

ANÁLISIS DEL POSIBLE EFECTO DE LA CIUDAD EN LA SERIE DE
PRECIPITACION DE BUENOS AIRES

Walter M. Vargas (*)
Olga C. Penalba
Departamento de Meteorología
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

RESUMEN

Se supone que el gran crecimiento que tuvo la edificación de la ciudad de Buenos Aires pudo haber motivado cambios en las variables climáticas, en especial en la precipitación.

Para medir ello, se comparó la serie de precipitación mensual y anual de Buenos Aires con la de Chascomús, considerada de referencia.

Asimismo, se postula que a partir del año 1940 aproximadamente se acentúa el crecimiento de la ciudad.

Para poder determinar diferencias o similitudes, se han aplicado diversos métodos estadísticos, a los cuales se los ha sometido, en primera instancia, a una simulación, para ver si estos individualizan o resaltan los hipotéticos cambios y a su vez, hasta qué nivel de significación lo hacen.

A través de todo el análisis, se puede inferir que la serie de precipitación de Buenos Aires no tiene diferencias con respecto al régimen general de la región que se supone representa Chascomús. Queda sin dilucidar totalmente si esta estación tiene las condiciones necesarias y suficientes para ser considerada como referencia. Debe mencionarse que no fue posible encontrar otra estación para incluirla también como referencia en lo que hace a condiciones en calidad y cantidad de datos.

ABSTRACT

It is supposed that the great urban development of the city of Buenos Aires could have led to changes in the climatic variables, specially in precipitation. At least one reference station is required for comparison.

It is also assumed that the city development increased after 1940. Various statistic methods have been applied to determine differences or similarities. The methods were first tested to find whether the hypothetical changes were individualized (or were made to stand out), and also to what significance level this was accomplished.

It can be inferred through the entire analysis that the Buenos Aires series of precipitation, differ in relation to the region general regime, which would be represented by Chascomús.

It is only left to establish if this station meets all the necessary requirements to be used as reference.

(*) Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET.

1. INTRODUCCION

Los estudios de los datos meteorológicos que se han realizado hasta el momento demuestran que el clima rara vez es constante. Por lo tanto, para la realización de los modelos de diagnóstico y pronóstico, ya sean estadísticos o dinámicos, es importante conocer la naturaleza de los procesos que afectan a las series. Para ello es necesario analizar sus parámetros, los cuales tienen que ser representativos de la población, para que el ajuste de los modelos sea estable.

Es posible predecir que la mayoría de las series más largas de la Argentina podrían estar afectadas por modificaciones en el entorno de la estación. Esto se debe a que en los lugares donde se mide han surgido ciudades. Por lo tanto, es necesario analizar el efecto antropogénico que podría afectar las series. Si bien las ciudades son de distintas dimensiones, interesa conocer la naturaleza de los cambios producidos en una de ellas y extrapolar conclusiones para las demás.

Un tema relacionado ha sido tratado por Khemani y Ramana Murty (1), indicando que las regiones no urbanas, ubicadas corriente abajo del complejo industrial urbano, registraron un aumento de la precipitación alrededor del 15% para un nivel de significación del 1% durante 1941-1969, período en que ocurre el aumento de la industrialización.

2. METODO

El estudio de modificaciones potenciales del régimen de lluvia, independientemente de las técnicas a usar, exige ciertas condiciones en lo que hace a la calidad de los datos, el tipo de variables (diaria, mensual, anual) y a la necesidad de utilizar records que abarquen al menos, dos períodos bien determinados: uno con la influencia perturbadora de la ciudad y el otro sin ella. Esto último y la exigencia a priori, de estaciones de referencia fuera de la edificación, limita las posibilidades de inferencia, ya que, encontrar series largas ubicadas a poca distancia de las ciudades argentinas, es dificultoso. Por ende, en el caso particular de este trabajo, sólo se pudo tomar la serie pluviométrica mensual de Chascomús ($35^{\circ}34'S$, $58^{\circ}E$), distante de la ciudad de Buenos Aires ($34^{\circ}35'S$, $58^{\circ}29'E$) 114 km con un record de 80 años. Se advierte entonces que la hipótesis de partida será la detección o no de cambios mediante valores mensuales y anuales.

