

VARIACION DE LAS PRECIPITACIONES DE 97 AÑOS EN PUNTA ARENAS COMO INDICE DE POSIBLES CAMBIOS CLIMATICOS*

PRECIPITATION VARIATIONS IN PUNTA ARENAS DURING 97 YEARS AS AN INDEX OF POSSIBLE CLIMATIC CHANGES

ARIEL SANTANA A.**

SUMARIO

Se hace un análisis estadístico de los montos anuales de precipitación para Punta Arenas en el período 1888-1984, del cual se deducen los principales parámetros estadísticos, los que son utilizados para estudiar en detalle este régimen interanual. Se concluye que las lluvias anuales de Punta Arenas, se distribuyen según una ley Normal y se clasifican los años de acuerdo con su monto anual, quedando la serie de 97 años dividida en cinco grupos. Basándose en esta clasificación, se hace un análisis de las variaciones que ha tenido este parámetro a través del período, con lo que se plantea la interrogante si éstas variaciones son o no consecuencias de cambios climáticos.

Se utilizan algunas pruebas estadísticas con el objeto de comprobar estos cambios, para lo cual, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial, se ha dividido esta vez la serie en períodos internacionales (1901-1930 y 1931-1960). Finalmente se comparan éstos entre sí y con otros dos períodos deducidos de los años restantes (1888-1900 y 1961-1984), concluyéndose que no existen diferencias significativas entre los períodos, a excepción del treintenio 1931-1960 el que es considerado por Mason (1976) como uno de los períodos de treinta años más anormales del último milenio.

ABSTRACT

The annual amounts of precipitations for Punta Arenas during the period 1888-1984 are statistically analyzed and the main parameters obtained are used in a detail study of its interannual regime. It is concluded that rainfall at Punta Arenas follows a Normal law distributional pattern. Following WMO indications a classification of the years accordingly with their annual amounts of rainfall is made, thus, this series becomes divided into five groups, allowing the analysis of rainfall variations along time. This sets forward the question regarding if these

* Aprobado para su publicación en diciembre de 1984.

** Sección Geografía. Departamento Historia y Geografía, Instituto de la Patagonia, Punta Arenas, Chile.

variations are or are not a consequence of climatic changes. Some statistical test are applied to check this assumption. For this purpose, and also following WMO recommendations, the series were divided into International Periods (1901-1930 and 1931-1960), and these were compared among them and with two other periods deducted from the remaining year (1888-1900 and 1961-1984). No significative differences, however, were found between the periods, excepting the 30 years period 1931-1960, which accordingly with Mason (1976) is considered as one of the most abnormal within the last millenium.

INTRODUCCION

Es conveniente el tratamiento analítico del clima como un trabajo previo a su estudio dinámico, con el fin de conocer las variaciones reales de los elementos en una determinada área o región.

A pesar de las críticas que se le han hecho a este tratamiento y a las insuficiencias que éste pueda tener, se puede encontrar por medio de su aplicación, la solución o al menos la explicación de muchos problemas generados a partir del estudio dinámico. Sin embargo, muchas interrogantes planteadas a partir de un tratamiento estadístico complejo, sólo pueden solucionarse por el estudio de la dinámica general.

En climatología existe una tendencia a minimizar en exceso el tratamiento estadístico, reduciendo los elementos a sus valores medios, usando casi exclusivamente los promedios como parámetro estadístico significativo. Esto hace que se atenúen e incluso, oculten, aspectos importantes de la serie que se estudia, por lo que se hace necesario realizar un análisis más detallado de los datos que se disponen.

La ciudad de Punta Arenas (53° 08' S; 70° 54' O), está ubicada en una zona de transición entre los climas Trasandino con Degeneración Esteparia y De Estepa Frío, descritos por Köppen y por tanto, recibe influencia de ambos. Esta variación climática es parte de los diversos climas presentes en el extremo sur de América y en cuya notable variedad de oeste a este juegan un rol muy importante las precipitaciones. Estas, por su parte varían enormemente a ambos lados de los Andes Australes, en sus Secciones Patagónica y Fueguina, alcanzando valores anuales del orden de unos 3.000 a más de 4.000 mm en la costa occidental, para ir disminuyendo en dirección este y noreste, hasta alcanzar unos 300 mm en la costa atlántica. Sumida en una parte de esta gran gradiente pluviométrica, se encuentra Punta Arenas, área de la cual provienen los datos que son motivo de este estudio.

Los registros pluviométricos más antiguos, se remontan al año 1853 y corresponden a ob-

servaciones hechas por el entonces gobernador de la Colonia de Magallanes, Jorge C. Schythe. Estos antecedentes, si bien son confiables, carecen de regularidad en el tiempo e imposibilitan su estudio a nivel anual. Es sólo a partir de 1888, que existen observaciones regulares y continuas, registradas y publicadas por el Observatorio Meteorológico "José Fagnano" ubicado en el centro de la ciudad. Aquí cabe hacer resaltar la labor del padre Pedro Marabini, desde el inicio de las observaciones hasta el año 1909 (Marabini, 1904 y 1909) y luego el trabajo del Pbro. José Ré, hasta el año 1940 (Ré, 1920 y 1945). Posteriormente, varias entidades se han preocupado de efectuar observaciones y publicaciones, existiendo en la actualidad diversas fuentes de antecedentes.

