

Distribución estacional de lluvias en Baja California, México. Análisis de probabilidades

ALAIN M. WALKOWIAK

Laboratorio de Ecología Terrestre; CICESE, Apdo. Postal 2732, Ensenada, B. C., México, C. P. 22830, MEXICO

ELENA SOLANA

Grupo de Ecología Matemática, CICESE, Apdo. Postal 2732, Ensenada, B. C., México, C. P. 22830, MEXICO

(Manuscript received April 20, 1989; accepted in final form July 12, 1989)

RESUMEN

Con base en un análisis de probabilidades, se analizan 5 estaciones meteorológicas en la península de Baja California. Se propone un método sencillo para caracterizar regiones geográficas con una elevada variabilidad interanual en sus regímenes pluviales. Los resultados concuerdan con las descripciones anteriores pero añaden valiosa información en términos de gradientes de impredecibilidad climática.

ABSTRACT

Rainfall probability data from five meteorological stations in the peninsula of Baja California were analyzed. A simple method for characterizing geographical regions with a high interannual variability in the rainfall is proposed in this paper. The results agree with previous descriptions but also add valuable information in terms of gradients of climatic unpredictability.

Introducción

La península de Baja California, situada en el extremo noroeste de la república de México, se extiende de norte a sur aproximadamente 1,400 km entre los 32° 30' y los 22° 50' de latitud norte. Su ancho varía entre los 45 y 200 km dando una superficie aproximada de 143,600 km².

Hastings & Turner (1965), señalan que debido a su posición geográfica, la península queda bajo la influencia de 4 grandes regímenes climáticos, pero sin que ninguno de ellos domine totalmente.

Aunque la complejidad en el régimen estacional de precipitaciones dificulta el análisis y la comprensión de la climatología, ésta puede ser reducida, si tomamos en cuenta que básicamente los períodos de lluvias se concentran en dos estaciones del año: invierno y verano.

Varios autores (Hastings & Turner, 1965; García y Mosiño, 1968; Rojo, 1985) han hecho referencia a la distribución estacional de las precipitaciones. En términos generales, la vertiente occidental de la península y sobre todo, el extremo noroeste, concentra la mayor parte de las precipitaciones durante el invierno. Por otro lado, la influencia de eventos de tipo tropical (dada por lluvias de verano) tiene su mayor importancia en el extremo sur, disminuyendo hacia el norte, manifestándose principalmente sobre la costa del golfo de California. En resumen, nos encontramos entonces, con una región en la cual limitan su influencia un sistema de lluvias de tipo mediterráneo (invernales) y otro sistema de lluvias de origen tropical (estivales).

Alrededor de un 70% de la península ha sido considerada como árida (Shreve & Wiggins, 1964), sin embargo, los estimadores utilizados para analizar los regímenes pluviales muestran un alto grado de variabilidad, lo cual dificulta su caracterización.

En su revisión sobre variabilidad espacio-temporal de las lluvias en ecosistemas áridos, Noy Meir (1973) señala la necesidad de suplementar el uso de medias mensuales y anuales en regiones áridas, con tablas de probabilidades de diversas cantidades de precipitaciones en diferentes períodos del año. Las funciones más usadas han sido la "Gamma incompleta" (Barger & Thom, 1949; Ramírez, 1971) y la "Poisson-Geométrica" (Fogel & Duckstein, 1969).

Nuestro objetivo es proporcionar un método sencillo de cálculo para estimar la probabilidad de ocurrencia de una determinada cantidad de precipitación pluvial en un período dado. Además, estas probabilidades pueden ser graficadas en un diagrama tridimensional con el fin de facilitar su comprensión.

