 27. "Doreen", se muestran en la Fig. 6. Sus precipitaciones promedio en la región fueron de 73 y 83 mm, que representaron el 31% y el 55% de la precipitación anual, además de encontrarse algunos máximos locales con precipitación mayor a los 200 mm. El ciclón 27. "Doreen" fue el que aportó mayor precipitación de los 30 ciclones estudiados.

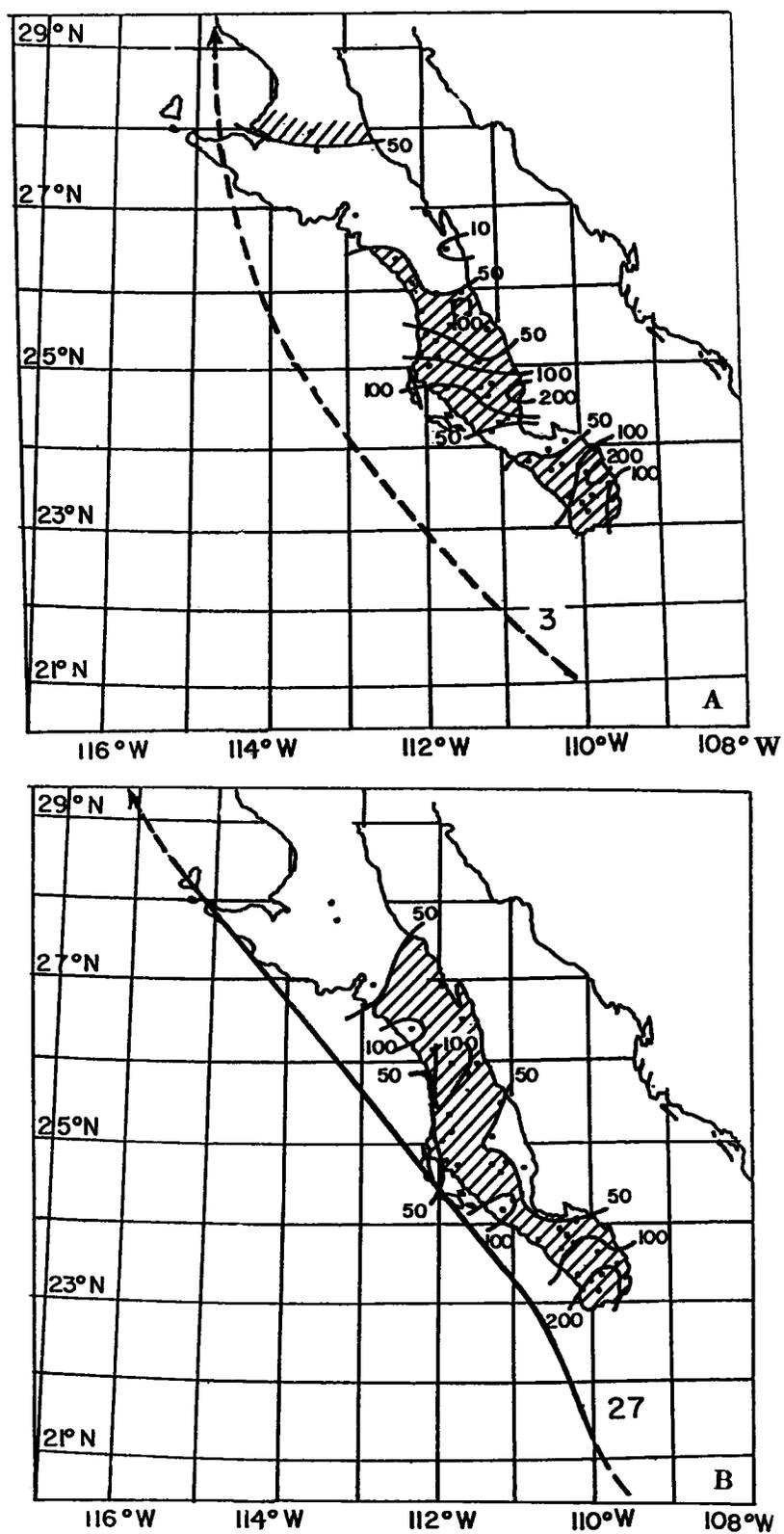


Fig. 6. Trayectorias de los ciclones A) 3. "Claudia" 1962 y B) 27. "Doreen". La simbología es igual a la Fig. 5.

