

DISTRIBUCION Y CARACTERISTICAS DE LA PRECIPITACION

EN EL CENTRO Y ESTE DE ARGENTINA

Carlos M. Krepper, Beatriz V. Scian y Jorge O. Pierini
Instituto Argentino de Oceanografía (CONICET-UNS)
Bahía Blanca - Argentina

RESUMEN

Se estudian los registros de precipitación anual de 49 estaciones del Centro y Este de Argentina durante el período 1928-1977, para determinar el comportamiento y las distribuciones de la lluvia, en particular para los años húmedos y secos. Se emplea el año "agrícola" que comienza en julio y finaliza en junio. Se utilizan dos métodos para el análisis de la distribución de la lluvia anual: una versión modificada del método de Lund y el Análisis por Componentes Principales (ACP) en el modo S. Los tipos 1 y 2 de Lund se correlacionan muy bien con las distribuciones espaciales de la precipitación en los años extremos. El ACP muestra una tendencia positiva en los totales anuales de lluvia para toda el área de estudio.

ABSTRACT

Precipitation records from 49 stations covering central-east Argentina during the period 1928-1977 were studied in order to determine the behaviour and distribution of annual rainfall, in particular for extremely dry and wet years. The agricultural year was taken as commencing in July and ending in June. The analysis of annual rainfall distribution was carried out by two methods: A slightly modified version of pattern correlation according to Lund and a Principal Component Analysis (PCA) in the S-mode. Extreme years have a very well described spatial distribution according to Lund's type 1 and 2. PCA shows the existence of positive precipitation trend for the region as a whole.

INTRODUCCION

El área seleccionada para el presente trabajo incluye lo que geográficamente se conoce como región pampeana, es decir: la Provincia de Buenos Aires, centro y sur de Entre Ríos y Santa Fé, sudeste de Córdoba y este de La Pampa. Es allí donde se realiza la mayor explotación agrícola-ganadera del país, representando la zona de producción cerealera por excelencia.

El área incluye las regiones climáticas de la Pampa Seca y la Húmeda con una franja de transición entre el clima subhúmedo y el semiárido, propuesta por Thornthwaite (1948), delimitada por las isoyetas de 600-700 mm al este y 500-600 mm al oeste, dependiendo de la latitud (Prohaska, 1961). El régimen de precipitación predominante está caracterizado por un mínimo invernal y dos máximos (en otoño y primavera), un balance hídrico negativo y la gran variabilidad en la cantidad de lluvia caída a lo largo del año.

De acuerdo con Prohaska (1952), quien clasificó las distribuciones de la precipitación para diferentes regiones geográficas en base a aspectos generales de la circulación atmosférica, el régimen predominante es de transición entre los tipos Atlántico Subtropical y Continental.

Las fluctuaciones mencionadas en los totales anuales de lluvias tienen una consecuencia directa sobre la producción agrícola, motivo por el cual se analizan sus distribuciones extremas sobre la zona de explotación cerealera.

DISTRIBUCIONES EXTREMAS DE LA PRECIPITACION ANUAL

El análisis llevado a cabo está basado en registros de totales mensuales de precipitación para el período 1928-1977, correspondiente a 67 estaciones pluviométricas que cubren la región centro y este de Argentina.

La distribución irregular de la red de estaciones tiene por objeto lograr una mayor definición en la zona de transición a la cual corresponden casi el 50% de las localidades utilizadas.

Debido a que el año calendario produce una división en la estación de lluvias que se extiende de primavera a otoño, se decidió redefinir el período de medición en base a un denominado "año agrícola" comprendido entre los meses de julio a junio, es decir para cada localidad se obtuvo una serie de 49 valores anuales de precipitación desde julio de 1928 hasta junio de 1977, desarrollándose de aquí en más todo el trabajo en base al "año agrícola".

El campo de isoyetas medias para la precipitación anual y la ubicación de la red utilizada es mostrado en la Figura 1.

La serie de las anomalías de la precipitación media anual para el área, obtenida como un promedio sobre todo el dominio espacial se presenta en la Figura 2. En dicha serie pueden contabilizarse los períodos (runs) con desvíos positivos y negativos en función de su longitud en años. La frecuencia de aparición de cada período se muestra en la Tabla 1, donde las mismas pueden ser comparadas con los valores esperados en una distribución al azar.