La región donde están ubicadas las dos estaciones es llana y homogénea (2), desde el punto de vista climático, con precipitaciones promedio anuales que varían de 900 a 1000 mm, sin que se detecten máximos y mínimos mensuales apreciables.

Desde el punto de vista metodológico, es necesario encontrar modelos estadísticos que individualicen o resalten los hipotéticos cambios producidos en la serie pluviométrica de Buenos Aires, si ellos existen. Desde ya, no se supone aquí un cambio del régimen pluviométrico a priori, sino que se intenta inferir su posible manifestación por medio de métodos estadísticos específicos y con series mensuales y anuales.

Es necesario admitir que la influencia de la ciudad podría manifestarse en forma continua y con diferente magnitud en el tiempo, en la medida que la ciudad aparece y crece. Ello impediría precisar una división de los períodos aludidos anteriormente. Asimismo, obligaría a un estudio detallado de las estadísticas de construcciones, infraestructuras acopladas, etc. Por simplicidad y aceptando la complejidad en la elección de los períodos, se supondrán límites aproximados.

Se eligieron dos períodos: el primero comprendido entre 1890 a 1939 en el cual, ninguna de las dos estaciones tendría una "fuerte" influencia de la ciudad y el segundo de 1940 a 1970. En este último, se supone que la serie de Buenos Aires podría sufrir algún cambio debido a su gran desarrollo y que ello no ocurre en la estación considerada de referencia.

Si las series de Buenos Aires y Chascomús fueran estacionarias durante los dos períodos, la conclusión es obvia. En cambio, si cualquiera de las dos series o ambas en distintos grados, no lo fueran, se tendría que detectar un cambio al compararlas. Cualquiera sea el caso anterior, se necesita saber si los métodos son sensibles para individualizarlos. Con este objeto se realiza un estudio de sensibilidad.

3. SIMULACION CON METODOS PARTICULARES

Se postuló que los cambios en la precipitación por efectos antropogénicos pueden ser individualizados por métodos estadísticos simples. Lo anterior no implica suponer que todos los cambios físicos posibles son detectables mediante el uso de las herramientas estadísticas. Para inspeccionar las posibilidades se hace un pequeño ensayo o simulación con una serie construida, a la cual se le aplicó tres tipos de cambios climáticos específicos.

Para ello, la serie aludida está compuesta por un lapso inicial de 30 años de precipitación anual de Buenos Aires. El lapso siguiente con que continúa la serie está formado por los datos de los años anteriores, más los cambios que alternativamente se incluyen. En otras palabras, se supone que la serie luego de 30 años continúa con los mismos valores a los que se agregan los siguientes hipotéticos cambios que produciría la presencia de la ciudad:

- a) la precipitación anual aumenta (disminuye) en el segundo período en K milímetros respecto al primero,
- b) la precipitación anual aumenta (disminuye) en el segundo período en K por ciento de la precipitación respecto al primero,
- c) la precipitación anual aumenta (disminuye) en el segundo período en Kxt (t =tiempo) respecto al primero.

El efecto antropogénico así planteado podría producir un cambio en la media de la serie, en la variabilidad o en la secuencia de los valores. Teniendo en cuenta esto, se utiliza como método de análisis las distribuciones de T de Student, Fisher y Análisis de Fourier (3).

En el caso de T de Student y Fisher se puede proceder de las siguientes formas: o se calcula cuál es la región crítica necesaria para detectar en las muestras los cambios impuestos o definida la región crítica, obtener cuales son los cambios posibles de detectar. En este trabajo, se toma el primer criterio y se lo aplica a los hipotéticos casos ya nombrados.

Los resultados mostraron que para un nivel de significación del 5% la T de Student detecta cambios superiores al 7% en la precipitación anual tanto para el promedio como para el porcentaje y tendencias mayores a 0.09. En el caso de Fisher, detecta los cambios producidos por porcentajes mayores al 26% y tendencias superiores a 0.02, ya que cuando el dato sufre en todo instante de tiempo un aumento constante, dicho cambio no se refleja en la varianza. Con respecto al Análisis Armónico, en el caso de las modificaciones a) y b) la amplitud y la varianza explicada por cada armónica no se alteran, como puede verificarse mediante el análisis de las expresiones de Fourier (3). En la Figura 1 se muestra el espectro de Fourier y la varianza acumulada de los 30 años sin cambios y que corresponden a los datos reales del primer período de la simulación. Por el contrario, en el caso de la inclusión de una tendencia ($k = 0.1$) las amplitudes y la distribución de las varianzas se modifican sustancialmente, detectando el cambio como lo muestra la comparación de las Figuras 1 y 2.