De los ciclones que se acercaron a la costa sin que aparentemente penetraran en el territorio, se encontraron ciclones que provocaron precipitaciones abundantes en su vecindad, como el del ejemplo de 26. "Liza", en la Fig. 7A, y aquellos con precipitaciones escasas como 30. "Rosa" en la Fig. 7B. En estos dos casos la precipitación acumulada fue de 50 y 4 mm respectivamente, represen-

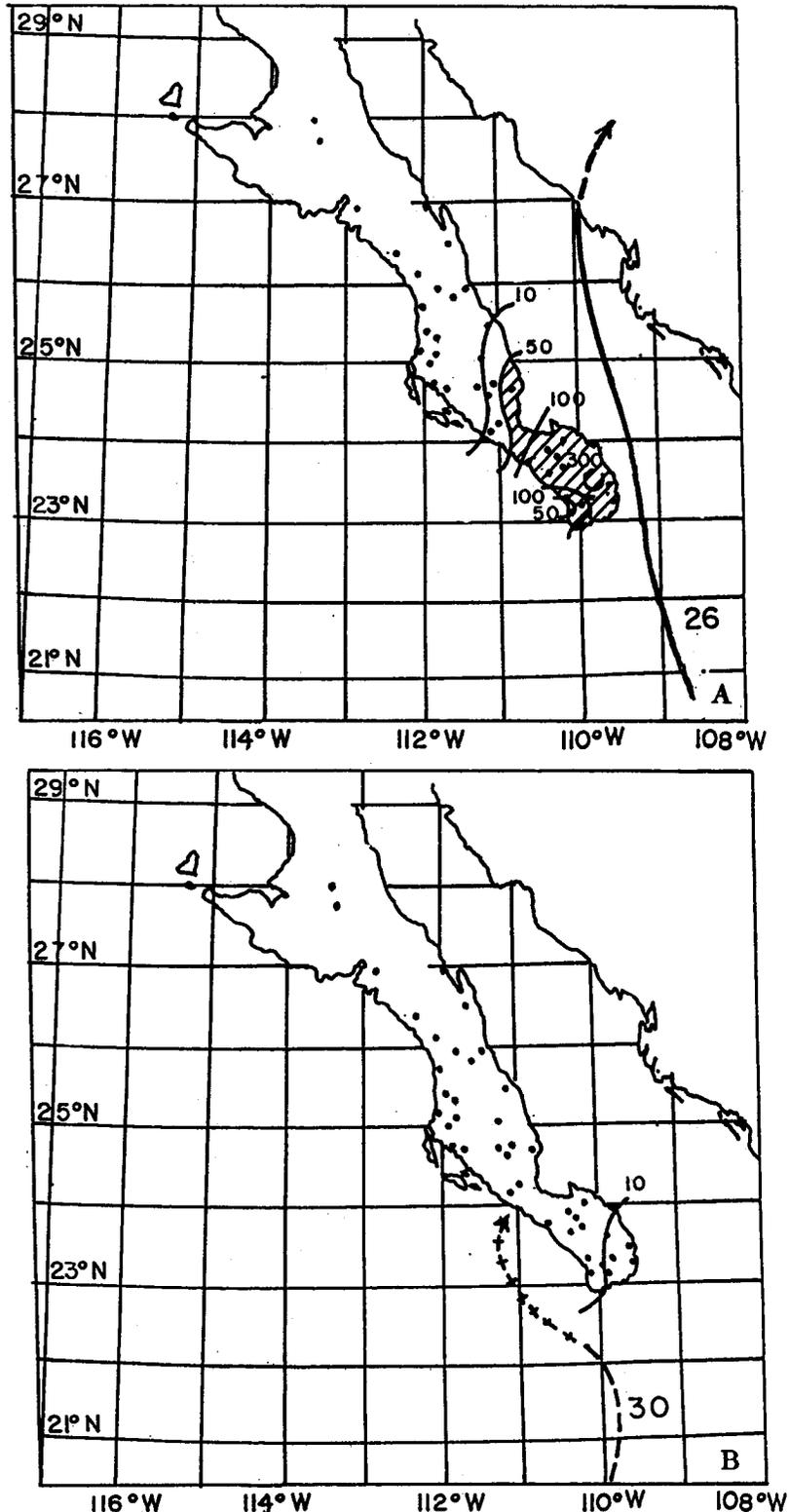


Fig. 7. Trayectoria de los ciclones A) 26. "Liza" y B) 30. "Rosa". La simbología es igual a la Fig. 5.

tando un porcentaje del 18 y 2% de la anual. Debe notarse que en el caso de "Liza" se produjeron precipitaciones locales mayores a los 300 mm.

En todos los casos estudiados, excepto en 3 se aprecia una relación directa entre las trayectorias de los ciclones y las áreas con mayor precipitación en sus alrededores. En la Fig. 8 se exponen 2