Durante los 49 años estudiados se observa que los períodos con longitudes correspondientes a 1, 4 y 5 años poseen frecuencias de ocurrencia superiores a las de un proceso aleatorio mientras que para longitudes de 2 y 3 años las mismas resultan inferiores a lo estadísticamente esperado. Además, para períodos de 4 y 5 años,

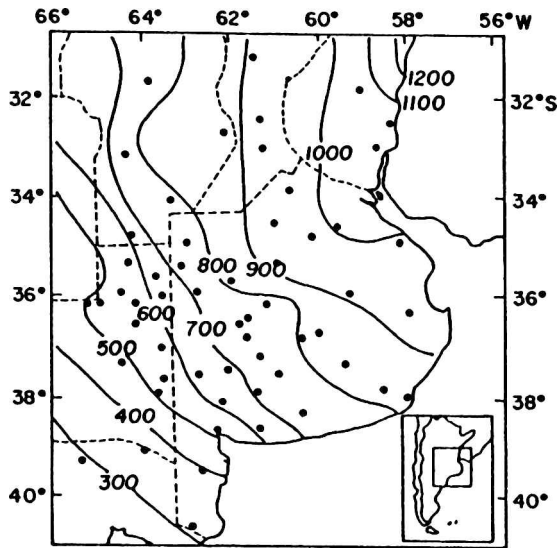


Figura 1: Precipitación media anual (mm) y localización de la red pluviométrica

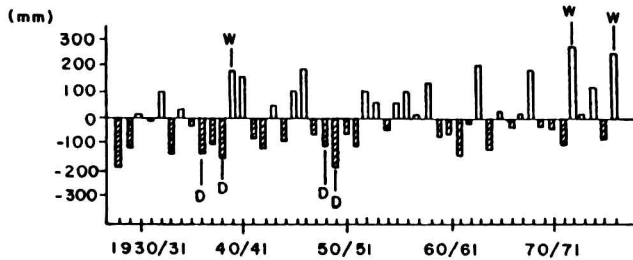


Figura 2: Serie temporal de las anomalías medias anuales

Tres casos corresponden a anomalías negativas y sólo uno a desvíos positivos. Tales períodos negativos coinciden con episodios de sequías en la región ocurridos en 1939, 1950 y 1961. Como consecuencia de la irregular distribución de las estaciones pluviométricas mencionadas previamente, se podría llegar a obtener una representación errónea de la precipitación anual al utilizar dicha serie como representativa de toda la región. Debido a ello se decidió estudiar el problema desde el punto de vista de la

distribución de la superficie con precipitaciones por encima de lo normal; para lo cual se determinó un índice definido como el porcentaje del área total que recibe lluvias anuales superiores a lo normal (Streten, 1983). La serie temporal correspondiente a este índice (ver Figura 3) permite definir aquellos años con distribuciones extremas de precipitación de la siguiente forma: a) Años Secos (D), como aquellos en que menos del 10% del área total recibe lluvias por encima de lo normal y b) Años Húmedos (W) como aquellos en que más del 90% del área total sufre precipitaciones por encima de lo normal. Los límites utilizados para definir los años extremos son diferentes a los empleados por Streten (1983) sobre Australia, los nuevos valores se ajustan mejor a las características de nuestra región. Mediante un test de Kolmogorov-Smirnov se verificó que dicha serie temporal de índices ajusta, con un nivel de significancia de 0,01, a una distribución normal con media 0,45 y desviación standard igual a 0,28. Sin embargo la aplicación de la distribución teórica carece de valor cuando se intenta calcular la probabilidad de ocurrencia de años D y W, ya que el ajuste realizado se torna muy impreciso en los extremos.

