

DISTRIBUCION MENSUAL DE LAS LLUVIAS EN LA CIUDAD DE CORDOBA. ARGENTINA

Laura Colladon y Gabriel Caamaño Nelli

CIRSA-Instituto Nacional del Agua – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
Medrano 235 / (5152) Villa Carlos Paz / Córdoba / Argentina. E-mail: lauracolladon@tutopia.com

RESUMEN

Estudios de la variación temporal de la lluvia a mediano plazo, en la región central del país, condujeron a la certeza que el monto anual precipitado se ha incrementado a partir de 1970.

Este incremento no tiene correlato en la lámina máxima anual, para diferentes duraciones, cuya estabilidad mantiene la validez de la relación intensidad-duración-recurrencia.

Para establecer si hubo una variación en la distribución anual de las precipitaciones, se analizó el comportamiento de las precipitaciones mensuales, estacionales y semestrales, en diferentes períodos de tiempo, estableciendo comparaciones.

Se emplea como prototipo una estación del Servicio Meteorológico Nacional, Córdoba Observatorio, de la cual se dispone de dos períodos de datos, uno de 118 años (1873-1990) de solo datos estadísticos y otro de 64 años (1939-2003) con totales mensuales.

Se evaluaron las posibles modificaciones mediante partición de la serie, análisis de medias móviles y test de cambios en la tendencia.

Como conclusión, cabe afirmar que el semestre húmedo tradicional ha incrementado sus totales, debido al aumento de la precipitación anual. El semestre seco muestra un incremento proporcional superior al del semestre húmedo. Los índices estacionales de invierno y otoño son los que registran mayor aumento relativo. Influenciados en gran medida por los meses de setiembre y abril, sustentan la hipótesis que el período húmedo se ha ampliado.

La importancia económica de conocer la distribución pluvial a lo largo del año radica tanto en cuestiones de abastecimiento agrícola como de prevención de inundaciones. Por ello, resulta recomendable determinar si esta evolución es local, propia de Córdoba, o refleja una tendencia de alcance regional.

Palabra clave: Hidrometeorología - Lluvia mensual - Tendencias climáticas

INTRODUCCION

La precipitación es uno de los componentes primarios del ciclo hidrológico. Puede calificársela de factor esencial pues constituye la materia prima del referido ciclo, es además una utilizada para caracterizar climas regionales.

Al ser un fenómeno de tipo discontinuo, su distribución tanto en el tiempo como en el espacio es sumamente variable. Conocer, no sólo su disponibilidad total durante el año, sino la forma en que se distribuye a lo largo de tal periodo, es un factor determinante para cuantificar, entre otros, las necesidades de riego en zonas rurales y el abastecimiento de agua para consumo humano e industrial.

El incremento temporal de las precipitaciones pluviales, como síntoma de una variabilidad climática persistente en gran parte de Argentina, ha dado origen a numerosos estudios en los últimos años.

En la zona de interés para el presente trabajo, Lucero (1998, 1999) y Colladon y Caamaño Nelli (2003) constataron que los totales anuales de lluvia eran proclives a crecer, mientras los máximos permanecían estables. Incluso evaluaciones de mayor frecuencia (Colladon et al., 2003) ratifican este comportamiento.

Establecido fehacientemente el incremento de los totales anuales a partir de la década del 70, se hace necesario conocer su distribución a lo largo del año. Verificar si este incremento anual permitió una mejor distribución de las precipitaciones, agudizó su concentración en la temporada húmeda ó no ha variado.

La Ciudad de Córdoba, capital de la Provincia homónima, está ubicada en el centro geográfico de la República Argentina. Por su cantidad de habitantes, cerca de 1.400.000, es también la segunda ciudad del país.

Con un ejido municipal de 576 km², ha sido dividida por el plan maestro de desagües en cuatro sectores, en busca de solucionar los frecuentes anegamientos a importantes barrios tanto céntricos como periféricos.

Las cuencas externas, de régimen pluvial, que afectan el escurrimiento del casco urbano han sufrido grandes transformaciones de sus condiciones naturales debido a tala indiscriminada, incendios forestales y cultivos intensivos, entre los que se destacan los dedicados a la producción fruti-hortícola que se desarrolla en gran parte del cinturón de la ciudad.

La importancia económica de conocer la distribución anual de la lluvia en la ciudad de Córdoba y zona de influencia, está asociada entonces, tanto a cuestiones de abastecimiento agrícola como de prevención de inundaciones.

Pero, más allá del interés local y de su alcance puntual, la interpretación alternativa que se plantea apunta a constituir un llamado de atención en cuanto al comportamiento futuro de las lluvias a nivel regional.