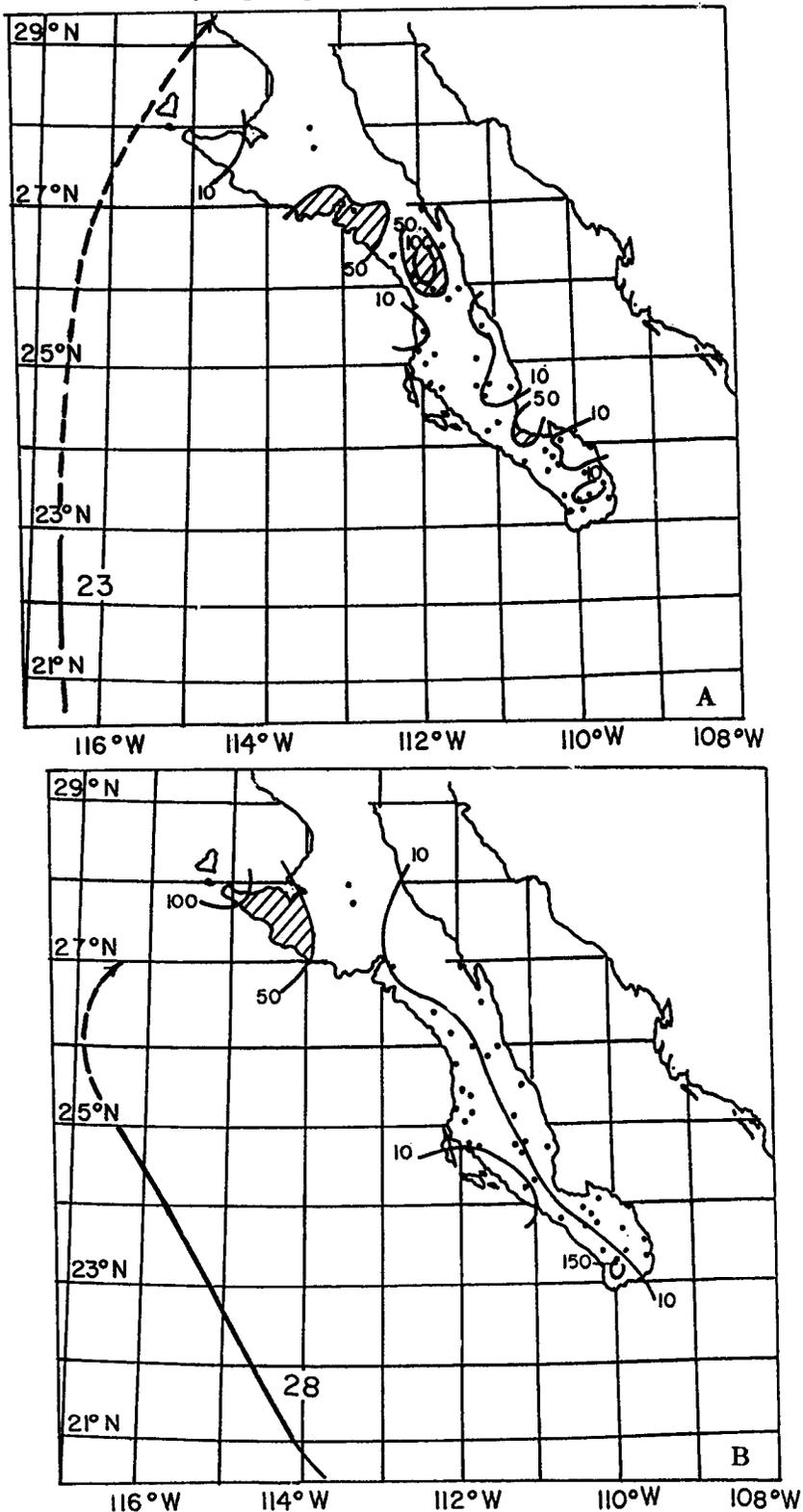


Fig. 8. Trayectoria de los ciclones A) 23. "Joanne" y B) 28. "Heather". La simbología es igual a la Fig. 5.

casos en que la relación causa-efecto no se cumple satisfactoriamente. En parte, esto puede deberse a la imprecisión en el trazo de la trayectoria del ciclón, o a que la región estaba siendo afectada por otro tipo de evento meteorológico.

En la Fig. 9 se puede observar que la variación anual de la precipitación total en BCS, se comporta, en gran medida, en forma independiente de la variación de la precipitación acumulada anualmente durante los ciclones. El coeficiente de correlación para estos valores es sólo  $\rho = 0.34$ . Sin embargo se nota en los años de baja precipitación anual, cierta correlación con la precipitación asociada a los ciclones, como en el periodo 1968 a 1971. Solamente en los años 1962 y 1967 los máximos coinciden, pero por otro lado algunos máximos relativos de la precipitación anual, como en 1963, 1974 y 1979, ocurren aún cuando los ciclones no contribuyeron aparentemente a la precipitación de la región. Para los 20 años analizados en este trabajo, la precipitación anual promedio fue de  $179 \pm 50$  mm y se encontró que los ciclones aportaron el 20% de la precipitación anual y el 28% de la precipitación del verano. Las contribuciones más importantes ocurrieron en 1967 y 1977 cuando la precipitación de los ciclones representó el 45 y 69% de la precipitación anual respectivamente.