4. ANALISIS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN UN CASO REAL

En el siguiente análisis se intenta inferir, en el caso real, la existencia de un cambio en términos estadísticos, aunque no se investiga su naturaleza física.

Para ello, se hacen las siguientes consideraciones: si la serie de precipitación de Chascomús es estacionaria, su comparación con Buenos Aires debe arrojar para ésta, la misma condición, ya que se ha supuesto homogeneidad

regional; si ello no ocurre, es que existe una alteración.

En el caso en que la serie de referencia no sea estacionaria se puede recurrir a dos alternativas: la primera es transformar en estacionaria a Chascomús y aplicando las mismas constantes a Buenos Aires verificar si adquiere la misma propiedad. Otro camino sería analizar si Chascomús registra diferencias objetivas de propiedades entre los dos períodos y verificar en caso de que ello ocurra, si en Buenos Aires se experimenta lo mismo, si ningún cambio particular está presente. En este caso, se recurre a la segunda alternativa. O sea, se trata de verificar la constancia de las diferencias mencionadas entre períodos.

Como una primera aproximación de esto, orientada a establecer el grado de homogeneidad entre Chascomús y Buenos Aires y la estacionaridad de sus muestras, se calcularon los estadísticos de T de Student y F de Fisher.

De acuerdo a lo establecido en el punto anterior, se considera al nivel de significación del 0.05 como aquél, a partir del cual se juzgará la existencia o no de cambios climáticos producidos en las muestras.

En la Tabla I se muestran estos resultados de los que se infieren según este criterio que la serie de Buenos Aires podría haber sufrido un cambio en su promedio, aunque el valor de T de Student no está muy lejano al valor crítico, por lo tanto, el resultado está lejos de ser concluyente. Si alternativamente, suponemos que la homogeneidad climática puede manifestarse en la constancia o invariabilidad de las diferencias entre los totales de precipitación anual de las dos estaciones se podría demostrar mediante Student que no hay cambios significativos entre los dos períodos. No se incluye este cálculo aquí, aunque se ha verificado.

Para aumentar los elementos de diagnóstico en la búsqueda de un cambio, se analiza la relación entre los regímenes mensuales de precipitación, de Buenos Aires y Chascomús, mediante frecuencias de ocurrencia conjunta.

Para ello, se calcularon las tablas de contingencia de las series de quintiles divididas en tres cuatrimestres: enero-abril, mayo-agosto y setiembre-diciembre. Esto último, se efectúa, con el objeto de inferir la existencia de épocas preferenciales de perturbación de la lluvia. De no existir ninguna relación entre ambas estaciones, la distribución de frecuencias observadas no debería diferir de aquella que se esperaría si los procesos fuesen independientes.

La Tabla II muestra, por medio del coeficiente de Pearson corregido $c^*(3)$, que existe una fuerte relación y que no varía esencialmente de período a período.

Puesto que la asociación anterior no exige un tipo predeterminado de relación entre ambas series, se investiga si en realidad ésta es lineal. Para ello, se hallan las constantes de regresión lineal y su correspondiente coeficiente de correlación a partir de valores mensuales estandarizados, mediante el promedio general de precipitación y separados por cuatrimestres.

De la Tabla III se puede ver que el coeficiente de correlación es muy similar a los valores de c^* obtenidos anteriormente, con lo que valen las mismas conclusiones. Asimismo, estos resultados y los anteriores de coeficiente de asociación acreditan relación de regímenes pero no identidad absoluta entre los mismos. Es evidente, que si existiera algún cambio en Buenos Aires, no se manifiesta tampoco en este análisis.

Una propiedad que sí podría ser sensible al efecto aludido es la tendencia posible en las series anuales. En la Tabla IV se presentan las tendencias lineal y cuadrática para ambas estaciones. Se observa que en Buenos Aires sólo hay un corrimiento en la ordenada al origen que justificaría el resultado del primer análisis, pero de ninguna forma asegura la existencia de una tendencia. Por otra parte, esta última no es significativa en ningún caso. Además, la aplicación del Test de Mann-Kendall confirmó lo anterior. Por lo tanto, estos resultados no avalan la existencia de un cambio en el régimen de lluvia de Buenos Aires por efecto de ciudad.

