

Summary

The rainfall data for Palmira City for the period 1930-1980 were statistically and mathematically analyzed in order to study some of its characteristics such as secular trend and periodicity.

There was a significant upward trend in the number of days of rain per year during the period. The distribution of annual rainfall showed a 17-year cycle, but the sample size is too small to establish true periodicity.

Introducción

La precipitación es uno de los elementos meteorológicos que mayor incidencia tiene sobre la producción agropecuaria y en muchas otras actividades del hombre. Su reconocida importancia, obliga a que se estudie más en detalle el comportamiento de este elemento climático. No basta y tampoco tiene gran importancia la sola determinación de la lluvia promedio, puesto que este valor no considera fluctuaciones (épocas lluviosas o secas), las que conllevan a situaciones difíciles para la producción agropecuaria.

Por lo anterior, en este artículo se pretende ofrecer la información necesaria para el planeamiento agrícola y complementar algunas publicaciones realizadas sobre el mismo tema por Gómez (8) y Gómez e Ibarra (9).

Gómez e Ibarra (9), analizaron algunos aspectos de la precipitación en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Palmira entre 1930 y 1964. Dichos autores dividieron el año en dos períodos en los cuales los cultivos necesitan agua.

Entre sus conclusiones podemos citar las siguientes:

1. La cantidad de lluvia durante los dos períodos es igual (marzo-junio y octubre-enero).
2. Mejor distribución de las lluvias en el segundo semestre.
3. Las épocas más aptas para iniciar las siembras en Palmira y zonas aledañas para un agricultor que no posee riego, son probablemente los cinco últimos días de marzo y setiembre, para el primero y segundo semestre respectivamente.
4. La cantidad y distribución de las lluvias hace necesario el riego suplementario en los cultivos.

En otra publicación, Gómez (8) calculó probabilidades (frecuencia relativa) por día en Palmira. Por lo menos 55 periodicidades de más de un año de longitud han sido descritas, variando desde 1.03 a 36 años, siendo las más universales las de 2.5, 3.5, 5 a 6, 11 a

¹ Recibido para publicación el 11 de noviembre de 1981. Centro Internacional de Agricultura Tropical "CIAT". Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

* El autor agradece la valiosa colaboración prestada por el Dr. Leslie C. Chapas, Ing. José A. Saldarriaga y demás personas de la Unidad de Servicios de Datos que contribuyeron a la realización de este artículo.

12, 19 a 24 y 30 a 35 años en registros de presión, temperatura, precipitación y condiciones extremas de tiempo en muchos puntos de la superficie terrestre (12).

Burroughs (3) señala que los ciclos no deben mezclarse con aquellos impuestos externamente, porque una periodicidad que coincida con alguna fuerza exterior identificada (por ejemplo manchas solares), es una trampa climatológica que se debe evitar.

Este comentario no descarta por supuesto la existencia de ciclos reales relacionados con la variabilidad solar, aunque ellos meramente proporcionan palabras de advertencia (3).

Materiales y métodos

Se utilizaron los datos que sobre precipitación diaria y mensual posee ininterrumpidamente (1930-1980) la Estación Meteorológica del Centro Experimental Palmira, en Palmira, Departamento del Valle del Cauca (latitud: 3°31' N; longitud: 76° 10'O; altitud: 1 000 m s.n.m.). La localidad es representativa de un ambiente tropical, isotermal, con dos periodos de máxima precipitación, incluyéndose en el tipo climático $A_w''i$ de Köppen.

Los totales anuales de lluvia se establecieron de abril a marzo, ya que este periodo constituye realmente el año pluviométrico.

La precipitación semanal se fijó por grupos de siete días, iniciando el primero de marzo y terminando con una semana "falsa" que es la número 53 que corresponde a febrero 28 ó 28 y 29 en el caso de año bisiesto (4).

Las normales semanales, mensuales y anual se calcularon entre 1931 y 1980, de acuerdo a la recomendación dada por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) en 1956.

Resultados y discusión

Series de tiempo

Por serie de tiempo se entiende una serie de observaciones del mismo fenómeno organizado cronológicamente, estando los datos igualmente espaciados en tiempo (12). En estas series se analizan: 1) los movimientos seculares o de larga duración; 2) la periodicidad y 3) otras características.

Movimientos seculares

Estos movimientos indican la tendencia a largo plazo de una serie de observaciones descartando las variaciones cíclicas. Para calcular las líneas de tendencia en el presente estudio se utilizó el método de mínimos cuadrados, las cuales aparecen representadas en la Figura 1.

La ecuación hallada para la tendencia secular de precipitación anual fue

$$Y'_c = 1017.6 + 1.74 X \quad (I)$$

mientras que para la tendencia secular de días de lluvia fue

$$Y''_c = 133.0 + 1.50 X \quad (II)$$

El coeficiente de regresión de la ecuación I no fue significativo en el nivel de probabilidad de 5%, cuando se trató de probar la hipótesis $H_0: b = 0$, es decir la línea de regresión tiene una pendiente que no es significativamente diferente de cero, pero el coeficiente de la ecuación II si fue significativo al nivel de 1%.

Periodicidad

Un fenómeno es periódico, cuando los valores de la variable dependiente (en este caso precipitación) son repetidos en intervalos iguales de la variable independiente, que usualmente es tiempo (5). Estos ciclos son una característica común de las series meteorológicas (3).

Uno de los métodos que se utiliza para describir la periodicidad de un fenómeno es el Análisis Armónico, que hace uso de la Serie de Fourier. Esta técnica revela ciclos, proporcionales a la longitud de la sucesión de datos (12).

El análisis hecho a la serie presenta oscilaciones con ciclos más o menos definidos de aproximadamente 17 años, además de otro de menor amplitud con periodos aproximados de 8.5 años, como se aprecia en la Figura 2.