Material y método

Se analizaron los registros de precipitación pluvial (29 años de registro; período 1957 - 1985) provenientes de 25 estaciones meteorológicas ubicadas en la península de Baja California y en el estado de Sonora. Se seleccionaron 5 estaciones representativas para este análisis, cuya ubicación geográfica se muestra en la Fig. 1. Presa Rodríguez se encuentra en el extremo noroeste de la península, cerca de

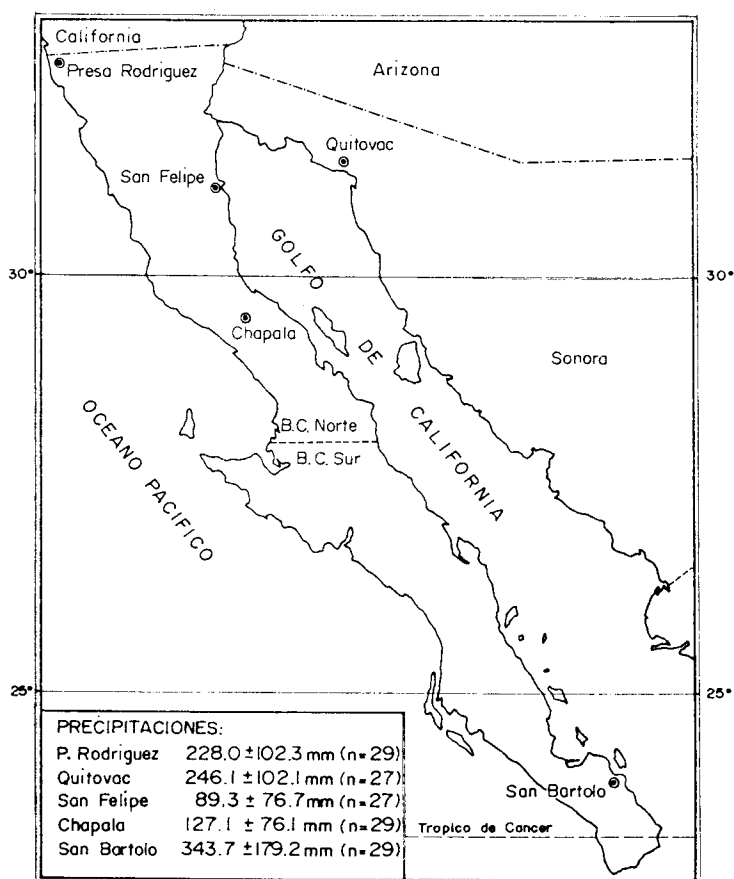
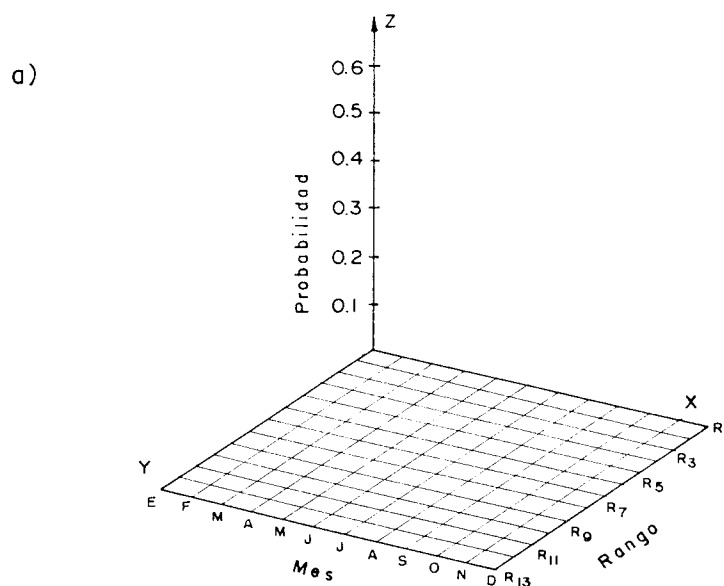


Fig. 1. Mapa de la península de Baja California. Se indican las 5 estaciones meteorológicas analizadas.

la costa; Chapala, en el extremo norte de la región de Vizcaíno, en el centro entre ambas costas; San Bartolo se encuentra en el extremo sur, cerca del Trópico de Cáncer; San Felipe se ubica en la costa del Golfo de California, sobre la costa oriental de la península; Quitovac, en el estado de Sonora, en la costa del golfo de California.