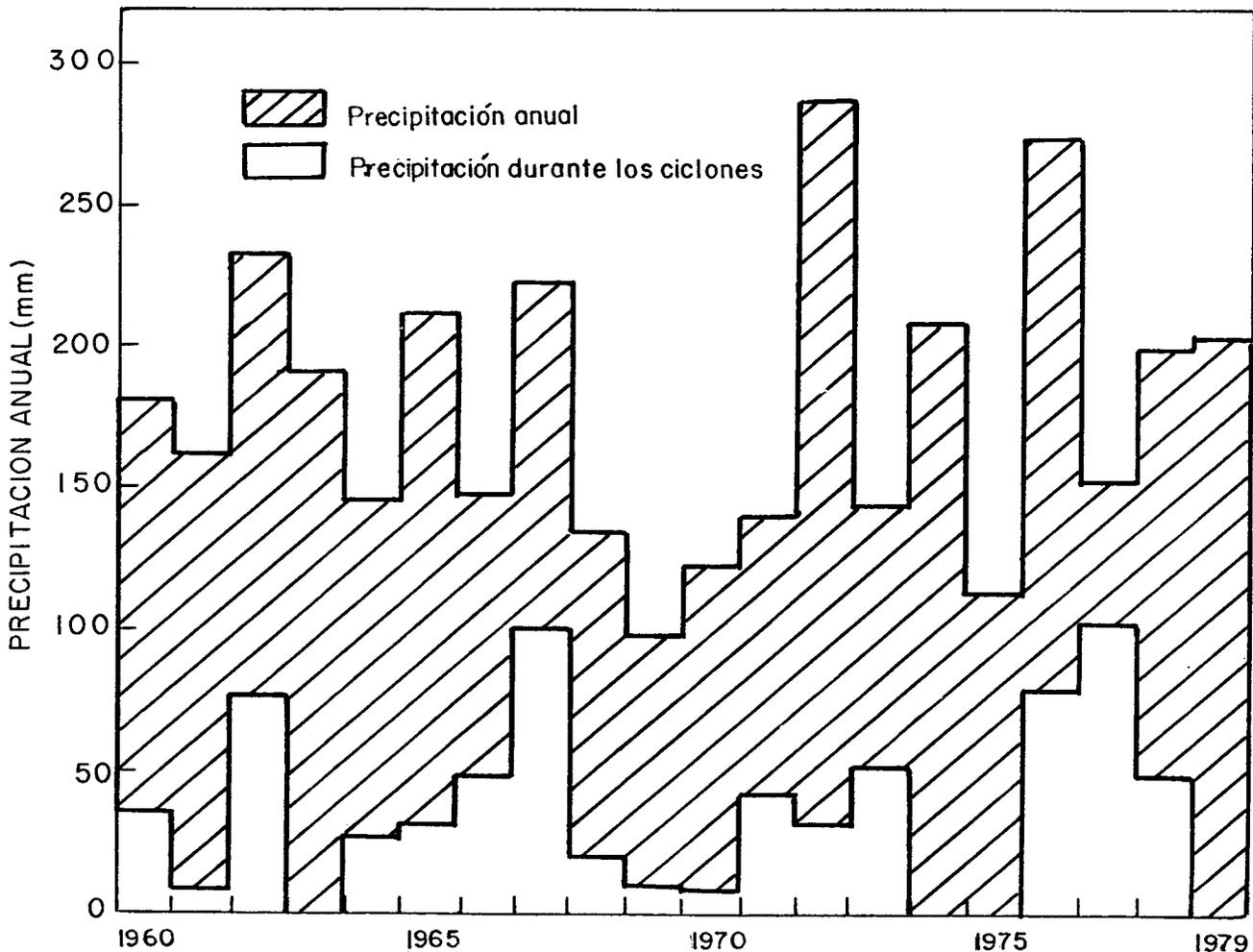


Fig. 9. El área con líneas paralelas representa la precipitación anual en Baja California Sur y el área complementaria representa la precipitación anual durante los ciclones que se acercaron a sus costas durante el periodo 1960-1979.

#### 4. Conclusiones

Los resultados de este trabajo han concordado con otros estudios (Mosiño y García, 1974) en que la precipitación anual de Baja California Sur es baja, con un promedio del orden de  $179 \pm 50$  mm y con un régimen de lluvia claramente estival en donde el 80% de la precipitación anual se registra en verano. El análisis de los datos de lluvia diaria mostró claramente las condiciones meteorológicas extremas de la región. Se registraron en promedio solamente 35.4 días lluviosos al año, de los cuales el 71% tiene una intensidad menor de 5 mm al día y contribuyen al 20% de la precipitación total. En el otro extremo, se evidenció que los días de alta intensidad de lluvia mayores que 50 mm, a pesar de que son menos que el 1% de los días lluviosos, contribuyen considerablemente, con más del 16%, a la precipitación anual. También se mostró que el 85% de las tormentas son de 1 ó 2 días de duración y que están separados por periodos secos, que en el 40% de los casos son de más de 5 días de duración.