TABLA 1

Número de Periodos (runs), de diferentes longitudes en años, con precipitaciones anuales por encima/debajo del valor medio para todo el dominio espacial (julio de 1928 - junio de 1977)

Longitud del periodo (años)	1	2	3	4	5
Por encima/debajo del valor medio	14	6	1	3	1
Valores esperados en una distribución al azar	12,5	6,7	3,1	1,6	0,7

Los años D (1936/37, 1938/39, 1948/49 y 1949/50) corresponden a periodos de anomalías negativas con duraciones superiores a los tres años, tal como se puede observar en la Figura 2, pero no todos los periodos negativos contienen años D. Esto último puede ser una consecuencia de la distribución irregular de estaciones sobre la región. Cabe mencionar como caso particular el hecho de no registrarse un año D durante la sequía de 1961, como consecuencia de que la misma estuvo restringida a la parte sur de la Provincia de Buenos Aires y SE de La Pampa.

Por el contrario, los años W (1939/40, 1972/73 y 1976/77), corresponden a periodos cortos de anomalías positivas (2 o 3 años). Para cada localidad i -ésima se estudió la ocurrencia de años con marcado déficit o exceso en la precipitación, es decir, aquellos años cuyas anomalías están fuera del intervalo $(-\sigma_1, \sigma_1)$.

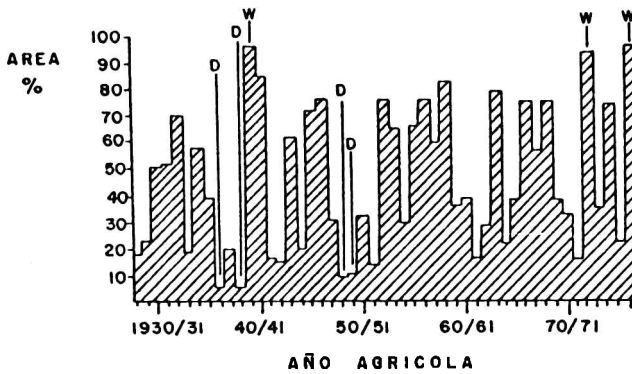


Figura 3: Porcentaje del área con precipitaciones por encima de lo normal.

A partir de ello se ha podido determinar que las localidades que presentan al menos un caso de 3 años consecutivos con anomalías del mismo signo, fuera del intervalo mencionado, tienden a circunscribirse al NO de la Provincia de Buenos Aires, S de Córdoba y NE de La Pampa.

CLASIFICACION DE PATRONES DE PRECIPITACION ANUAL

Existen dos métodos equivalentes para realizar un análisis de los patrones espaciales que presentan los modos típicos de la precipitación anual. Uno de ellos es el método de la correlación entre distribuciones anuales debido a Lund (1963) y el otro es el conocido análisis por componentes principales (ACP) en el modo T. Nicholson (1986a) realizó una exhaustiva descripción de las ventajas y limitaciones de ambos métodos.

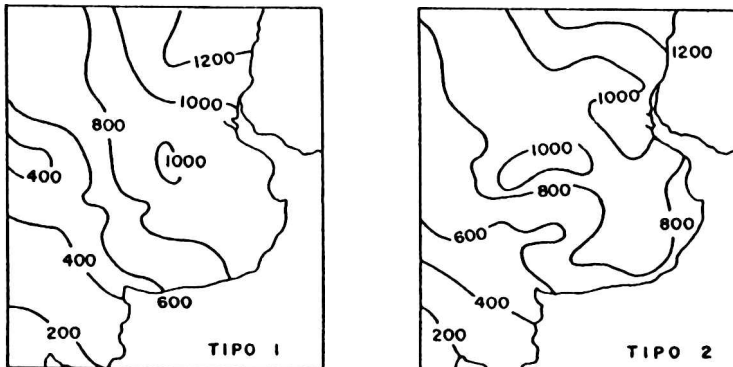


Figura 4: Tipos de precipitación obtenidos mediante el método de Lund.

El uso de la técnica de correlación lineal del Lund parece la más apropiada en el presente caso debido a que reproduce distribuciones anuales de precipitación recurrentes a partir de campos espaciales reales, sin las restricciones originadas por las condiciones de ortogonalidad del método de ACP. Una modificación al método original de Lund es empleada por Nicholson (1986b) para obtener los diferentes tipos del campo de variabilidad interanual de la lluvia sobre la región de Africa perteneciente al Hemisferio Sur. El proceso empleado por dicha autora filtra el ruido en los patrones individuales conservando los rasgos comunes, siendo tal procedimiento el utilizado en la presente sección.