Finalmente, podría suponerse que cualquier cambio en las series de lluvia se manifiesta en las frecuencias de las ondas que la "componen". En otras pala-

bras, la comparación de los espectros de Fourier por período y estación podrían ayudar en la exploración sobre la presencia del efecto ciudad en la precipitación. A tal efecto, se aplicó análisis armónico, para comparar las varianzas explicadas y acumuladas entre estaciones y períodos.

Previamente, para independizarse en parte de la distancia entre estaciones y filtrar la onda estacional se transformó la serie de la siguiente forma:

$$P^i = P_i / \bar{P}_i$$

donde

P_i = precipitación del mes i

\bar{P}_i = precipitación promedio del mes i .

Hay dos formas para realizar el estudio, la primera es analizar la relación entre las varianzas acumuladas por armónica de Buenos Aires y Chascomús para cada período. Si existe el mismo régimen, la relación se conserva entre los períodos y los puntos en un gráfico de varianza acumulada de Buenos Aires versus la respectiva a Chascomús, se sitúan según una recta de 45°. La segunda es analizar la relación entre la varianza acumulada entre períodos, pero ahora para cada estación y postular identidad de regímenes si las relaciones son idénticas.

En este trabajo se realizan ambas formas y en la Figura 3 se presentan los resultados aptos para la primera. Aquí se muestran las relaciones entre las varianzas acumuladas de Buenos Aires versus las de Chascomús para todas las armónicas en cada uno de los períodos. Si se operó un cambio en Buenos Aires en el segundo período la relación del primero respecto a éste será distinta. Con el objeto de "medir" lo anterior se ajustan los puntos que representará las relaciones para cada lapso de tiempo mediante rectas y se comparó sus pendientes b y ordenadas al origen a previa verificación de un buen ajuste. Los resultados de la Tabla V y la aplicación del T de Student (4) para las constantes muestran que ambas rectas tienen pendientes y ordenadas al origen que no difieren significativamente entre sí. Si comparamos cualquiera de estas rectas con las que correspondería a varianzas acumuladas de dos estaciones con idéntico régimen (ordenada al origen = 0 y pendiente = 45°) se infiere que no existen diferencias significativas entre ellas, por lo tanto, la homogeneidad de régimen pluvial entre Chascomús y Buenos Aires es real. A su vez, la posibilidad de cambio del régimen de precipitación de Buenos Aires por efecto de la ciudad no se vislumbra a través de este análisis.

Como se anticipó se puede ensayar otra variante de análisis cuyos elementos de desarrollo están en la Figura 4. Aquí se muestran las relaciones entre las varianzas acumuladas de cada armónica entre períodos y para cada una de las estaciones. Si se procede como en el caso anterior, se obtienen para cada estación la recta que relaciona ambos períodos. En la tabla VI se muestran los resultados de los que se infieren, test de Student mediante, que los parámetros de ambas rectas no difieren, con lo que la variación de régimen, si la hubo de período a período, fue la misma en ambas estaciones. Se evidencia aquí nuevamente que no existen elementos que permitan inferir un cambio antropogénico de la lluvia por efecto de la serie de Buenos Aires.

5. CONCLUSIONES

- La simulación de los cambios antropogénicos en una serie anual de precipitación, mostró que el nivel de rechazo del 5% es suficiente para detectar variaciones reales y de importancia climática en las muestras, salvo en el caso de una constante en el Test de Fisher.

- La descomposición mediante Análisis Armónico, permite detectar dichas modificaciones, salvo la constante. Esto no ocurre con la varianza explicada por cada una de ellas ni con la varianza acumulada en el caso de la constante y el porcentaje.
- La serie de Buenos Aires sufrió un cambio a partir de 1940 en su promedio pero no en su varianza, mientras que en Chascomús no se determinaron variaciones significativas en ninguno de los dos parámetros. Es en esta propiedad en la que podría haber una débil traza de cambio antropogénico.
 - Existe una relación entre los regímenes de ambas estaciones, no estrictamente conservativo de período a período. Ello es observable a través del análisis de las tablas de contingencia.
 - La serie anual del O.C.B.A. y Chascomús en ningún período de los considerados muestran tendencias significativas.
 - El espectro de Fourier para cada período y para cada estación no muestra diferencias entre los regímenes de ambas estaciones. A su vez, se infiere que son idénticos reforzando la consideración de homogeneidad regional. Por otra parte, esta misma estructura permite inferir que las variaciones de régimen período a período de una estación ocurren simultáneamente en la otra.
 - Salvo los débiles resultados obtenidos mediante el Test T de Student los análisis propuestos no muestran efectos antropogénicos en la serie anual de Buenos Aires.