Se determinó que en promedio 1.5 ciclones se acercan cada año a menos de 250 km de sus costas, y que 0.65 ciclones llegan anualmente al territorio. Si los 20 años aquí analizados son representativos del comportamiento general de la precipitación en la región, los ciclones tienen una contribución módica a la lluvia anual ya que es del orden del 20% del total. Reforzando lo anterior se mostró que la variación de la lluvia anual sigue un patrón diferente, en términos generales, a las variaciones de la lluvia acumulada aportada anualmente durante los periodos de ciclones; incluso en 3 de los años, cuando no hubo aportación aparente de los ciclones, se obtuvieron máximos relativos en la lluvia anual. Lo anterior no excluye que la contribución de los ciclones a la recarga de los acuíferos podría ser aun significativa en algunos años, como en 1967 y 1977 cuando la precipitación durante los ciclones representó el 45 y el 69% de la precipitación anual respectivamente. Asimismo, la aportación de los ciclones a la recarga podría ser importante localmente, pues se mostró que durante varios de los ciclones se encontraron máximos locales en los que la precipitación sobrepasa el valor del promedio de la lluvia anual.

#### Reconocimientos

Agradecemos al Ing. P. A. Mosiño, Met. José Arroyo y al M. en C. Alfonso Estrada sus comentarios y sugerencias para mejorar el presente trabajo. Los datos de lluvia fueron proporcionados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México, a través del Servicio Meteorológico Nacional y de la Dirección de Hidrología. Parte del presente trabajo se realizó en el extinto Grupo de Física, que ahora forma parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, S. A. R. H.

#### REFERENCES

- Baum, R. A., 1970. Eastern Pacific Hurricane Season 1969. *Month. Wea. Rev.* **98**, No. 4, 280-292.
- Baum, R. A., 1973. Eastern North Hurricane Season 1972. *Month. Wea. Rev.* **101**, No. 4, 339-349.
- Baum, R. A., 1974. Eastern North Pacific Hurricane Season of 1973. *Month. Wea. Rev.* **102**, No. 4, 296-306.
- Baum, R. A., 1975. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1974. Part I. *Month. Wea. Rev.* **103**, No. 4, 301-304.
- Baum, R. A., 1976. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1975. *Month. Wea. Rev.* **104**, No. 4, 475-488.

- Denney, W. J., 1969. Eastern Pacific Hurricane Season 1968. *Month. Wea. Rev.* **97**, No. 3, 207-224.
- Denney, W. J., 1971. Eastern Pacific Hurricane Season 1970. *Month. Wea. Rev.* **99**, No. 4, 286-301.
- Denney, W. J., 1972. Eastern Pacific Hurricane Season 1971. *Month. Wea. Rev.* **100**, No. 4, 276-293
- García, E. y P. A. Mosiño, 1968. Los Climas de Baja California. Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-1967. Instituto de Geofísica, UNAM, 29-57.
- Gunther, E. B., 1977. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1976. *Month. Wea. Rev.* **105**, No. 4, 508-552.
- Gunther, E. B., 1978. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1977. *Month. Wea. Rev.* **106**, No. 4, 546-558.
- Gunther, E. B., 1979. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1978. *Month. Wea. Rev.* **107**, No. 7, 911-927.
- Gunther, E. B., 1980. Eastern North Pacific Tropical Cyclones 1979. *Month. Wea. Rev.* **108**. No. 5, 631-641.
- Mosiño, P. A. y E. García, 1974. "The Climate of Mexico". Chap. 4 of *Climates of North America*, R. A. Bryson y F. K. Hare (Ed), Elsevier Sci. Pub. Co., 345-391.
- Serra C., S., 1971. Hurricanes and Tropical Storms of the West Coast of Mexico. *Month. Wea. Rev.* **99**, No. 4, 302-308.
1981. "Trayectorias Ciclónicas 1960-1980". Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional, SARH, México.