Como el Análisis Armónico no detecta algunas pequeñas variaciones periódicas las cuales permanecen ocultas, se recurrió a los modelos de Densidad Espectral y Periodograma, cuyas representaciones aparecen en las Figuras 3 y 4 respectivamente. Los picos indican que los ciclos reales más prominentes de la precipitación en Palmira, son de 16.67, 4.54 y 2.17 años.

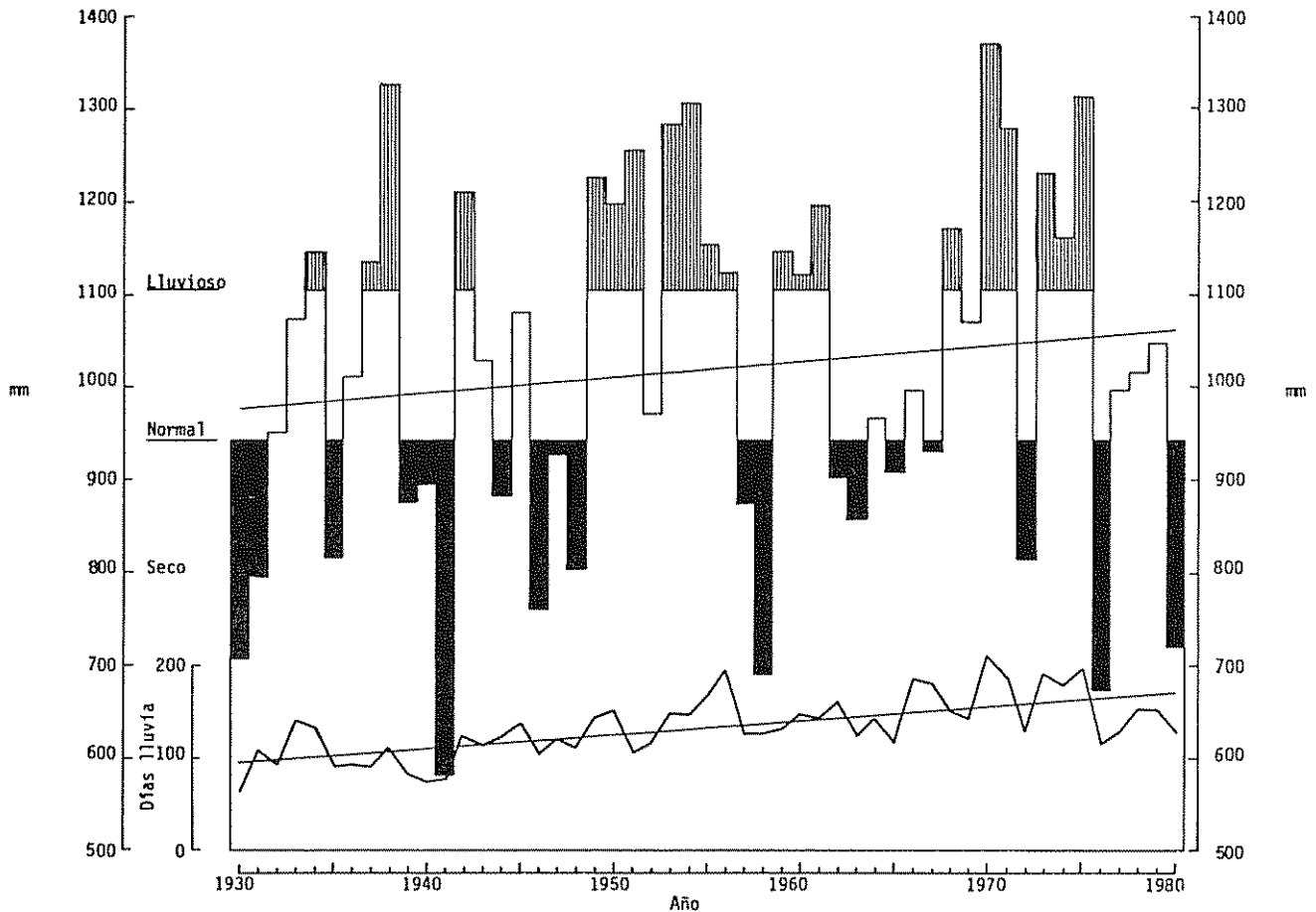


Fig. 1. Totales anuales de precipitación y frecuencia de días lluvia y sus respectivas líneas de tendencia secular en Palmira (1930-1980).

Como los métodos empleados anteriormente se basan en la Transformación de Fourier y por ende dependen de la longitud de la serie, se procedió a utilizar la Función de Autocorrelación (Figura 5), la cual detecta períodos que no son proporcionales tanto de éstos como de la longitud total de la serie original (12). Los ciclos encontrados por medio del modelo anterior, coinciden con aquellos dados por el Periodograma y Densidad Espectral.

La periodicidad cuasi-bienal (ciclos entre 2 y 3 años) es la única oscilación cuya significancia ha sido claramente demostrada. Sin embargo, los otros ciclos encontrados deben considerarse representativos pues los métodos utilizados (Densidad Espectral, Periodograma y Autocorrelación) así lo sugieren (3).

Sumándose trigonométricamente estos ciclos, se obtiene una curva que suaviza la tendencia de la serie original, permitiendo el pronóstico anticipado de

épocas con abundante o escasa precipitación (Figura 6).

Este pronóstico no tiene por objeto precisar cantidad o año de ocurrencia de abundante o escasa precipitación, sino establecer cual puede ser el comportamiento futuro tomando como base la tendencia general, debido a que los ritmos usualmente son irregulares en fase y/o amplitud y no son constantes de una región a otra. A pesar del riesgo que conlleva la extrapolación (3), los resultados obtenidos sugieren un período de abundantes lluvias entre los años 1985 y 1988.