MATERIALES Y METODOS

Marco Experimental

Los datos pluviométricos (Tabla 1) utilizados en este trabajo, provienen de la Estación Córdoba Observatorio (OC), ubicada en el centro de la ciudad. Pertenece al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), y opera desde el año 1873 (Figura 1). La serie presenta una discontinuidad entre los años 1954 y 1958.

Figura 1: Ciudad de Córdoba, ubicación de la Estación Observatorio (OC)

La serie de OC entre 1873 y 1990, fue tomada de las estadísticas del SMN, que proveen 12 (doce) promedios (uno para cada mes del año) sobre el total del período que a los efectos del presente trabajo la denominaremos Serie Estadística (S.E.). De los 64 años que van de 1939/40 a 2002/2003, se contó con 12 totales mensuales para cada uno de los 59 años en que hubo datos.

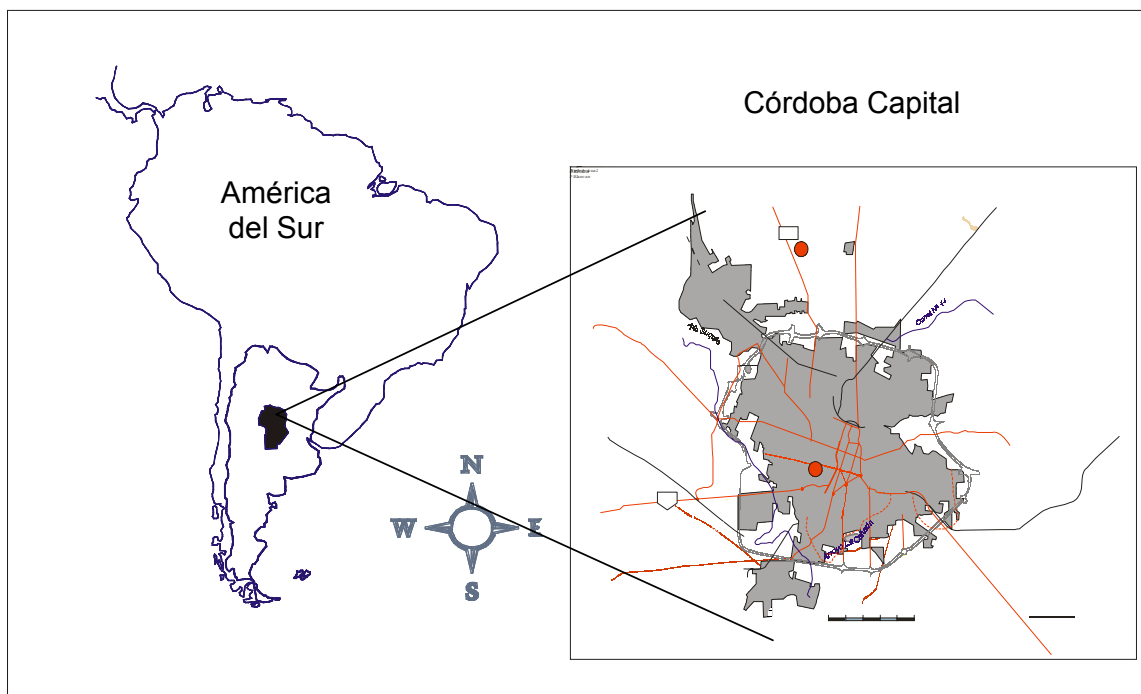


Tabla 1: Serie pluviométrica de la ciudad de Córdoba.

Estación	Latitud Sur	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)	Características de la Serie	
				Período	Tipo de dato
Córdoba Observatorio	31°24'	64°11'	425	1939-2003	Total mensual
				1873-1990	Media mensual

A partir de los totales mensuales se obtuvieron las series de: totales anuales, semestrales (seco y húmedo) y estacionales (primavera, verano, otoño e invierno). El año hidrológico para la zona es julio-junio. El semestre húmedo se inicia en octubre, finaliza en marzo y comprende los totales estacionales de primavera y verano, de la misma manera el semestre seco (abril-septiembre), incluye a los totales estacionales de otoño e invierno.

Análisis de los Totales Semestrales, Estacionales y Mensuales

El análisis se realizó sobre las series de totales del período 1940/41 a 2002/03, al disponer solamente de medias mensuales para el período anterior a 1940. Se utiliza la Serie Estadística, para comparar resultados, no sólo por su longitud sino porque además involucra 67 años (1873-1939) no comunes a la serie de totales mensuales.