Para un conjunto de 49 mapas correspondientes a distribuciones anuales de la precipitación durante el año agrícola, a lo largo del periodo 1928-1977 con un nivel de correlación $r=0,75$, se obtuvieron únicamente dos tipos representativos (ver Figura 4). Tales tipos clasifican un conjunto de 41 casos sobre los 49 mapas originales y solamente el primero representa a 35 distribuciones anuales, es decir el 71.4% del total, sugiriendo una coherencia muy elevada de la precipitación sobre la región bajo estudio. De los restantes años únicamente 6 están fuertemente correlacionados con el Tipo 2, mientras que los otros 8 años no pueden ser clasificados para un nivel de correlación $r=0,75$.

El Tipo 1 describe una distribución muy cercana a la correspondiente a los valores medios (ver Figura 1), excepto por la perturbación en el Centro y Oeste de la Provincia de Buenos Aires. Los cuatro años D están correlacionados con el Tipo 1 con coeficientes de 0,85, 0,94, 0,91 y 0,84 respectivamente, asegurando que estos años extremos no tienen distribuciones anómalas.

Por su parte el Tipo 2 representa sólo el 12,2% de los casos mostrando los máximos relativos en el NO y NE de la Provincia de Buenos Aires, con una configuración algo más irregular que la del Tipo 1 para el resto del área. Los años W (1972/73 y 1976/77) están bien representados por el Tipo 2 con coeficientes de 0,86 y 0,76 respectivamente, el restante (1938/39) se correlaciona con el Tipo 1 con $r=0,79$. Es decir que los años extremos W y D poseen distribuciones espaciales normales altamente correlacionadas con los Tipo 1 y 2 determinados por el método de Lund.

CARACTERISTICAS DE LA PRECIPITACION ANUAL

Una vez identificados los años extremos y conociendo que sus configuraciones espaciales no son atípicas se procedió a analizar sus características mediante el ACP en el modo S. Dicha técnica se originó para reducir la dimensión de un conjunto de datos (Richman, 1981; Horel, 1981) y es utilizada frecuentemente en meteorología para delinear mejor los campos espaciales.

Esencialmente cuando n observaciones de una variable se obtiene simultáneamente en m localidades se pueden calcular los autovalores y autovectores de una matriz de covarianza o de correlación. En este caso el análisis se llevó a cabo en el dominio espacial donde los autovectores de dimensión tienen una componente para cada estación de observación representando un patrón espacial y ortogonal.

A partir de datos totales anuales de lluvias ($n=49$) para un subconjunto de 49 estaciones pluviométricas ($m=49$) se generó la matriz de covarianzas correspondiente. La Tabla 2 resume los porcentajes de la varianza total explicados por los 7 primeros autovectores (E1, E2, ..., E7).

Para seleccionar el número correcto de autovectores significativos se aplicó un test debido a Anderson (1963) con un nivel de significancia de 95%, resultando que únicamente los 4 primeros autovectores tienen un sentido meteorológico distinto del ruido.

TABLA 2

Autovectores	Varianza Explicada %	Varianza Acumulada %
E1	42,98	42,98
E2	13,84	56,82
E3	6,72	63,54
E4	3,68	67,22
E5	3,53	70,75
E6	3,09	73,84
E7	2,87	76,71