Para cada estación meteorológica se ordenan sus registros mensuales de precipitación para determinar su distribución de frecuencia. Estas frecuencias se transforman en probabilidades de ocurrencia y se acomodan en un sistema tridimensional, donde el eje X representa los meses del año, el eje Y la probabilidad de ocurrencia y el eje Z, los rangos de precipitación (Fig. 2).



b)

| RANGO | CANTIDAD (mm) |
|-----------------|---------------|
| R ₀ | no lluvia |
| R ₁ | > 0 - 10 |
| R ₂ | >10 - 20 |
| R ₃ | >20 - 30 |
| R ₄ | >30 - 40 |
| R ₅ | >40 - 50 |
| R ₆ | >50 - 60 |
| R ₇ | >60 - 70 |
| R ₈ | >70 - 80 |
| R ₉ | >80 - 90 |
| R ₁₀ | >90 - 100 |
| R ₁₁ | >100 - 300 |
| R ₁₂ | >300 - 600 |
| R ₁₃ | >600 |

Fig. 2. a) Esquema tridimensional para los diagramas climáticos. Eje X = meses del año; Eje Y = rangos de precipitación pluvial; Eje Z = probabilidad de ocurrencia de lluvias. b) Rangos de lluvias establecidos para la península de Baja California.

Se define:

M_i^j = el evento de lluvia del mes i en el rango J

M_i^T = número total de meses i en el registro

donde $i = 1, 2, \dots, 12$ (número de meses del año)

$J = 0, 1, \dots, k$ (número de rangos definidos)

$$P(M_i^j) = \frac{\text{número de meses en el registro con lluvias en el rango } J}{\text{número total de meses } i \text{ en el registro}}$$

o lo que es igual, $P(M_i^j) = \frac{M_i^j}{M_i^T}$,

i.e., la probabilidad de lluvia del mes i en el rango J .

Esto nos permite conocer también el rango más frecuente donde se concentran las precipitaciones pluviales para un mes i determinado.

De igual modo definimos:

$P(M_i^0)$ = probabilidad que el mes i no presente lluvias.

Asimismo se define:

$$P(M) = \sum_{j=1}^k P(M_i^j);$$

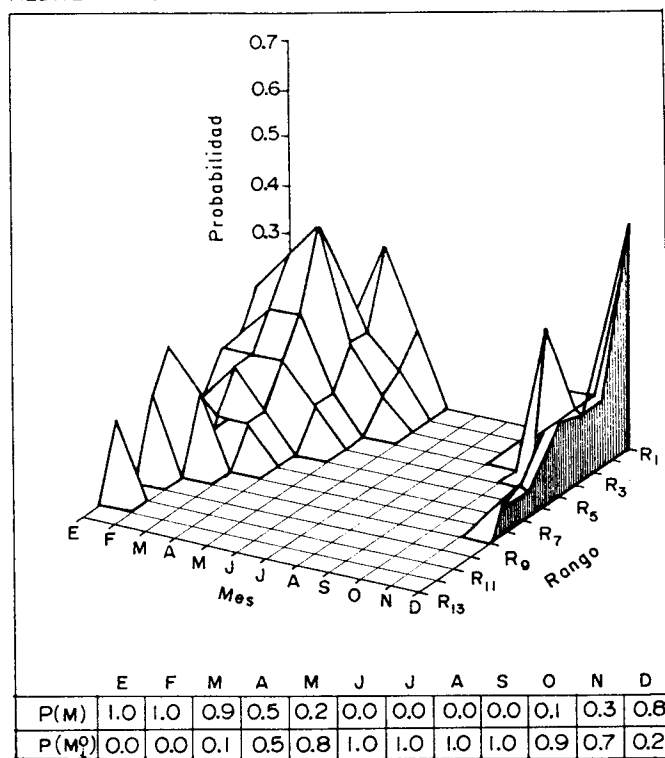
nótese que

$$\sum_{j=1}^{13} P(M_i^j) + P(M_i^0) = 1$$

Esto nos permite determinar el grado de predictibilidad de ocurrencia total de lluvias en un mes i determinado, así como sus variaciones en las diferentes estaciones del año.