Partición de la serie

Los autores (2004), en un estudio de evolución de las precipitaciones anuales, determinaron la existencia de dos períodos bien diferenciados en la serie de datos 1939/2002, uno seco al principio y uno húmedo a partir de los '70. Cada una de estas series parciales ó subseries de totales anuales resultó estacionaria, no así para la serie total (1939/40 – 2002/03), que presenta una importante tendencia, con una tasa de incremento de 3,5 mm/año.

Para el presente trabajo se utilizó el mismo criterio de partición, así se analizaron series que representan un ciclo seco y un ciclo húmedo. Cada una de ellas tiene un número de observaciones no menor a 25 datos. A partir de allí se compararon las submuestras resultantes entre sí y con la S.E. buscando cambios en el comportamiento. Esta comparación se realizó para los totales semestrales, estacionales y mensuales.

Comportamiento de medias móviles

Permite analizar una fluctuación media, centrada en el número determinado de años considerados. De esta forma se suavizan o eliminan los movimientos estacionales, destacándose las tendencias de más largo plazo. Además de actuar como filtro de las variaciones de alta frecuencia, la serie generada por medias móviles tiene la característica de conservar las propiedades de la serie original

Test para detectar cambios en la tendencia

El test a utilizar determina la homogeneidad o no de una serie de datos. A través de la interpretación de sus resultados se establece la existencia de variaciones en los totales precipitados y la tasa de incremento.

Se utilizó un test estadístico paramétrico, que supone como hipótesis nula (H_0) la homogeneidad de la serie y acepta o rechaza esta hipótesis con un cierto nivel de confianza. El estadístico de prueba tiene distribución t de Student. Se aplicó la prueba sobre la pendiente de la recta de regresión. De existir una variación, se vería reflejada por una correlación entre la lámina caída y el tiempo, por lo tanto la pendiente de la recta de regresión de la serie de datos no sería nula.

En cambio si la serie es estacionaria, cabe prever que la pendiente para la población (a la cual se hará extensiva la conclusión) será cero, aún cuando surja de la muestra un valor algo diferente.

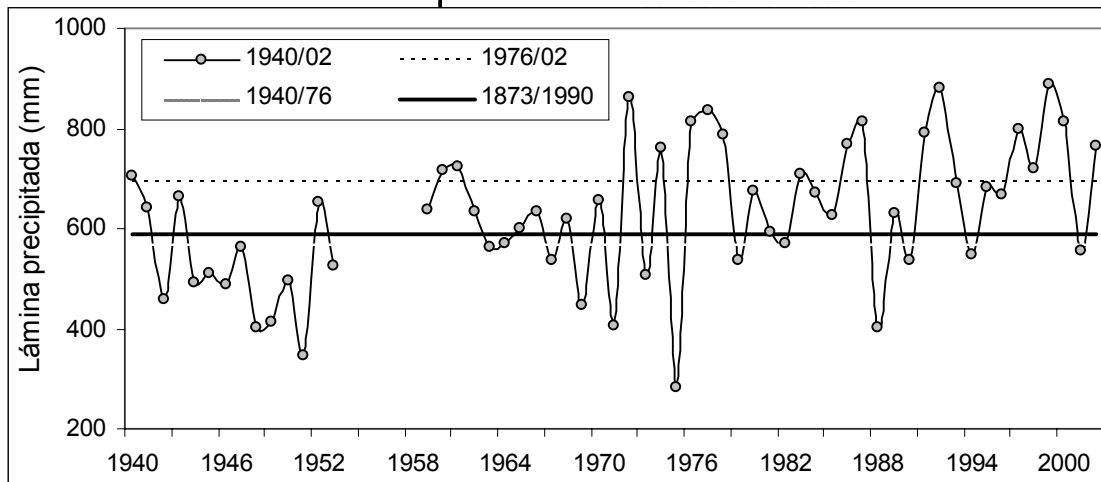
Se adopta un nivel de significación, (α), predeterminado en 0,05 (5%). Se calcula el estimador puntual, con base en la muestra, y se lo compara con los valores críticos obtenidos de tablas ó directamente a través de programas computacionales.

Si el estimador calculado es mayor al valor tabulado, se rechaza la hipótesis nula. El valor de la pendiente de la recta de regresión indica cual es la tasa de incremento anual de la precipitación.

RESULTADOS OBTENIDOS

Se describieron las series de tiempo a través de sus estadísticos básicos (Tabla 2) para el período 1940/41 a 2002/03.

Tabla 2: Estadística de las lluvias en la Estación Córdoba Observatorio, para las series semestrales y estacionales



Para establecer si la distribución anual de las lluvias ha variado, se trabajó con dos períodos: 1976/77 a 2002/03, coincidente con el ciclo húmedo (C.H.) y 1940/41 a 1975/76 coincidente con un ciclo seco (C.S.). Estos ciclos se contrastan con la Serie Estadística (1873/1990) y entre sí.