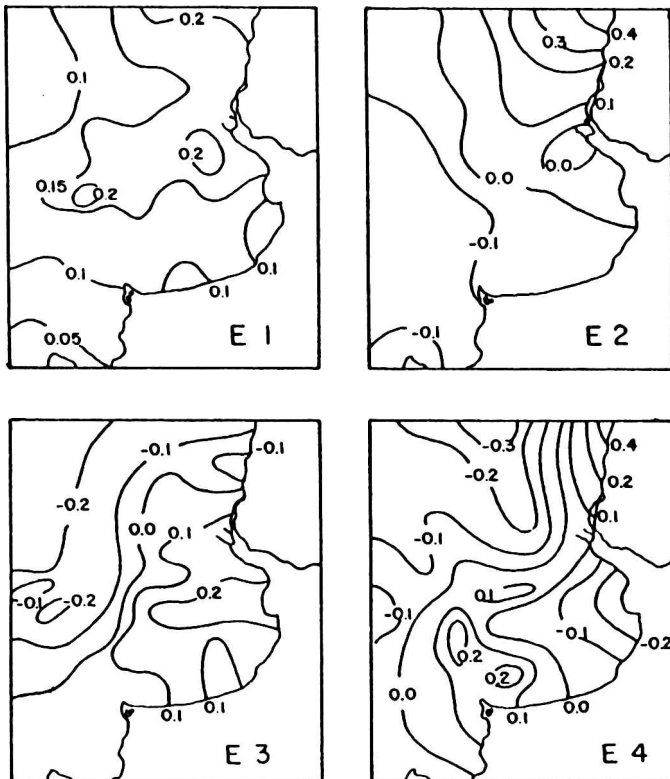


Figura 5: Distribución espacial de los 4 primeros autovectores

El primer autovector E1, para datos anuales explica el 42,97% de la varianza total y su patrón espacial normalizado se muestra en la Figura 5. Las magnitudes resultan ser todas del mismo signo y la distribución bastante uniforme.

Por su parte E2 explica el 13,84% de la varianza total y su distribución espacial presenta dos áreas de signo contrario, con un marcado ascendente al NE (en la región mesopotámica) y una uniformidad manifiesta en el Centro y Sur. La distribución para E3 (6,72%) muestra una cierta influencia marítima caracterizada por un intenso gradiente zonal en el Centro, entre 35 S y 37 S.

El restante autovector (E4) que explica sólo el 3,68% de la varianza total posee una distribución espacial con perturbaciones de origen orográfico en la zona de Sierra de La Ventana, mientras que en el N se intensifica el gradiente zonal.

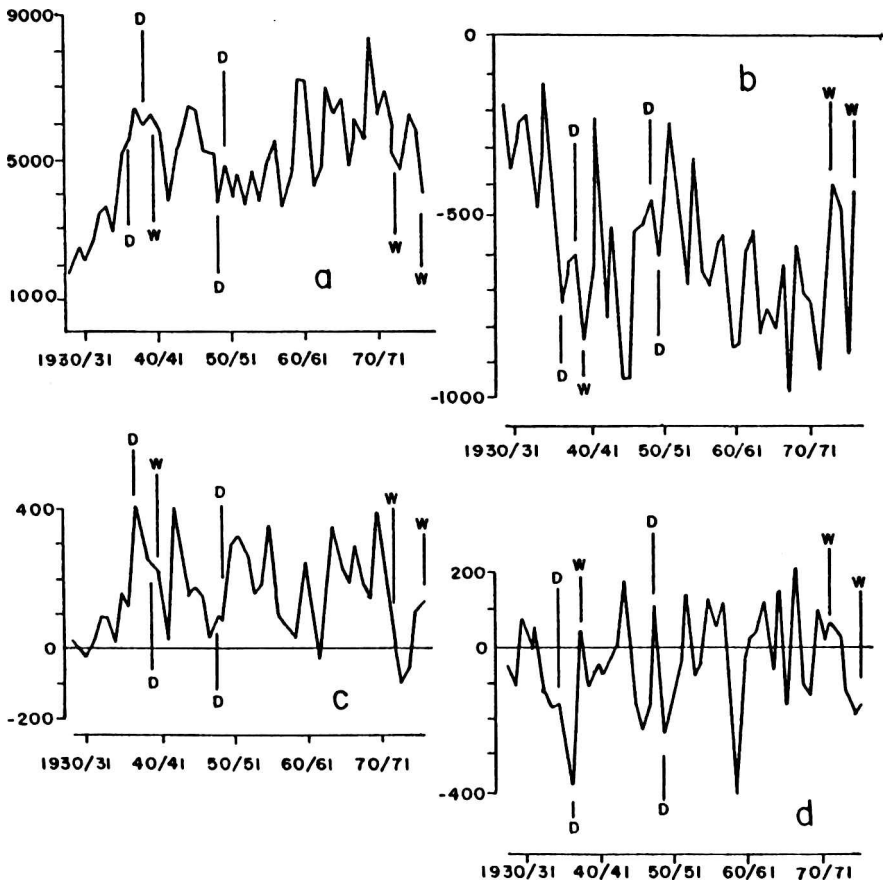


Figura 6: Series Temporales de las Componentes Principales (mm).
a) CP1, b) CP2, c) CP3, d) CP4.