Como un ejemplo para visualizar la eficacia del método propuesto, la Fig. 3 muestra dos situaciones climáticas con distribuciones teóricas en sus precipitaciones (los datos son irreales y el objetivo es acrecentar algunas tendencias en los períodos de las precipitaciones). La Fig. 3a muestra un clima mediterráneo en el cual se agruparon las lluvias en los meses de invierno, acentuando la sequía de verano, mientras que la Fig. 3b muestra un clima tropical, con las lluvias concentradas en verano.

a) MEDITERRANEO TEORICO



b) TROPICAL TEORICO

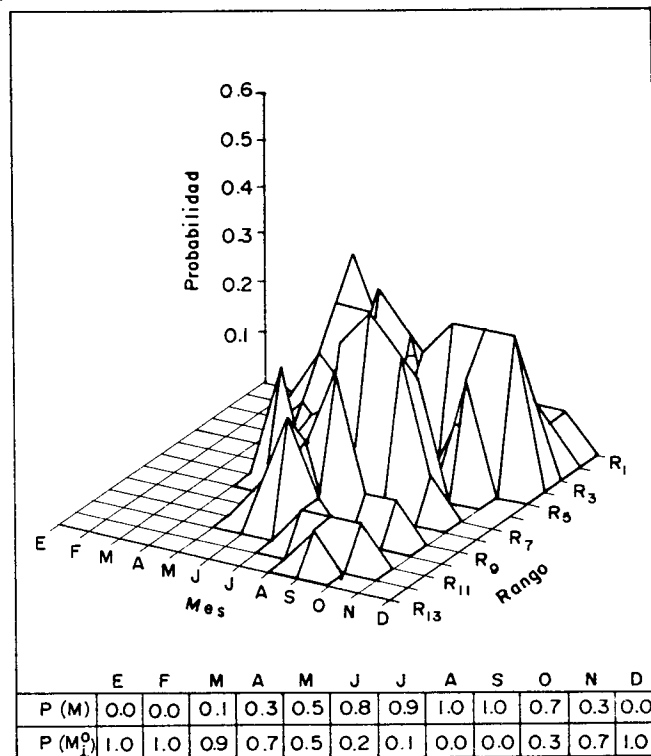


Fig. 3. Diagramas tridimensionales teóricos que caracterizan 2 regímenes pluviales. a) Simulación de un régimen de tipo mediterráneo. b) Simulación de un régimen de tipo tropical.

Resultados

La Fig. 1 muestra la ubicación geográfica de las 5 estaciones analizadas, señalando también los valores medios anuales de precipitación. Puede observarse la elevada variabilidad interanual. Los diagramas de probabilidad para las diferentes estaciones se muestran en la Fig. 4.

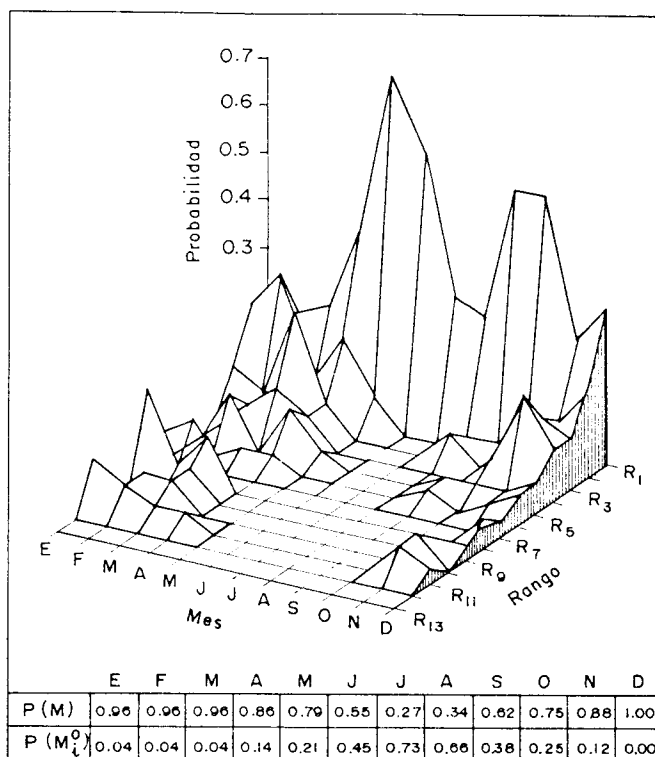
Presa Rodríguez (Fig. 4a). La distribución de $P(M)$ muestra los valores más altos (cerca de 1) durante los meses fríos. Durante los meses cálidos, los valores descienden, siendo el mes de julio el que muestra la probabilidad más baja.