Para evaluar mejor la curva, ésta se cotejó con los datos originales (Figura 6) y los promedios móviles de tres, cinco y siete años (Figura 7). En la curva de datos originales, las oscilaciones de ciertos períodos dificultan un poco la identificación de los ciclos a consecuencia de una concentración de valores bajos

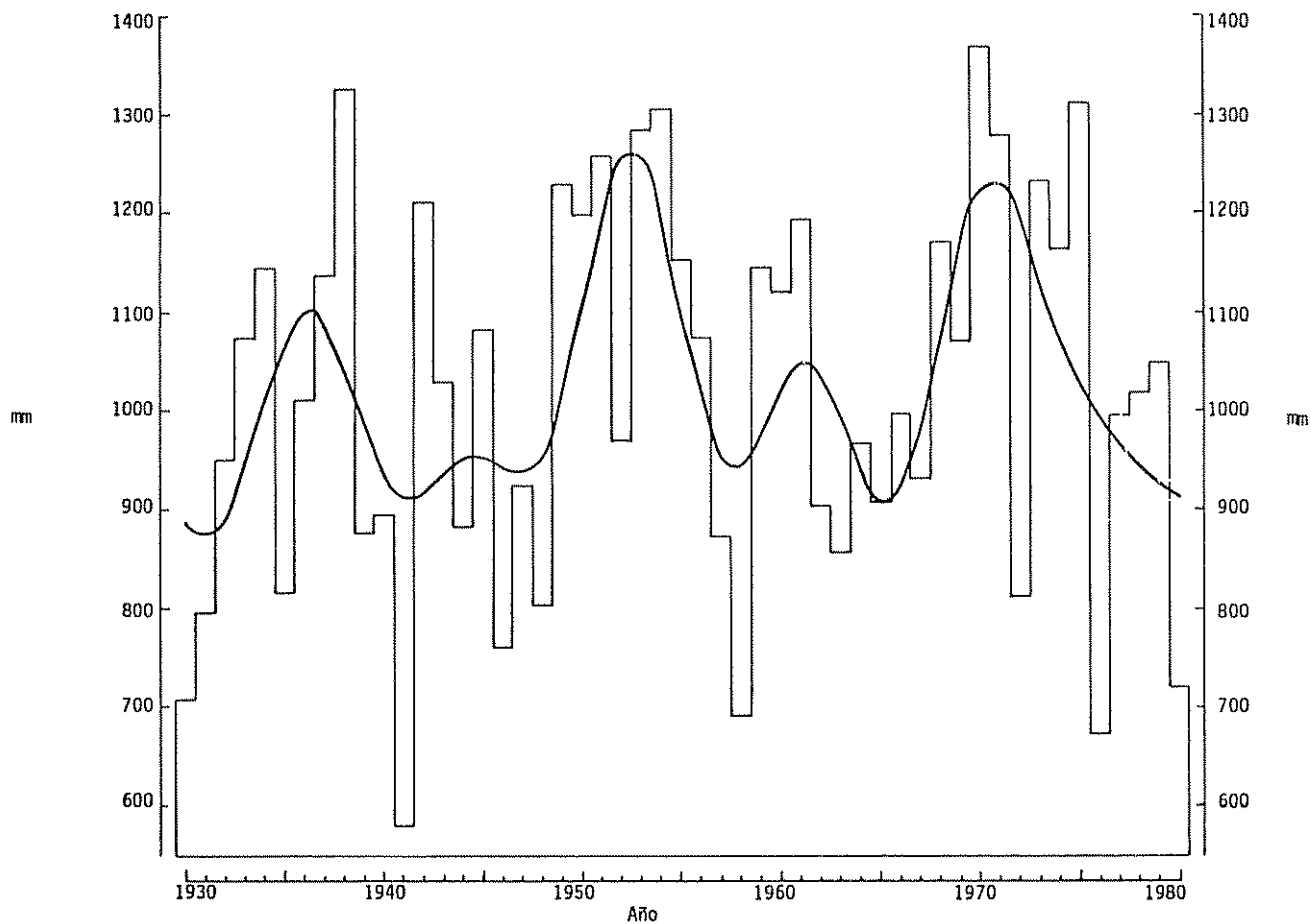


Fig. 2. Curva armónica y totales anuales de precipitación en Palmira (1930-1980).

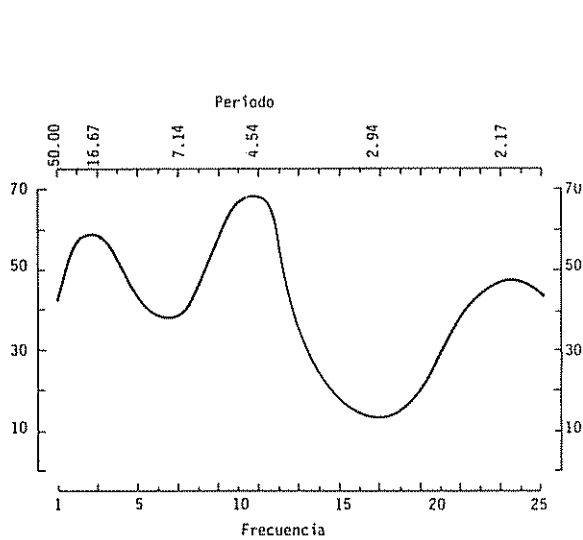


Fig. 3. Densidad espectral de la precipitación en Palmira (1930-1980).