Las cuatro series temporales correspondientes a la CP de los autovectores significativos que caracterizan a la región se muestran en la Figura 6, donde también se indica la posición de los años extremos.

La primera componente, CP1, es positiva y un orden de magnitud superior a las restantes. Su característica principal radica en la tendencia creciente que manifiesta a lo largo de todo el período. De acuerdo a los rasgos ya mencionados para el campo de E1 la reconstrucción debida exclusivamente a la CP1, (es decir la contribución a la precipitación en la estación i -ésima para el instante "t" estaría dada por: $PP_i(t) = E_i CP1(t)$), indicaría una tendencia positiva de la misma, para toda el área de estudio.

La segunda componente, CP2, es negativa y presenta una tendencia decreciente para todo el período. Su contribución a la reconstrucción de las series originales varía según la zona positiva o negativa determinada por E2. Esto implica que la región sudoccidental manifestaría tendencias positivas para CP1 y CP2 lo que concuerda con lo obtenido por Schwerdtfeger y Vasino(1954) para la mitad del siglo y por Krepper y Scian(1986) y Krepper et al.(1988) para el período 1947-1976.

Sin embargo, de la observación de la Figura 6 se desprende que a partir de 1949-50 se produce en las series un cambio en la pendiente de la recta de ajuste por cuadrados mínimos. Dicho efecto es más notorio para CP1 y CP2. En particular, para la primera componente el cambio se produce luego de un período de transición, de fines de la década del 40 y por aproximadamente 9 años, durante los cuales la tendencia lineal es casi nula.

Por lo expuesto, puede deducirse que toda la región ha sido afectada por tendencias positivas en las precipitaciones anuales desde comienzos del siglo, pese a que la magnitud de las mismas fluctúa considerablemente a lo largo del tiempo.

El comportamiento de la precipitación durante los años extremos, D y W, no puede ser inferido a través del análisis de las CP realizado pues, pese a que la CP1, tanto por su magnitud como por la homogeneidad de E1 establece la característica general del área para un año determinado, las contribuciones de las restantes CP1 significativas ($i=2,3$ y 4) producen modificaciones locales, dependiendo tanto de sus magnitudes como de las configuraciones espaciales de los E1. Aún aquellas componentes principales consideradas como no significativas o residuales en este trabajo, que representan un 23,74% de la varianza total, desempeñarían un papel fundamental en la distribución de las precipitaciones y condicionarían la posibilidad de que un año pueda ser o no considerado como extremo.

En particular, para los tres primeros años extremos, D(1936/37), D(1938/39) y W(1939/40), los valores dados por la CP1 son similares entre sí. Sin embargo, las contribuciones a la precipitación anual debidas a las otras CP1 significativas producen modificaciones sobre la extensión del área con precipitación por encima de lo normal pero sus magnitudes relativas no alcanzan para establecer diferencias tan marcadas entre los años D y W mencionados. Sin lugar a dudas son necesarias algunas otras componentes adicionales para lograr un mejor análisis del problema.

CONCLUSIONES

La utilización de anomalías de la precipitación anual, definidas como el porcentaje del área total que recibe la precipitación por encima de los valores normales, permite un estudio de la región en

su totalidad. En particular, los años extremos se determinan como aquellos en los que la precipitación por encima de lo normal cubre más del 90% del área total en los casos de los años húmedos (W) y menos del 10% en los casos de los secos (D).

Los años D(1936/37, 1938/39, 1948/49 y 1949/50) coinciden con periodos extensos (4 a 5 años) de anomalías negativas de precipitación mientras que los años W(1939/40, 1972/73, 1976/77) coinciden con periodos cortos (2 a 3 años) y aislados de anomalías positivas.