En las figuras 2 y 3 pueden observarse los datos correspondientes a las series semestrales y su comparación con los promedios de los períodos a comparar.

En ambas figuras puede notarse que el valor promedio de los últimos 30 años es claramente superior a la serie representativa del Ciclo Seco y a la Serie Estadística. Durante el Ciclo Seco la mayor parte de los valores anuales se encuentran por debajo de la S.E., en tanto que a partir de mediados de los '70 esta tendencia se revierte.

En la serie del Semestre Húmedo (Figura 2), se observa una tendencia de incremento de los mínimos durante el Ciclo Húmedo, en el Semestre Seco (Figura 3) esta tendencia se hace notoria a partir de fines de los '80.

Al comparar los totales estacionales (Figura 4), se advierte claramente el incremento de los totales anuales de primavera, y otoño sobre todo durante la década de 1990-

Figura 2: *variación anual de las precipitaciones en el semestre húmedo, promedios para diferentes períodos.*

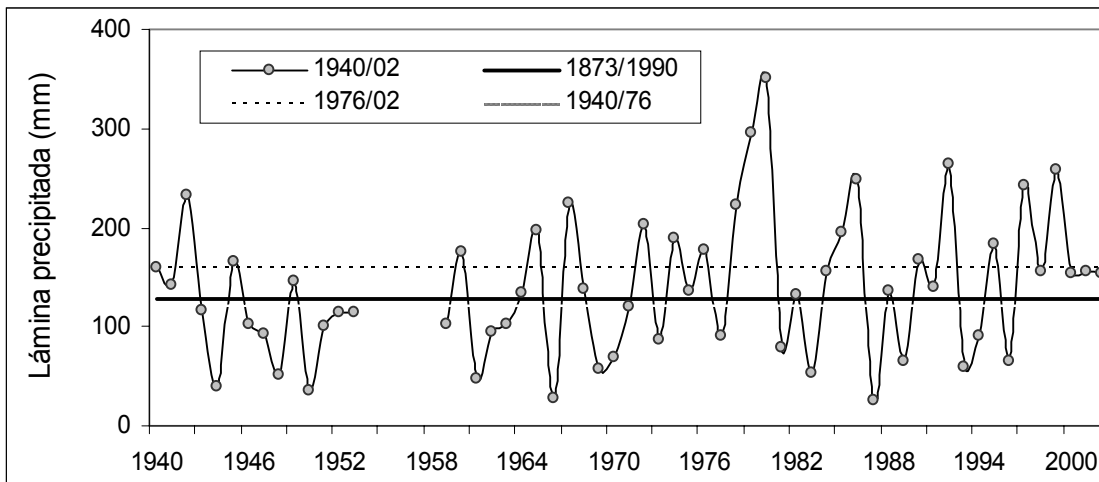


Figura 3: variación anual de las precipitaciones en el semestre seco, promedios para diferentes períodos

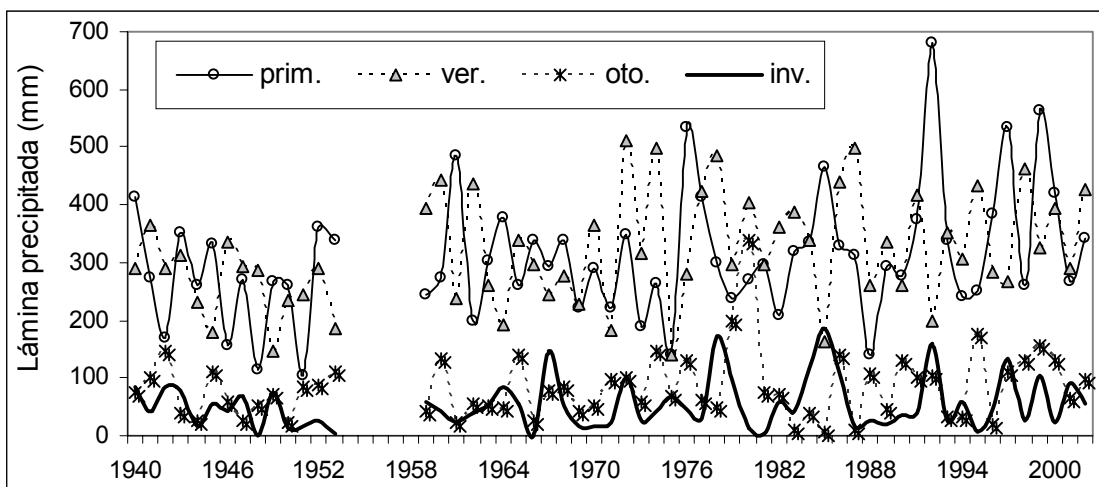
Figura 4: variación anual de las precipitaciones estacionales.