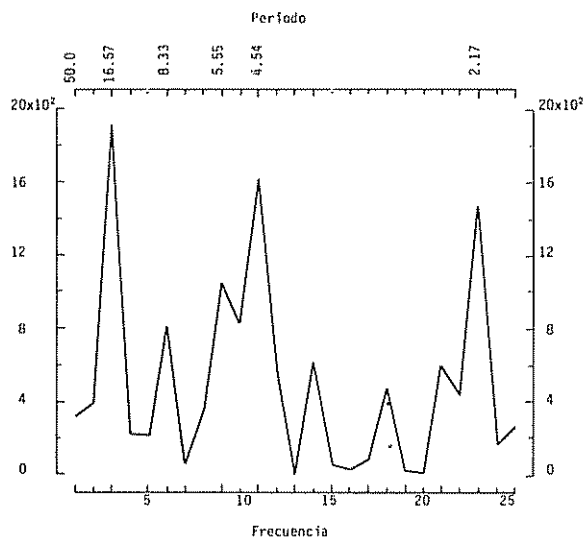


Fig. 4. Periodograma de la precipitación anual en Palmira (1931-1980).

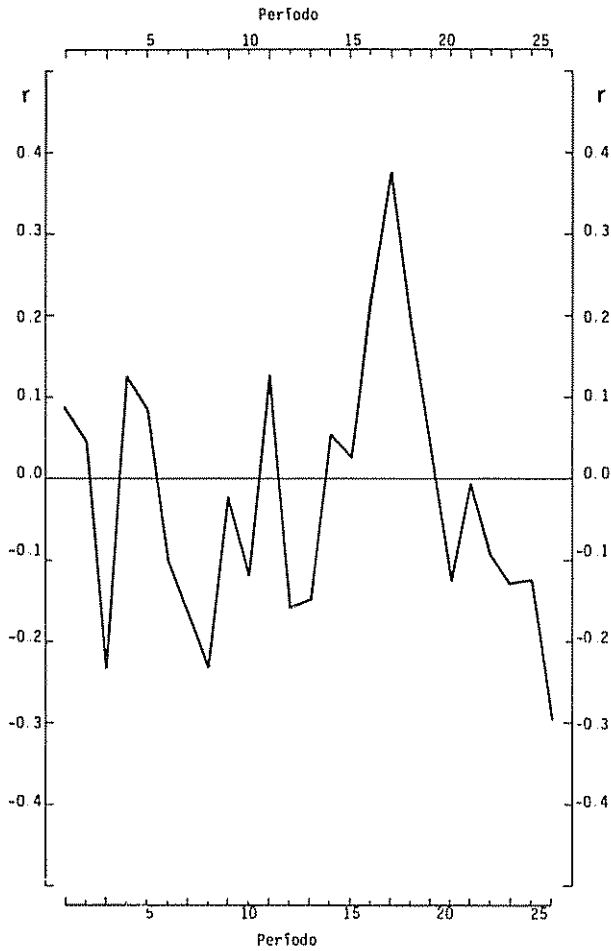


Fig. 5. Autocorrelograma de la precipitación en Palmira (1930-1980).

que corresponden al máximo de la curva de tendencia o viceversa.

Con el promedio móvil de cinco años se consigue una buena correspondencia (Figura 7b), ya que con el de tres se obtiene poca suavización y no se alcanza a eliminar algunas irregularidades que enmascaran el modelo (Figura 7a). Con el promedio de siete años se excede en la suavización, ocasionando la destrucción de algunas características (Figura 7c). El promedio móvil tiene como propósito suavizar las fluctuaciones de más alta frecuencia, de modo que las más bajas pueden ser descubiertas más fácilmente (10).

Otras características

La repartición anual de las lluvias en Palmira no es uniforme y su variación en el transcurso de los años es amplia, observándose períodos con precipitación abundante o reducida lo que constituye los excesos y las sequías que son de variada duración

La precipitación normal es de 1024 mm/año, con desviaciones máximas respecto a esta media en ambos sentidos de (+) 345 y (-) 445 mm/año, notándose mayor frecuencia en las lluvias que están comprendidas entre 870 y 1170 mm/año.

En la Figura 8, se observa que la precipitación durante el año sigue un ritmo característico, constituido por dos épocas de precipitación relativamente abundante, que se extienden normalmente desde la semana 5 a la 14 y de la 31 a la 38 y dos épocas relativamente

Cuadro 1. Precipitaciones extremas anuales, mensuales y diarias en Palmira (1930 - 1980).

	Máxima mensual		Mínima mensual		Máxima diaria	
	Cantidad mm/mes	Fecha	Cantidad mm/mes	Fecha	Cantidad mm/día	Fecha
Enero	195.6	1943	4.4	1948	75.3	29/1971
Febrero	204.5	1950	5.0	1961	71.0	10/1950
Marzo	253.9	1971	17.8	1959	87.6	9/1981
Abril	359.6	1965	26.8	1940	96.4	24/1965
Mayo	297.5	1959	11.1	1961	108.3	29/1959
Junio	214.6	1964	6.0	1941	74.0	30/1964
Julio	93.4	1954	0.0	1940	51.5	7/1975
Agosto	113.2	1972	1.0	1940	45.0	31/1973
Setiembre	154.4	1968	1.2	1976	69.7	1/1968
Octubre	324.2	1961	43.1	1958	78.7	30/1961
Noviembre	328.6	1951	32.5	1930	65.0	17/1951
Diciembre	226.6	1937	16.9	1969	61.7	23/1955