6. REFERENCIAS

- (1) Kemany, L.T. y Ramana Murty, B.V. "Rainfall variations in an urban industrial region", Journal of Applied Meteorology. 187-194. Febrero 1973.
- (2) Hoffmann, J.A.J. "Características de las series de precipitación en la República Argentina", Meteorológica, Vol. I. No. 3, 1970.
- (3) Panofsky, H.A. y Brier, G.W. "Some Applications of Statistics to Meteorology" University Park, Pennsylvania, 1965.
- (4) Chou, Ya-Lun. "Análisis estadístico", ST John's University, México, 1984.

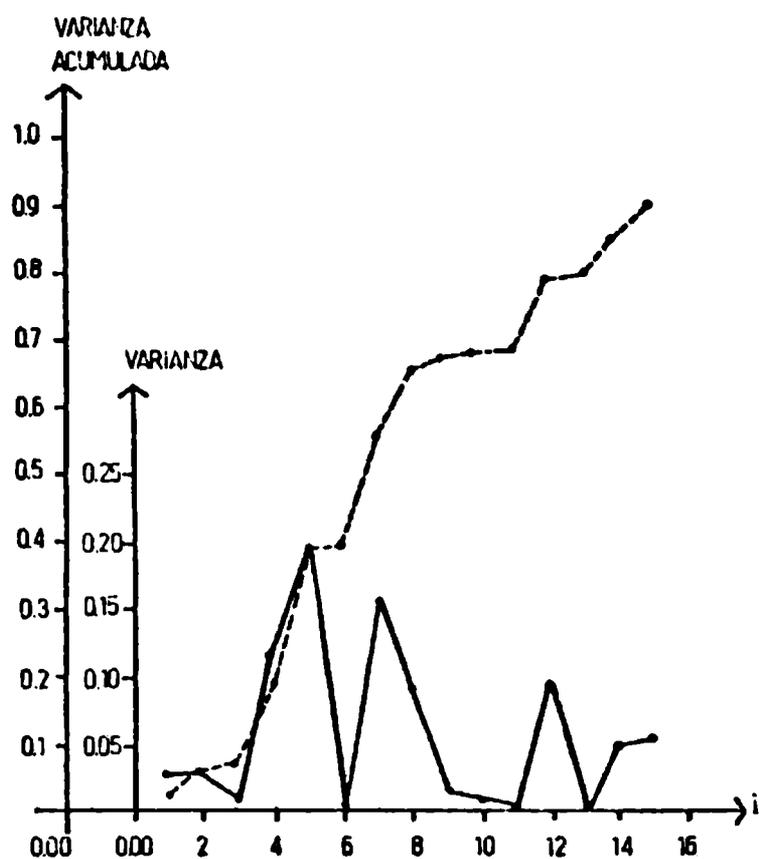


Figura 1: Espectro de Fourier (—) y varianza acumulada (- - -) para la simulación de los datos del primer período y cuando se les sumó una constante y un porcentaje.

Tabla I

Valores obtenidos para la T de Student y F de Fisher para un nivel de significación del 5%.