La distribución de $P(M_i^j)$ para los meses de invierno abarca todos los rangos de precipitación, señalando la posibilidad de lluvias significativas entre los meses de octubre a marzo. Para los meses cálidos, la composición de los $P(M_i^j)$ está dada básicamente por valores obtenidos en los rangos inferiores de precipitación. Durante este período, las probabilidades de lluvias en los rangos mayores de 10 mm/mes, son nulas.

Chapala (Fig. 4b). En general, la distribución de los valores de $P(M)$ sigue una tendencia similar a la que se observa en Presa Rodríguez en cuanto a la ubicación de los valores más altos durante los meses de invierno, mientras que en el verano, éstos descienden significativamente. La distribución de los $P(M_i^j)$ para los meses de invierno muestra una repartición en casi todos los rangos, concentrándose en los menores. Durante el verano, la probabilidad de lluvias en los rangos mayores es significativa, aunque, cabe hacer notar que durante el mes de junio el valor de $P(M)$ es cero.

San Bartolo (Fig. 4c). El diagrama muestra una distribución de $P(M)$ en la cual los valores más altos se encuentran a fines del verano y comienzos del otoño, mientras que durante la primavera estos valores descienden significativamente.

a) PRESA RODRIGUEZ



b) CHAPALA

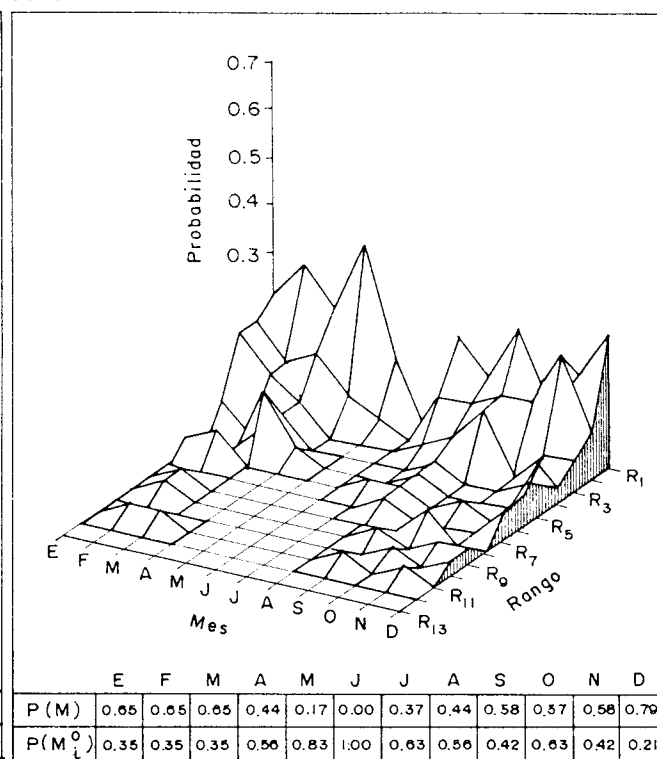


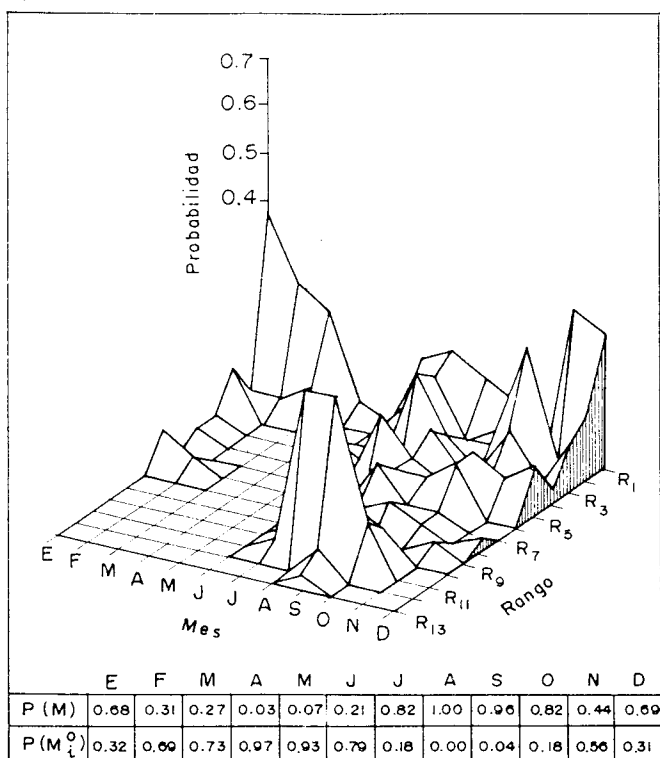
Fig. 4. Diagramas climáticos con las 5 estaciones analizadas. a) Presa Rodríguez. b) Chapala. c) San Bartolo. d) San Felipe. e) Quitovac.

La distribución de $P(M_i^j)$ para los meses cálidos abarca todos los rangos de precipitación, acentuándose entre 100-300 mm/mes. Durante el invierno, los valores de $P(M_i^j)$ se concentran en los rangos inferiores.

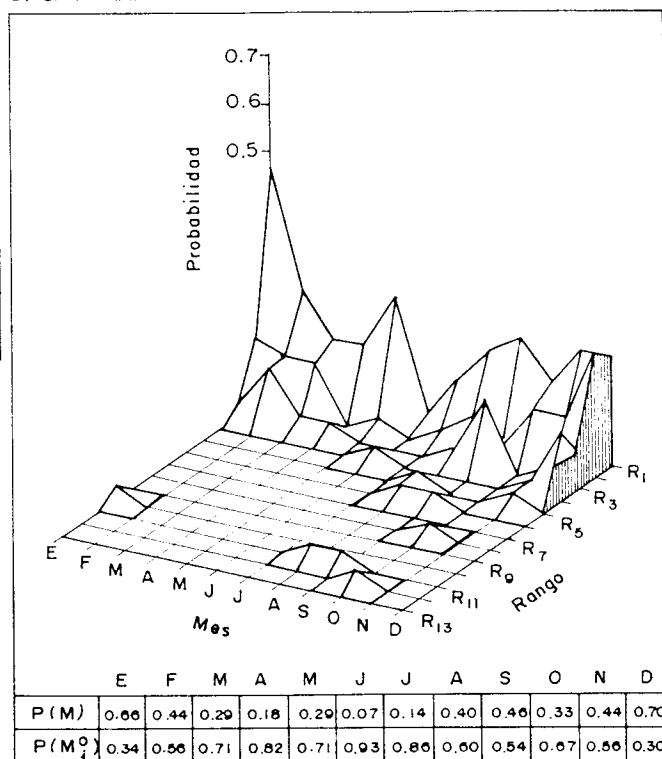
Quitovac (Fig. 4d). Se observa una bimodalidad en la distribución de $P(M)$, siendo mayor la moda en verano que en invierno. Cabe señalar eso sí, que durante el verano existen probabilidades de lluvias de 100-200 mm/mes, lo cual no ocurre durante el invierno.