Máxima anual 1 368.6 mm/año
 Mínima anual 579.4 mm/año

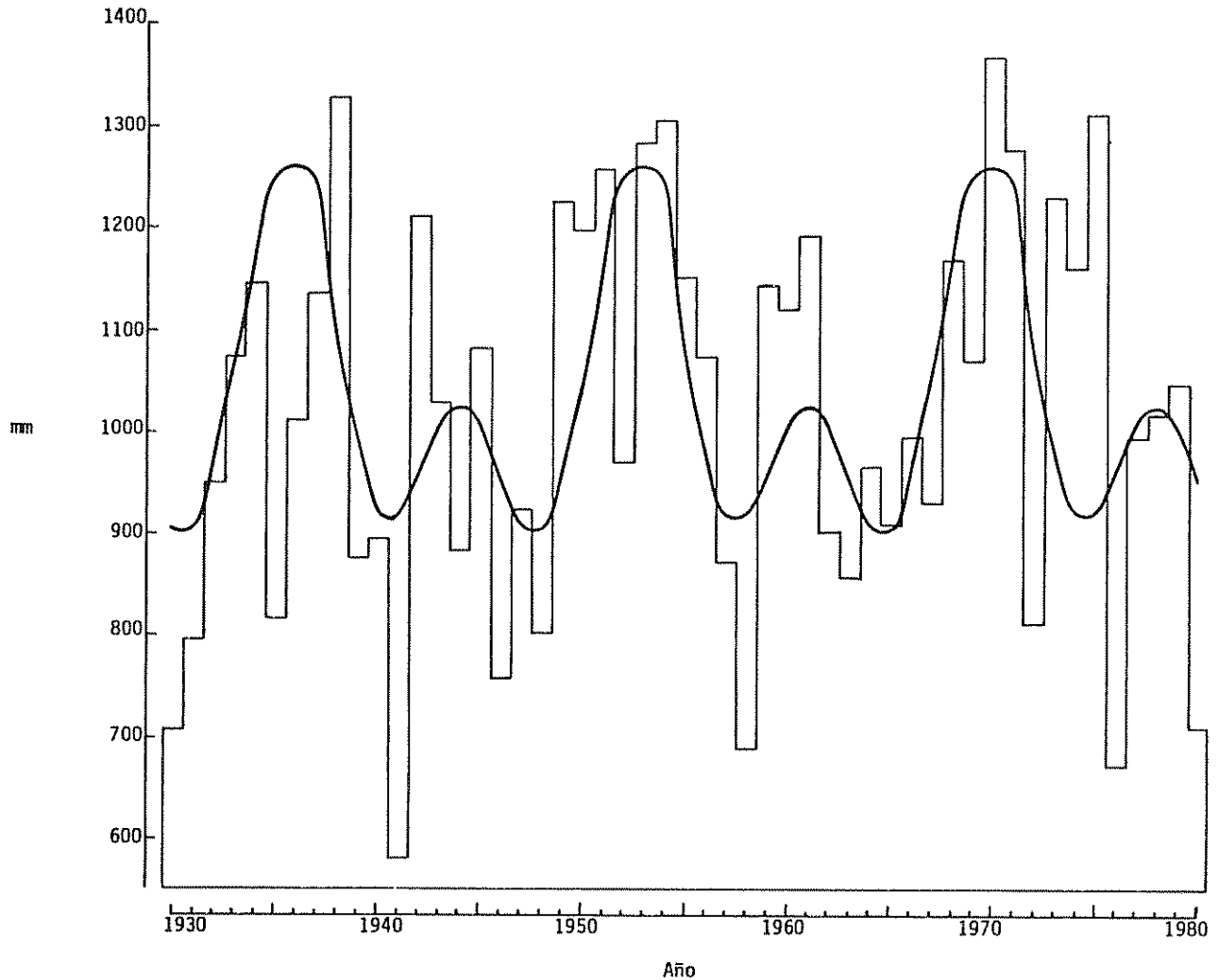


Fig. 6. Tendencia general y totales anuales de precipitación en Palmira (1930-1980).

secas que van desde la semana 17 a la 30 y de la 43 a la 53.

Lo anterior muestra, que los dos períodos lluviosos se alternan con los dos secos. Esta distribución obedece a la proximidad de Palmira con el Ecuador y por estar ubicada en un valle a baja altitud entre dos vertientes a pesar de encontrarse en el área de influencia de la zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) (6).

En la Figura 9 se observa en forma general que en esta región predominan las lluvias nocturnas (19 - 07), las cuales son ocasionadas por el sistema de circulación local del viento Valle-Montaña (13). Aproximadamente el 70% de estas precipitaciones ocurren durante la noche.

La intensidad promedio de las lluvias en Palmira es de 3 mm/hora, pero la máxima cantidad recibida en 10 minutos es de 15.6 mm.

La prueba de Shapiro y Wilks (11), indica que la precipitación se distribuye normalmente pues reportó no significación al nivel del 50%. Esto permitió establecer, como se aprecia en las Figuras 1, 3 y 4, las cantidades límites para calificar cuando un año, un semestre o una semana es lluvioso, normal o seco.

El ordenamiento de los meses partiendo del más seco al más lluvioso es el siguiente: julio (a), agosto (a), setiembre (a), febrero (b), enero (b), junio (b), diciembre (b y c), marzo (c y d), noviembre (d), mayo (e), abril (e y f) y octubre (f). Este orden discrepa del establecido por Gómez e Ibarra (9),