	BUENOS AIRES	CHASCOMUS
m	1055.12	925.03
	955.30	859.72
S	237.33	211.72
T	2.26	1.66
F	1.00	1.00

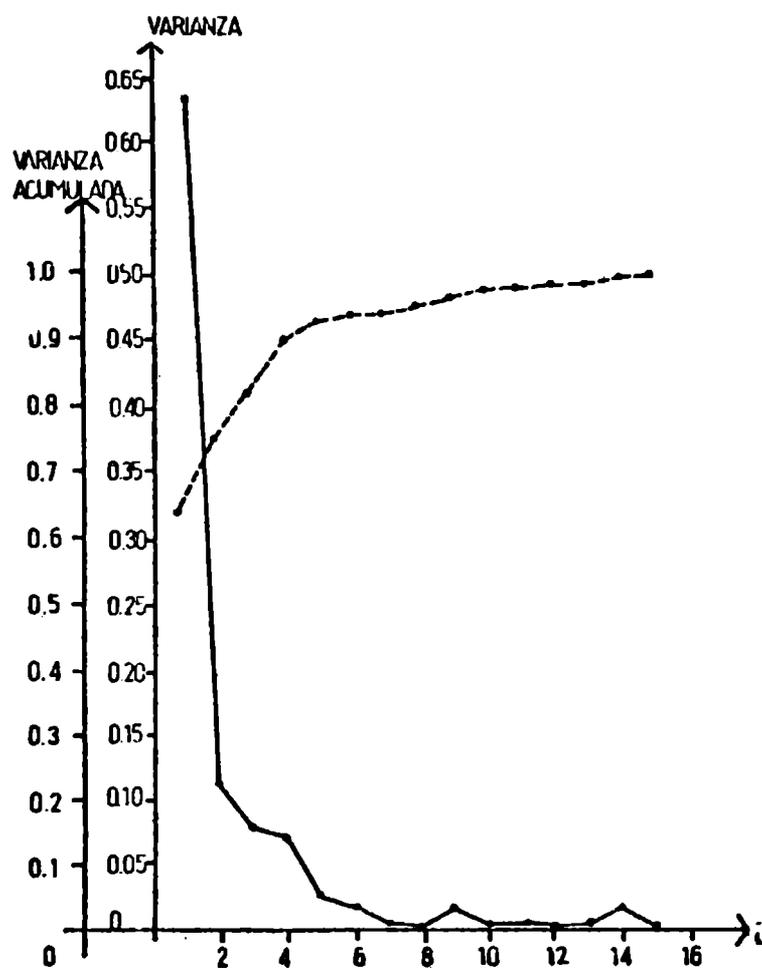


Figura 2: Espectro de Fourier (—) y varianza acumulada (- - -) cuando a los datos del primer período se les sumó una tendencia.

Tabla II

Coficiente χ^2 y de Pearson corregido (C') para Buenos Aires y Chascomús en los dos períodos. (1° período N = 200 meses, 2° períodos N = 124 meses).

CUATRIMESTRE	PRIMERO		SEGUNDO		TERCERO	
	1	2	1	2	1	2
PERIODO						
χ^2	99.50	85.60	142.50	98.70	113.90	85.00
C'	0.64	0.71	0.70	0.70	0.67	0.71

Tabla III

Coefficiente de regresión lineal entre Buenos Aires y Chascomús para ambos períodos separados por cuatrimestres (a = ordenada al origen, b = pendiente).

CUATRIMESTRE	PRIMERO		SEGUNDO		TERCERO	
	1	2	1	2	1	2
PERIODO						
a	0.43	0.44	0.29	0.21	0.39	0.24
b	0.63	0.66	0.60	0.67	0.65	0.79
r	0.70	0.65	0.67	0.71	0.69	0.72

Tabla IV

Constantes de la tendencia lineal y cuadrática para la lluvia anual de Chascomús y Buenos Aires en los dos períodos. (r = estimación del coeficiente de correlación).

		Tendencias					
		a + b . t			a + b . t + c . t ²		
	Período	a	b	r	a	b	c
Buenos Aires	Primero	1.025,0	-1.2	-0.06	1050.1	-4.4	0.07
	Segundo	1.028,7	1.6	0.06	1051.2	-2.4	0.13
Chascomús	Primero	889.8	0.1	0.007	907.9	-2.1	0.05
	Segundo	936.4	-0.7	-0.03	874.9	10.5	-0.3

Tabla V

Constantes de la regresión lineal entre las varianzas acumuladas de Buenos Aires versus la de Chascomús, para cada período (t = estadístico T de Student).

Período	Ordenada al origen	Pendiente		Cantidad de datos	t
	a	b	r		
Primero	-0.06	1.01	0.98	25	30.3
Segundo	-0.06	0.94	0.98	15	22.8

Tabla VI

Constantes de la regresión lineal entre las varianzas acumuladas del primer período versus la del segundo, para cada estación (t = estadístico T de Student).