San Felipe (Fig. 4e). Los valores de $P(M_i^j)$ son bajos durante todo el año, con un leve aumento durante los meses de invierno. Existen probabilidades, $P = (0.06)$ de recibir precipitaciones fuertes (100-200 mm/mes) durante fines del verano y comienzos del otoño; aunque, en general, los valores de $P(M)$ se concentran en los rangos inferiores para todos los meses del año.

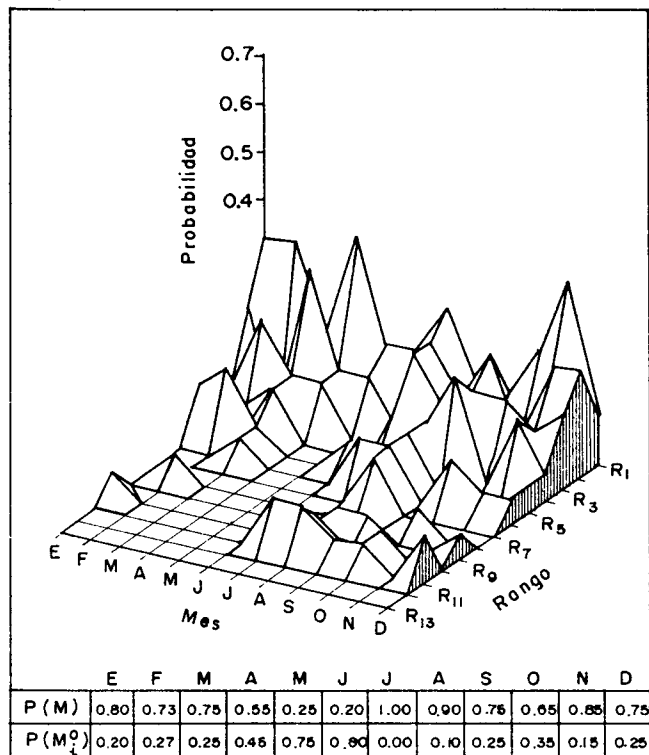
c) SAN BARTOLO



d) SAN FELIPE



e) QUITOVAC



Discusión

Los resultados obtenidos mediante el análisis de los diagramas en las 5 estaciones meteorológicas concuerdan con los que han sido publicados en relación a la condición estacional de las precipitaciones para esta región norteamericana (Hastings & Turner, 1965; Mac Mahon & Wagner, 1981).

La influencia mediterránea, definida en sus términos más simples y con base en el parámetro aquí utilizado, aparece claramente en la estación de Presa Rodríguez y en menor grado en Chapala. Se puede observar la concentración del período de lluvias durante el invierno, así como la sequía durante la época estival. La comparación de ambos diagramas de la Fig. 3a muestra esta similitud y la tendencia de tipo mediterráneo.

El régimen de lluvias que muestra la estación de San Bartolo se asemeja al diagrama de la Fig. 3b, donde se simula un clima con lluvias de tipo tropical, en el cual el período de lluvias se concentra hacia fines de verano.

Las estaciones de San Felipe y Quitovac muestran una bimodalidad en la estacionalidad de sus precipitaciones. San Felipe muestra una mayor concentración durante el período invernal y Quitovac durante el período estival.

El énfasis de este trabajo, más que refutar la distribución que se conoce, se centra sobre el hecho que, dada la convergencia especial de diferentes regímenes climáticos, el resultado es una serie de regiones con diferentes grados de predictibilidad en la caída de lluvias, así como la presencia de áreas de transición en las cuales se sobreponen 2 ó más regímenes diferentes.

El término impredecibilidad climática es usado en el sentido de aquella región en la cual las probabilidades acumuladas $P(M)$ son altas (cerca de 1) o bajas (cerca de 0), en otras palabras, son áreas en las cuales las lluvias son "seguras", ya sea en invierno o en verano.