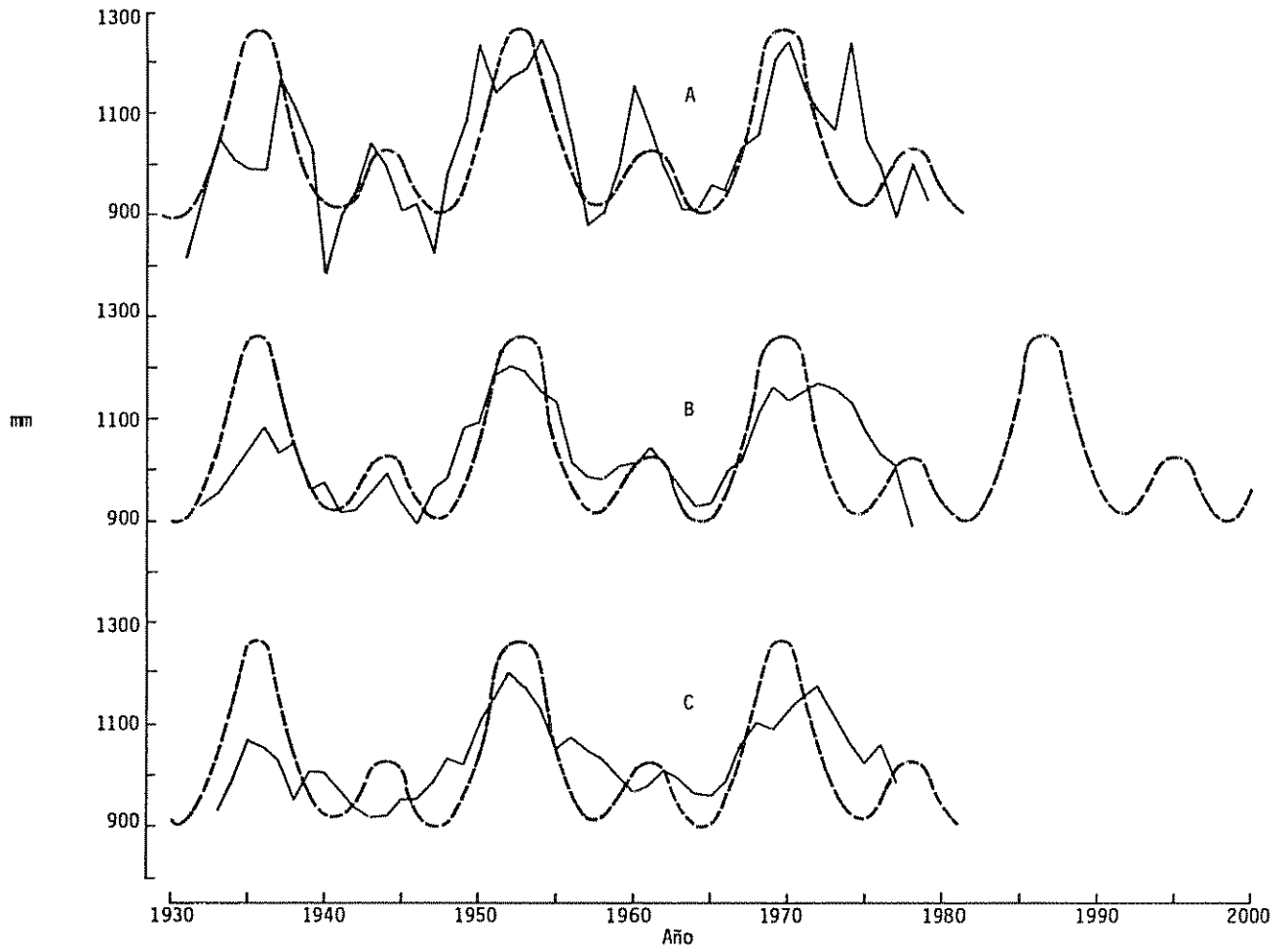


Fig. 7. Tendencia general y promedios móviles de tres (A), cinco (B) y siete (C) años en Palmira (1930-1980).

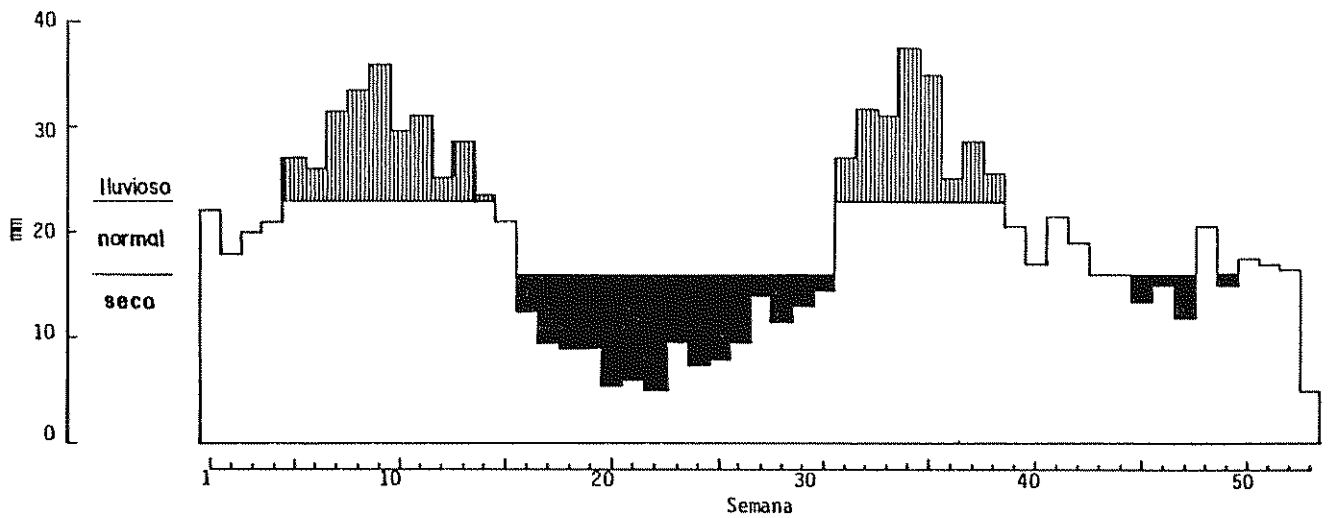


Fig. 8. Distribución normal de la precipitación por períodos semanales en Palmira (1931-1980).