Estación	Ordenada al origen	Pendiente		Cantidad de datos	t
	a	b	r		
Chascomús	-0.02	0.75	0.98	15	17.8
Buenos Aires	0.02	0.67	0.98	15	22.1

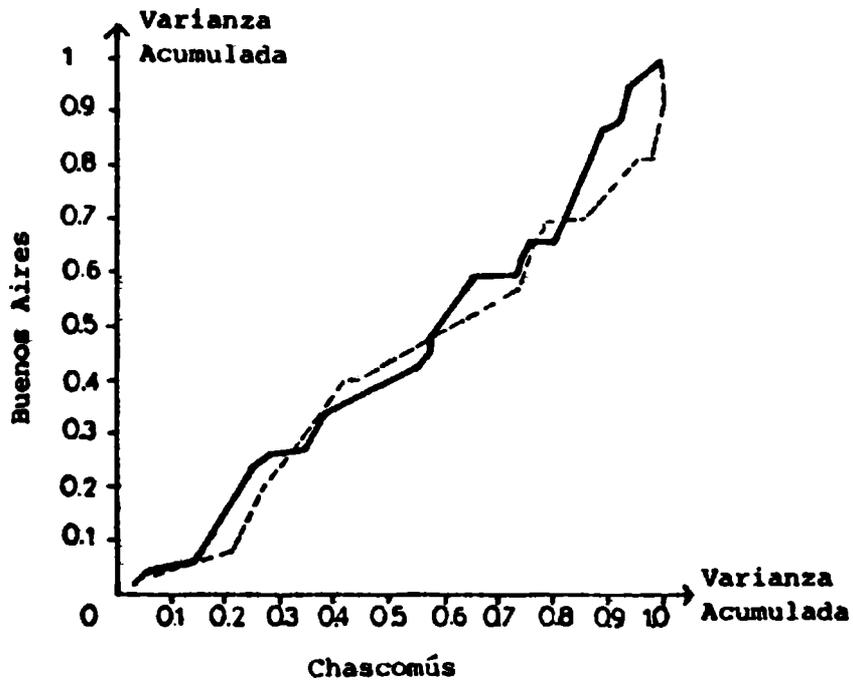


Figura 3: Varianza acumulada de las armónicas del primero (—) y segundo (- - -) período de Buenos Aires versus las correspondientes en Chascomús.

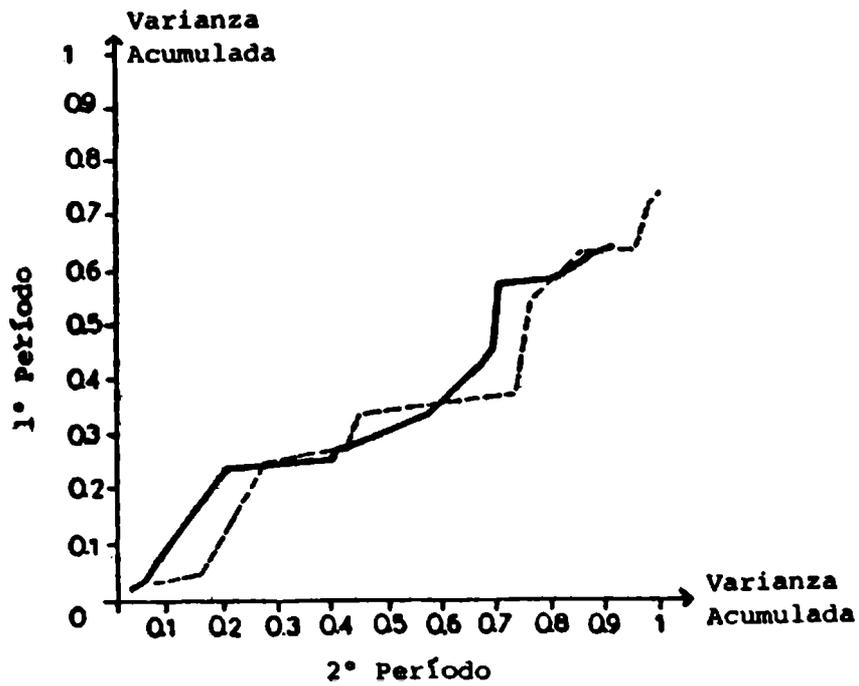


Figura 4: Varianza acumulada de las armónicas del primer período versus la del segundo para Buenos Aires (—) y Chascomús (- - -).