Lo presentado en las tres figuras anteriores queda cuantificado al establecer las relaciones entre submuestras como se indica en la Tabla 3. Las relaciones se establecen en porcentajes, para poder visualizar mejor la existencia de alguna variación. De hacerlo con los totales precipitados, tendría gran influencia los meses de mayor precipitación. En todos los casos los mayores porcentajes de variación (sea positiva o negativa) se dieron en el Semestre Seco. Otro dato interesante es el crecimiento del Estacional Primavera en el período 1976/77–2002/03, crecimiento porcentual de la Serie Estacional de Primavera

Tabla 3. Relación entre las precipitaciones medias semestrales y trimestrales de cada submuestra, respecto de la serie estadística y entre sí.

PERIODO	SEMESTRE		ESTACIÓN			
	Húmedo	Seco	Primav.	Verano	Otoño	Invierno
1873 – 1990	590,0	129,0	285,0	305,0	80,0	49,0

Relación del ciclo seco respecto de la serie estadística



1940/41 -1975/76	564,7	119,8	272,8	292,0	72,8	47,0
% de variación	-4,3%	-7,1%	-4,3%	-4,3%	-9,0%	-4,2%

Relación del ciclo húmedo respecto de la serie estadística

1976/77 - 2002/03	695,1	159,8	347,4	347,7	95,4	64,4
% de variación	17,8%	23,9%	21,9%	14,0%	19,2%	31,4%

Relación entre el ciclo húmedo y el ciclo seco

1940/41 -1975/76	564,7	119,8	272,8	292,0	72,8	47,0
1976/77 - 2002/03	695,1	159,8	347,4	347,7	95,4	64,4
% de variación	23,1%	33,4%	27,4%	19,1%	31,0%	37,1%

Las curvas generadas por el método de medias móviles (Figura 5) para el Semestre Húmedo (S.H.), muestran un crecimiento sostenido a partir de la década del 70. Los mínimos durante los últimos 30 años son superiores a los máximos del ciclo seco. Para el Semestre Seco (S.S.) también notamos un crecimiento, aunque existe un pico muy marcado ocasionado por los totales de los años 1979/80 y 1980/81.

Figura 5: Totales precipitados en el semestre húmedo (izq.), en el semestre seco (der.) y medias móviles, de 5 años en ambos casos

La concentración de las precipitaciones en el semestre húmedo es una característica de la región. Alrededor del 80% de las lluvias ocurren entre los meses de octubre y marzo (Tabla 4). Durante el Ciclo Seco los porcentajes de distribución variaron levemente. A partir de los años 70 vemos que el total estacional de primavera se incrementó hasta igualar al de verano (Fig. 6) que sufrió un retroceso. El promedio estacional de invierno (jul, ago set) es el que más se incrementó durante el Ciclo Húmedo con valores superiores al 30%, comparativamente el promedio estacional de verano (ene, feb, marzo) es el que menos creció, llegando a tener promedios idénticos al trimestre primavera, para el mismo período.

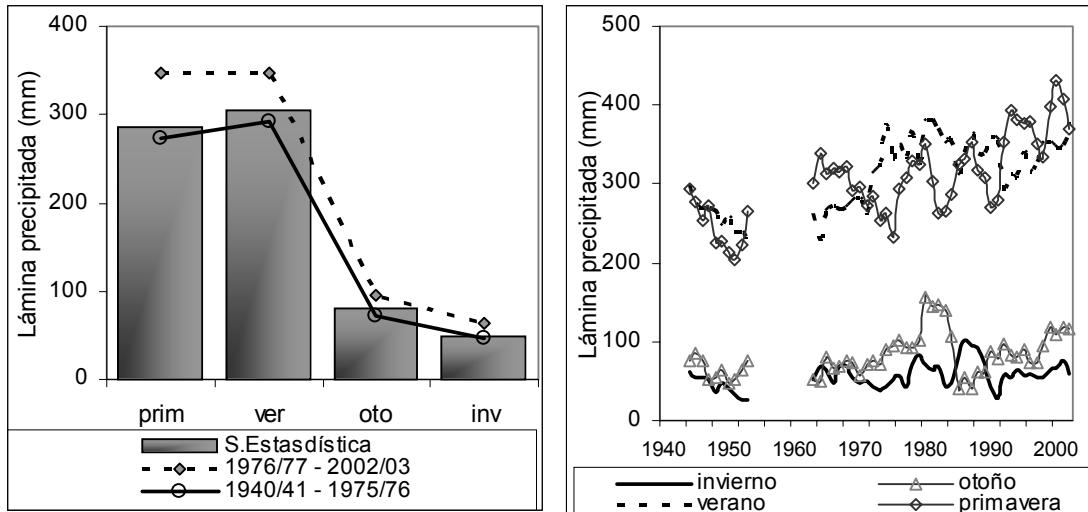


Figura 6: Precipitaciones medias estacionales para diferentes periodos (der.) Medias móviles estacionales para la serie 1940/41 – 2002/03 (izq.)