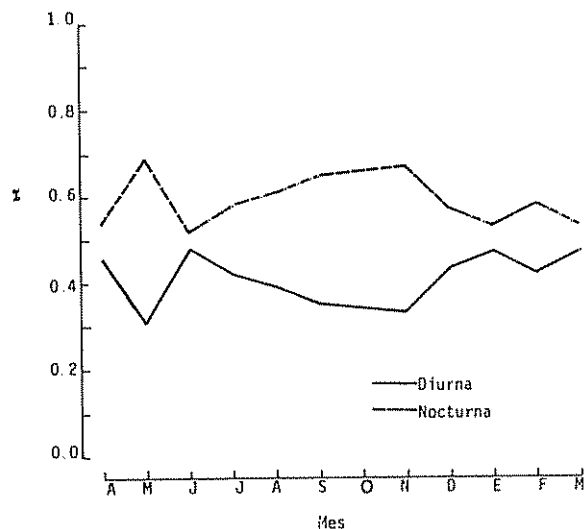


Fig. 9. Precipitación diurna y nocturna (%) en Palmira (1969-1980).

tal vez, porque el lapso analizado en este artículo es más amplio.

En el anterior ordenamiento, los meses que presentan anexa la misma letra indican que, sus promedios mensuales no son significativamente diferentes al nivel de probabilidad de 5% (Análisis de Varianza y Método de Duncan).

En general, se observa que aproximadamente el 87% de la precipitación mensual fluctúa entre 9 y 150 mm/mes.

La frecuencia media de días con precipitación es 133 por año (lluvias ≥ 0.1 mm/día), sin advertir que en el periodo de veinticuatro horas (07:00 - 07:00) han podido ocurrir una o más lluvias.

En la Figura 10 se observa que las precipitaciones con cantidad inferior a 2.5 mm/día ocurren con gran frecuencia (58 días/año), pero en promedio este valor apenas asciende a 55 mm/año (aproximadamente el 6% de la lluvia anual).

La mencionada cantidad de lluvia ($P < 2.5$ mm/día) se evapora muy rápidamente, debido a que ésta humedece únicamente una capa muy superficial del suelo y solo equivale al 50% de la evaporación potencial promedio (2). En consecuencia, tales precipitaciones no interfieren la actividad agrícola.

Considerando los periodos comprendidos entre abril-julio y octubre-enero (Figura 11), que son las épocas en que varios cultivos semestrales requieren agua, se observa que las fluctuaciones de la precipitación en las dos épocas son muy similares (197 a 643 mm/sem. A vs. 210 a 652 mm/sem. B). En el segundo semestre hay mejor distribución y la frecuencia de lluvias con cantidad superior a 410 mm¹ duplica la del primero (48 vs. 24%), lo cual permite que los cultivos sufran menos por deficiencia y haya una mejor productividad.

La precipitación en los dos semestres no es significativamente diferentes (360 vs. 400 mm) en el nivel de probabilidad del 5%. En el Cuadro 1, se presentan las cantidades extremas anuales y mensuales, al igual que las máximas diarias de precipitación.

Conclusiones

Los días lluvia han tendido a aumentar con el paso de los años.

Existe una periodicidad en la precipitación de 16.67 años, además de otras de 4.54 y 2.17. Sin embargo, son necesarios muchos más datos (al menos 100 años) para confirmar la presencia de dichos ciclos.

El promedio móvil de cinco años es la longitud de periodo más indicada para el análisis sencillo de series pluviométricas en esta región.

1 Equivale aproximadamente al 73% de la evaporación potencial.

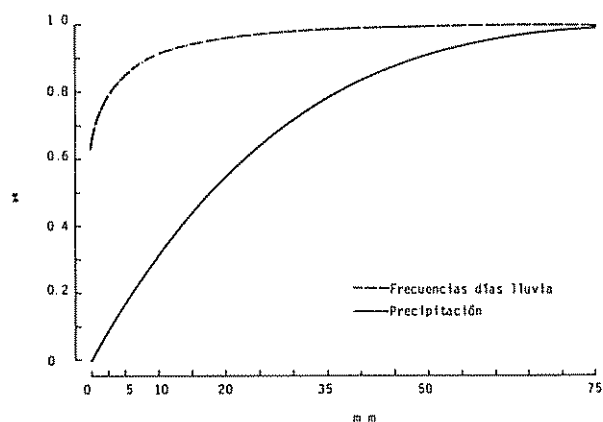


Fig. 10. Precipitación y frecuencia de días con lluvia acumulada (%) en Palmira (1931-1980).