La distribución de los $P(M_i^j)$ permite ver, por otro lado, cómo se distribuyen las frecuencias de lluvias en los rangos establecidos.

Las dos regiones más predecibles en términos de la distribución de los diferentes valores de $P(M)$ obtenidos a lo largo del año son: el noroeste de la península, con un clima mediterráneo, en el cual el período de lluvias se concentra durante el invierno y durante el verano, la probabilidad de lluvias es muy escasa, y cuando ocurren son de baja intensidad. Esta distribución temporal de las precipitaciones se traducen en un clima altamente predecible (Fig. 4a). La segunda región se encuentra en el extremo sur de la península. Presenta un clima de tipo tropical, con lluvias de verano altamente predecibles (Fig. 4c).

Aunque el predominio de lluvias de invierno se mantiene en la península en la vertiente del Océano Pacífico hasta Bahía Magdalena, ésta decrece gradualmente hacia el Sur, a medida que se acerca a la región dominada por eventos tropicales. Sin embargo esta transición norte-sur se debe sobre todo a la disminución paulatina de la cantidad de lluvias de invierno, más que al aumento de las lluvias de verano. (Hastings & Turner, 1965).

La situación sobre la costa del Golfo de California difiere fundamentalmente en la ausencia, en el extremo norte, de una fuerte influencia de tipo mediterráneo. Esto hace que se produzca una región en la cual la incidencia de lluvias de verano disminuye paulatinamente, hasta llegar a una zona extremadamente árida con escasas lluvias durante todo el año.

En el estado de Baja California, se encuentran dos áreas con regímenes climáticos similares (predominio de lluvias durante el invierno), pero cuya predictibilidad en los eventos de lluvia difiere significativamente. Ambas regiones se encuentran separadas por las sierras de Juárez y San Pedro Mártir, las cuales forman una barrera eficiente debido a su altitud (Walkowiak & Salazar, 1987). Esta situación se pone de manifiesto ya que, a partir de los 29 grados y hacia el Sur, la altura de las sierras disminuye abruptamente alcanzando una altura promedio de 700 m snm. Esta nueva situación permite el paso de perturbaciones ciclónicas extratropicales débiles hacia el Oeste durante el verano, así como el paso de frentes convectivos de lluvias hacia el Este, durante el invierno.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de CONACYT (México), proyecto PC CCNA/0471722.

REFERENCIAS

- Barger, G. I. & H. C. S. Thom, 1949. Evaluation of drought hazard. *Agron. J.*, **41**, 519-526.
- Fogel, M. M. & L. Duckstein, 1969. Point rainfall frequencies in convection storms. *Water Resources Res.* **5**, 1229-1237.
- García, E. y P. Mosiño, 1968. Los climas de Baja California. Instituto de Geofísica, UNAM (México).
- Hastings, J. R. & R. M. Turner, 1965. Seasonal precipitation in Baja California (México). *Geografiska Annaler*, **47**, 104-223.

- Mac Mahon, J. A. & F. M. Wagner, 1981. The Mojave, Sonora and Chihuahua deserts of North America. In: Evenari, M, Noy Meir, I. & D. Goodall (eds.). *Ecosystems of the World*. Vol. 12 A. Hot deserts and arid shrublands.
- Noy Meir, I., 1973. Desert Ecosystems; environments and producers. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **4**, 25-51.
- Ramírez, L. E., 1971. Development of a procedure for determining spatial and time variation in precipitation in Venezuela. Ph. D. Thesis, Utah St. Univ., Logan.
- Rojo, P., 1985. Variabilidad climática en la península de Baja California. Tesis de Licenciatura, Escuela de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.
- Shreve, F. & I. L. Wiggins, 1964. *Vegetation and flora of the Sonora Desert*. Vol. I-II. Stanford Univ. Press.
- Walkowiak, A. M. & M. Salazar, 1987. Réponse des espèces annuelles aux précipitations dans la région centrale de Basse Californie (Mexico). MEDECOS V, Montpellier 15-20, julio 1987, Francia.