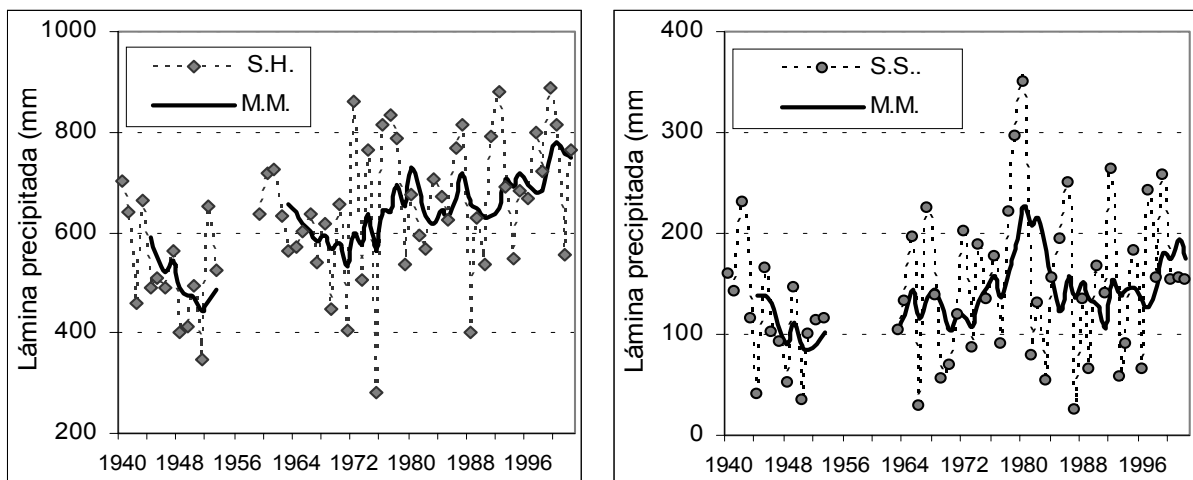
En la Tabla 4 observamos una muy leve tendencia hacia una mejor distribución de las precipitaciones durante el año en las últimas décadas. La participación de las lluvias durante la temporada seca se incrementó (11,2% y 7,5%, contra 10,6% y 6,9%). En tanto que durante la temporada húmeda se igualó entre los dos trimestres (40,6% y 40,7%).

Tabla 4: Porcentaje de cada trimestre, respecto de su precipitación media anual

	Prec. M.Anuual (mm)	% Prim.	% Ver.	% Oto.	% Inv.
S.E.	719	39,6%	42,4%	11,1%	6,8%
C- Húmedo	854,9	40,6%	40,7%	11,2%	7,5%
C. Seco	684,5	39,8%	42,7%	10,6%	6,9%

De los resultados de la aplicación del test paramétrico evaluando la serie completa de 58 años, se aprecia una tendencia de incremento poblacional en el semestre húmedo y en las series estacionales que lo conforman para un $\alpha = 5\%$; mientras que el semestre seco y sus series estacionales, no presentan incremento con inferencia poblacional para el mismo nivel de significación.

Al hacer el análisis por Ciclo esta tendencia desaparece y todas las series resultan



estacionarias. En la Tabla 5 se muestran los resultados sobre las series semestrales del periodo completo y del Ciclo Húmedo.

Tabla 5: resultados del test sobre la pendiente de la recta de regresión

Período	Serie	Coef. de Correlación	Pendiente	Probabilidad porcentual
1940/41 – 2002/03	Sem. Húmedo	0,448	3,41	0,04
	Sem. Seco	0,235	0,900	7,55
1940/41 – 1975/76	Sem. Húmedo	0,126	1,43	49,9
	Sem. Seco	0,051	0,248	78,6
1976/77 – 2002/03	Sem. Húmedo	0,098	1,51	62,40
	Sem. Seco	0,079	-0,814	15,87

Para realizar un análisis más exhaustivo y conocer mejor el comportamiento de las lluvias, y su distribución dentro de cada semestre y estación, se analizaron las series mensuales. Aquí se puede apreciar cuales son los meses que sufrieron mayores modificaciones y como incidieron en la formación de los valores estacionales y semestrales.