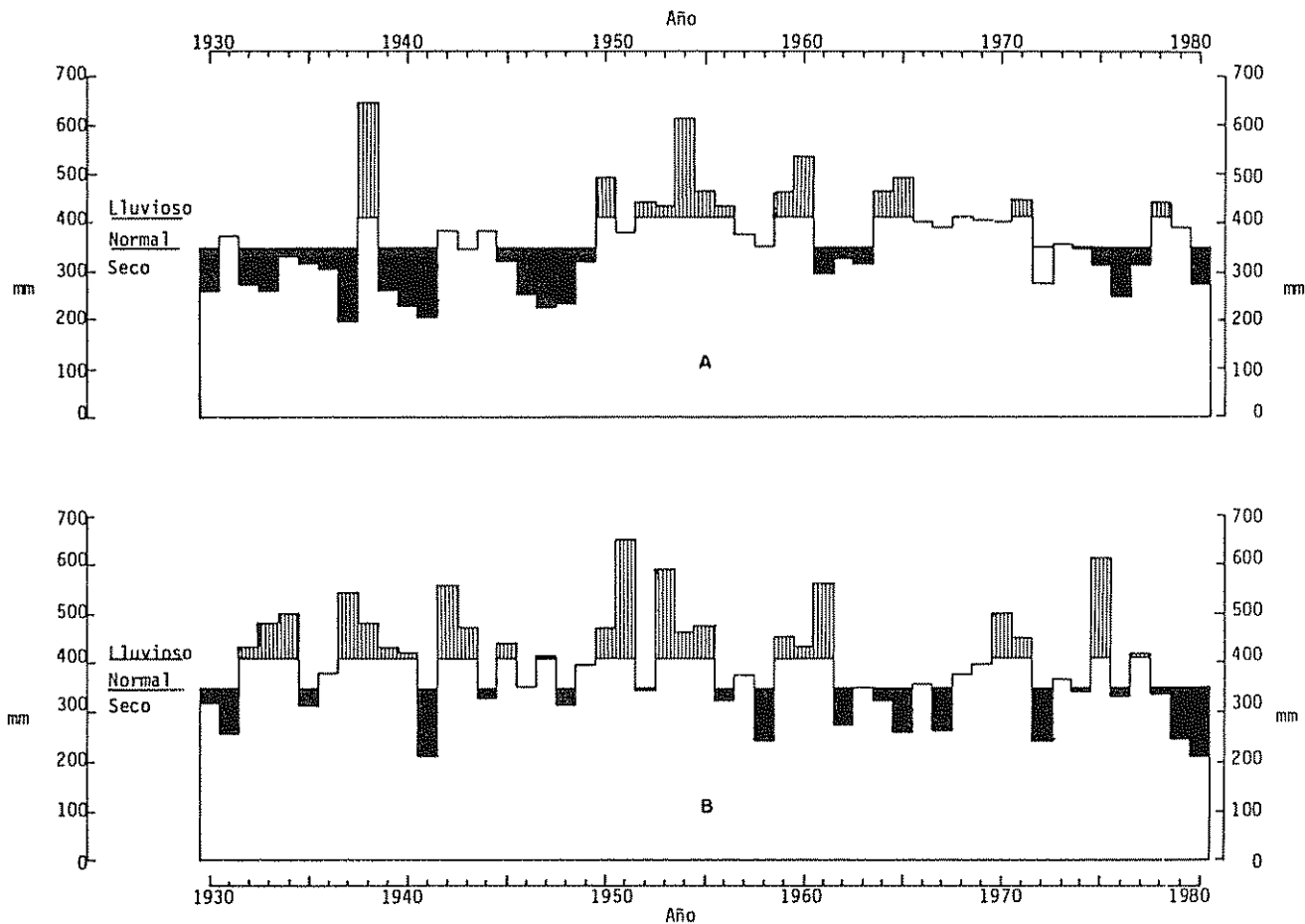


Fig 11. Totales de precipitación durante (A) primer (Abril-Julio) y (B) segundo semestre (Octubre-Enero) en Palmira (1930-1980).

Los métodos utilizados para hallar periodicidad presentan una buena coincidencia en sus respuestas.

Los resultados obtenidos sugieren un período de abundante lluvia entre los años 1985 y 1988.

La distribución bimodal que ofrece la precipitación, facilita la realización de dos cosechas por año en algunos cultivos de corto período vegetativo.

Las cantidades de precipitación en las dos épocas que los cultivos semestrales requieren agua son iguales, pero hay mejor distribución en la segunda.

Las lluvias en esta región son de origen local.

Resumen

Se realizó un análisis estadístico y matemático de datos pluviométricos de la ciudad de Palmira para el período de 1930 a 1980, con la finalidad de estudiar

algunas de sus características, tales como tendencias de duración y periodicidad.

Se observó una importante tendencia alcista en el número de días de lluvia por año a través del período. La distribución de lluvias anuales manifestó un ciclo de 17 años, pero el tamaño de la muestra es tan pequeña que no permite establecer la periodicidad verdadera.

Literatura citada

1. ALDER, H. L. y ROESLER, E. B. Introduction to probability statistics. 5a. ed. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. pp. 255-278.
2. AMIR, I., ARNOLD, J. B. y BILANSKI, W. K. A procedure for determining probabilities of dry and wet days. Canadian Agricultural Engineering (Canadá) 19:2-5. 1977.

3. BURROUGHS, W. H. Quasi-cycles in meteorology. *Weather (Inglaterra)* 35(6):156-161. 1980.
4. CARRILLO, A. y CASAS, E. Predicción de la lluvia y su aplicación en la agricultura. Chapingo (México), Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, 1974. pp. 56-57.
5. CONRAD, V. y POLLAK, L. W. *Methods in climatology*. 2a. ed. Cambridge, Harvard University, 1950 459 p.
6. FRERE, M., REA, J. y RIIKS, J. Q. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Roma, FAO, 1975. pp. 1-120.
7. GIARDI, C. y TEXEIRA, L. Prognóstico do tempo a longo prazo. São José dos Campos (Brasil), CTA/IAE, 1978. 18 p. (ECA-06/78).
8. GOMEZ, J. A. Probabilidades diarias de lluvias en Palmira, Municipio de Palmira (Departamento del Valle del Cauca). *Agricultura Tropical (Colombia)* 24(2):77-84. 1969.
9. GOMEZ, J. A. e IBARRA, A. Algunas implicaciones agronómicas de las lluvias en Palmira (Valle). *Revista ICA (Colombia)* 2(4):53-64. 1967.
10. MAGARI, K. Rainfall trend at Port Moresby from 1945 to 1976. *Weather (Inglaterra)* 35(4):110-117. 1980.
11. SHAPIRO, S. S. y WILKS, M. B. An analysis of variance test for normality. *Biometrika (Gran Bretaña)* 52:591-611. 1965.
12. STRINGER, E. T. *Techniques of climatology*. San Francisco, W. H. Freeman, 1972. pp. 85-139.
13. TROJER, H. El tiempo reinante en Colombia. *Cenicafé (Colombia)* 2(13). 1954.