La posibilidad de ajustar la serie de índices a una función de distribución teórica con el objeto de calcular la probabilidad de ocurrencia de años extremos, se ve inhibida por el hecho de que la definición de tales años implica trabajar en las "colas" de la distribución donde el ajuste se hace impreciso.

La zona de mayor riesgo hídrico se circunscribe al NO de Buenos Aires, S de Córdoba y NE de La Pampa y pudo ser establecida como aquella donde tienden a concentrarse las estaciones pluviométricas que presentan al menos un caso de tres años consecutivos con anomalías del mismo signo fuera del intervalo $(-\sigma, +\sigma)$. Esto implica una fuerte condición de stress para los suelos de la región en el caso de tres años continuos de déficit de lluvias tan intensos, habida cuenta que el balance hídrico promedio anual oscila entre los -50 y -200 mm (Burgos y Vidal, 1951).

Al aplicar la técnica de Lund a los patrones de precipitación anual se clasifican dos tipos; el primero que representa el 71,4% del total de los casos (35 años de los 49 considerados) dando idea de la alta coherencia de las lluvias anuales en el área, mientras que el tipo 2 está altamente correlacionado sólo para el 12,2% del total. Los años extremos, D y W, tienen una distribución espacial muy bien descripta por los tipos 1 y 2, indicando que sus respectivos patrones de precipitación no son atípicos.

La aplicación del ACP ha posibilitado visualizar la presencia de una tendencia creciente en las precipitaciones de toda la región, efecto que concuerda con lo mencionado por otros autores. Sin embargo, un ajuste lineal por cuadrados mínimos pone en evidencia un cambio notorio de pendiente al inicio de la década del 50. Mediante dicho análisis no se ha podido dar una explicación satisfactoria del comportamiento de la precipitación durante los años extremos, ya que pareciera ser que para dichos casos sería necesario incorporar no solamente los autovectores y componentes principales significativas, sino también aquellas que originariamente fueron consideradas como parte del ruido natural de la serie.

REFERENCIAS

- Anderson, T.W., 1963: Asymptotic theory for principal component analysis; Ann. Math. Statis., 34, 122-148.
- Burgos, J.J. y Vidal, A.L., 1951: Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite; Meteoros, 1, 3-32.
- Horel, J.P., 1981: A rotated principal component analysis of the interannual variability of the Northern Hemisphere 500 mb height field; Mon. Wea. Rev., 109, 2080-2092.
- Krepper, C.M. y Scian, B.V., 1986: Variabilidad de la precipitación en la zona de transición Pampa Húmeda-Seca de Argentina; Revista Geofísica, 24, 109-123.
- Krepper, C.M., Scian, B.V. y Pierini, J.O., 1989: Time and space

variability in Central-East of Argentina; J. Climatol., Jan.1989, 39-47.

Lund, I.A., 1963: Map-pattern classification by statistical methods; J. Appl. Meteor., 2,56-65.

Nicholson, S.E., 1986a: The spatial coherence of African rainfall anomalies: Interhemispheric teleconnections; J. Clim Appl. Met.,25,1365-1381.

Nicholson, S.E. 1986b: The nature of rainfall variability in Africa south of Equator; J. Climatol., 6, 515-530.

Prohaska,F.J., 1952: Regimenes estacionales de precipitación de Sudamérica y mares vecinos (desde 15S hasta Antártida); Meteoros, 1-2,66-100.

Prohaska,F.J., 1961: Las características de las precipitaciones en la región semiárida pampeana; Revista de Investig. Agrícolas, T XV, 2, 199-232.

Richman, M.B., 1981: Obliquely rotated principal components: An improved meteorological map technique?; J. Appl. Meteor., 20, 1145-1159.

Schwerdtfeger, W. y Vasino, 1954: La variación secular de las precipitaciones en el este y centro de la República Argentina; Meteoros IV, 174-193.

Streten, N.A., 1983: Extreme distributions of Australian annual rainfall in relation to sea-surface temperature; J. Climatol., 3, 143-153.

Thorntwaite, W.C., 1948: An approach toward a rational classification of climate; The Geographical Review, 38, 55-94