Comparando cada periodo analizado respecto de la Serie Estadística podemos observar:

- Durante el Ciclo Seco (1940/41 – 1975/76), los meses que más disminuyeron su precipitación promedio fueron abril y diciembre; en cambio los meses de junio y julio sufrieron un incremento, que para el caso del primero llegó al 50,2%. (Tabla 6). En menor porcentaje se incrementaron los promedios de los meses de marzo y octubre.
- En tanto para el Ciclo Húmedo (1976/77 – 2002/03) los meses que más incrementaron sus precipitaciones, siempre en porcentaje, fueron septiembre y abril con valores cercanos al 50% (Tabla 6). Los promedios de mayo y junio decrecieron un 25%.

En ambos ciclos los promedios de los meses de febrero, mayo y agosto son inferiores a los promedios de la Serie Estadística. Podemos inferir que para esos meses, los 60 años anteriores a 1940 fueron más húmedos.

Comparando entre si los periodos analizados, Ciclo Seco y Ciclo Húmedo, podemos observar:

- El periodo 1976/77 – 2002/03 es considerablemente más húmedo que el 1940/41 – 1975/76. El total anual sufrió un incremento del 25%, según un trabajo de Colladon, Caamaño Nelli (2004).
- Los meses que más aportaron para lograr un porcentaje de incremento anual tan importante fueron diciembre y enero, seguidos por septiembre y abril, meses periféricos del semestre húmedo.(Fig. 7)
- Todos los meses, salvo mayo y junio, incrementaron sus precipitaciones medias.
- Los meses de setiembre y abril tuvieron el mayor porcentaje de crecimiento (Tabla 6). El valor promedio del mes de abril, para el periodo 1976/77 – 2002/03 supera al valor promedio del mes de octubre de las otras dos series. Se debe tener en cuenta que octubre pertenece al trimestre

primavera y es parte del semestre húmedo, en tanto que abril pertenece al trimestre otoño, parte del semestre seco.

Tabla 6. Relación entre las precipitaciones medias mensuales de cada submuestra, respecto de la serie estadística y entre sí.

PERIODO	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
S.Estadística	10,0	12,0	27,0	66,0	98,0	121,0	108,0	103,0	94,0	46,0	25,0	9,0

Relación del ciclo seco respecto de la serie estadística

1940/-1975/	11,2	11,6	24,1	69,5	95,8	107,4	97,0	94,8	100,1	37,0	22,3	13,5
% de variación	12,4	-3,4	-10,6	5,3	-2,2	-11,2	-10,1	-7,9	6,5	-19,5	-10,8	50,2

Relación del ciclo húmedo respecto de la serie estadística

1976/-2002/	13,4	11,7	39,3	78,0	111,9	157,4	137,6	102,4	107,7	69,9	18,8	6,7
% de variac.	33,6	-2,6	45,7	18,2	14,2	30,1	27,4	-0,6	14,6	51,9	-25,0	-25,1

Relación entre el ciclo húmedo y el ciclo seco

1940/1-1975/7	11,2	11,6	24,1	69,5	95,8	107,4	97,0	94,8	100,1	37,0	22,3	13,5
1976/-2002/	13,4	11,7	39,3	78,0	111,9	157,4	137,6	102,4	107,7	69,9	18,8	6,7
% de variac-	18,9	0,8	63,1	12,2	16,9	46,5	41,8	8,0	7,6	88,8	-15,9	-50,1

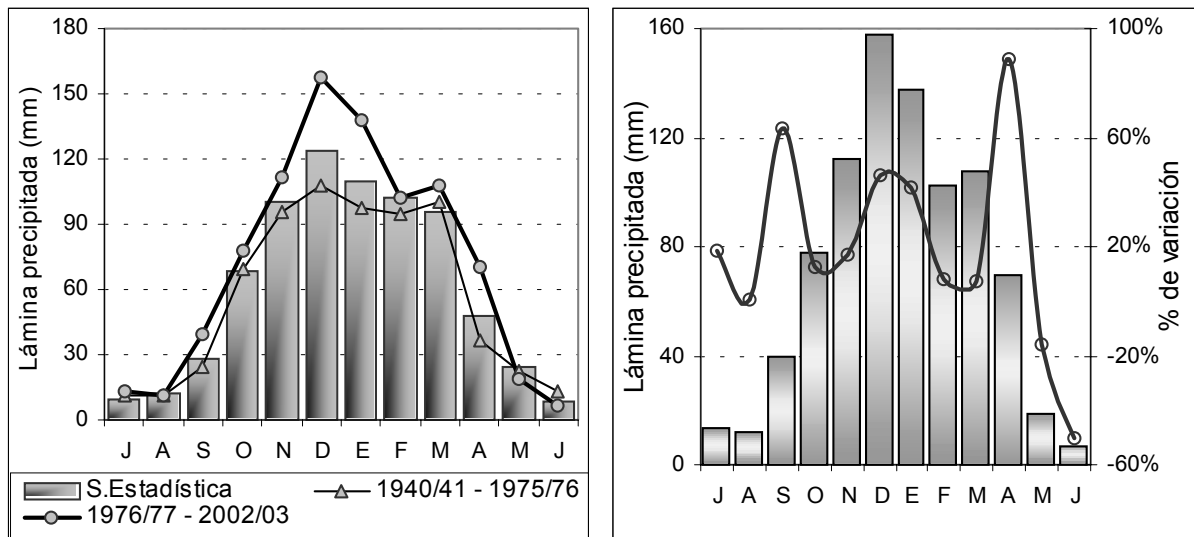


Figura 7. Córdoba Observatorio. Precipitaciones medias mensuales para diferentes periodos (izq.). Precipitaciones medias para el Ciclo Húmedo y porcentaje de variación respecto del Ciclo Seco (der.).

Realizado el test paramétrico sobre las series mensuales de la serie completa; solamente los meses de abril y diciembre presentaron tendencia de cambio, con un nivel de significación del 5%, siendo series no estacionarias. La tasa de incremento es de 0,9 mm/año y 1,25 mm/año para abril y diciembre respectivamente. En cada de las particiones consideradas las series de totales mensuales son estacionarias.

CONCLUSIONES

En los últimos 30 años las lluvias han sufrido importantes modificaciones:

- ✓ El total anual ha sufrido fuertes incrementos y su distribución dentro del año hidrológico ha cambiado.
- ✓ El mayor porcentaje de las precipitaciones ocurre dentro del semestre húmedo, no obstante su distribución es levemente más homogénea que en los otros períodos.
- ✓ Los valores estacionales de primavera y verano se igualaron.
- ✓ El mes de abril incrementó su promedio hasta casi duplicarlo, el nuevo valor alcanzado es tal que se debiera considerar dentro del período húmedo anual.

BIBLIOGRAFIA

- Bertoni, J.C. y Tucci, C.E.M.** (1993), "*Precipitação*", capítulo 5 in: Tucci, C.E.M. (org.): "*Hidrologia: Ciência e Aplicação*". Coleção ABRH. Brasil, 943 p.
- Caamaño Nelli, G y Colladon, L.** (2003) "*Procesos Hidrológicos y Modelos Probabilístico*". Apéndice, pp.183-207, en: Lluvias de Diseño, Conceptos, Técnicas y Experiencias, ISBN: 987-9406-43-5. G. Caamaño Nelli y C. M. Dasso. Editorial Universitas. Córdoba, Argentina.
- Colladon L.; G. Caamaño Nelli** (2004) "*Evolución Temporal de la Precipitación Anual en la Ciudad de Córdoba, República Argentina*". XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Sao Pedro, Estado de Sao Paulo, Brasil.
- Colladon L.; G. Caamaño Nelli.** (2003) "*Incidencia de Tendencias Climáticas sobre las Lluvias Máxima*". Capítulo 6, pp.73-84, en: Lluvias de Diseño, Conceptos, Técnicas y Experiencias, ISBN: 987-9406-43-5. G. Caamaño Nelli y C. M. Dasso. Editorial Universitas. Córdoba, Argentina.
- Colladon L.; G. Caamaño Nelli y J.C.Bertoni (2003)** "*Evolución de la lluvia en la ciudad de Córdoba*". 2º Foro Interdisciplinario de Ciencias Vinculadas al Ambiente y Calidad de Vida. Área Temática: Gestión y Conservación Ambiental. Pp. 31. FCEyN, Universidad Nacional de Catamarca. Catamarca, Argentina.
- Ghietto M.A. y N.O. García** (2002). "*La Precipitación en la Cuenca del Río Uruguay durante la última centuria.*" XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Córdoba, Argentina. En CD- ISBN 987-20378-1-7.
- Lucero, O.A.** (1998) "*Invariance of the Design Storm in a region under a Rainfall Climate Change in Northern Córdoba (Argentina)*". International Symposium on Hydrology in a Changing Environment. Exceter, UK.
- Lucero, O.A.** (1999) "*La Función de Distribución de Probabilidad de la Lluvia Anual cuando ocurre un Cambio Climático*". Revista del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente, Vol. II, Nº 3, agosto-septiembre, pp. 34-38. Buenos Aires, Argentina.