MATERIAL Y METODOS

La información utilizada para este trabajo, proviene de distintas fuentes, debido a que ellas no siempre coinciden en valores para un mismo periodo. Existen, incluso, notables diferencias en los datos publicados por distintos autores de antecedentes referidos a una misma estación. Por esta razón, y después de una cuidadosa revisión de la información, se obtuvieron los montos anuales de precipitación en Punta Arenas, para el período 1888-1984. Estos valores no corresponden en su totalidad a ninguna de las publicaciones existentes, sino más bien son una consecuencia de todos los antecedentes disponibles. (Marabini, *op. cit.*; Ré, *op. cit.*; Anuarios Meteorológico, 1941 a 1970; Resúmenes meteorológicos estación Jorge C. Schythe. Inst. Pat. 1977 a 1984; World Weather Records, 1959 y 1966; Zamora y Santana, 1981; Jerez y Arancibia, 1972; Capel, 1983; Benítez, 1975; Oyarzo, 1981; Ojeda, 1966.) Todos los antecedentes se encuentran en el Archivo de Información y Documentación Climática de la Sección Geografía del Instituto de la Patagonia.

El tratamiento estadístico utilizado es el sugerido por diversos autores en el campo de la climatología (Albentosa, 1975; Bernabé y Matéu, 1976) y siguiendo algunas sugerencias he-

chas por la OMM (Grisollet *et al.*, en Albentosa, 1975), respecto al tratamiento de las precipitaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

La tabla 1 muestra los totales anuales de precipitación en Punta Arenas para el período 1888-1984. En la figura 1, las barras represen-

tan los totales alcanzados cada año, mientras que los círculos pequeños unidos por rectas, ilustran los promedios quinquenales, asignado cada círculo al año central de cada grupo de cinco años (medias móviles). La línea llena horizontal, representa la media anual de las precipitaciones para esta serie de años.

El promedio $\bar{x}$ para este grupo de años es de 429,8 mm y la desviación estándar (σ) es de 111,3 mm.

TABLA 1

TOTALES ANUALES DE PRECIPITACION PARA PUNTA ARENAS EN EL PERIODO 1888-1984

Año	Precip. (mm)	Año	Precip. (mm)	Año	Precip. (mm)	Año	Precip. (mm)
1888	473,4	1913	446,9	1938	490,8	1963	386,1
1889	464,7	1914	415,9	1939	481,1	1964	303,4
1890	481,8	1915	309,6	1940	455,4	1965	419,4
1891	355,6	1916	432,1	1941	583,0	1966	259,2
1892	288,1	1917	462,0	1942	542,0	1967	306,6
1893	227,6	1918	464,2	1943	494,3	1968	350,2
1894	388,4	1919	380,4	1944	362,4	1969	538,2
1895	428,4	1920	350,7	1945	604,7	1970	499,2
1896	446,0	1921	277,0	1946	440,5	1971	464,6
1897	334,5	1922	297,3	1947	562,0	1972	404,3
1898	320,4	1923	302,4	1948	444,8	1973	374,6
1899	660,1	1924	344,4	1949	503,4	1974	346,5
1900	562,9	1925	356,8	1950	828,6	1975	412,3
1901	421,5	1926	399,3	1951	443,0	1976	575,0
1902	379,8	1927	434,9	1952	360,1	1977	469,1
1903	478,2	1928	179,0	1953	370,4	1978	475,7
1904	525,4	1929	267,9	1954	375,5	1979	510,6
1905	359,0	1930	222,5	1955	623,0	1980	481,6
1906	421,9	1931	262,5	1956	604,5	1981	571,9
1907	489,3	1932	332,0	1957	466,3	1982	435,2
1908	486,1	1933	513,4	1958	503,5	1983	449,5
1909	449,5	1934	411,0	1959	313,3	1984	431,2
1910	389,7	1935	698,4	1960	360,2		
1911	593,1	1936	207,9	1961	375,0		
1912	516,0	1937	606,3	1962	322,4		

En la tabulación de precipitaciones, es frecuente detectar la existencia de períodos secos y de lluvias muy abundantes, lo que hace creer que puede existir cierta periodicidad en éstas. Se dan tendencias crecientes y decrecientes con una duración relativamente grande, que hace suponer que la precipitación de un período cualquiera tendría que ser mayor que el anterior, en caso que se tratara de una tendencia de lluvias crecientes o viceversa. Por lo

tanto, se puede deducir que la precipitación de un período, en alguna medida, depende del anterior; dicho de otro modo, los sucesos no son del todo independientes estadísticamente.

La condición de independencia de los sucesos facilita el trabajo estadístico, pero cuando se trata de montos anuales de precipitación, la dependencia es muy pequeña, por lo que esta condición puede hacerse válida.

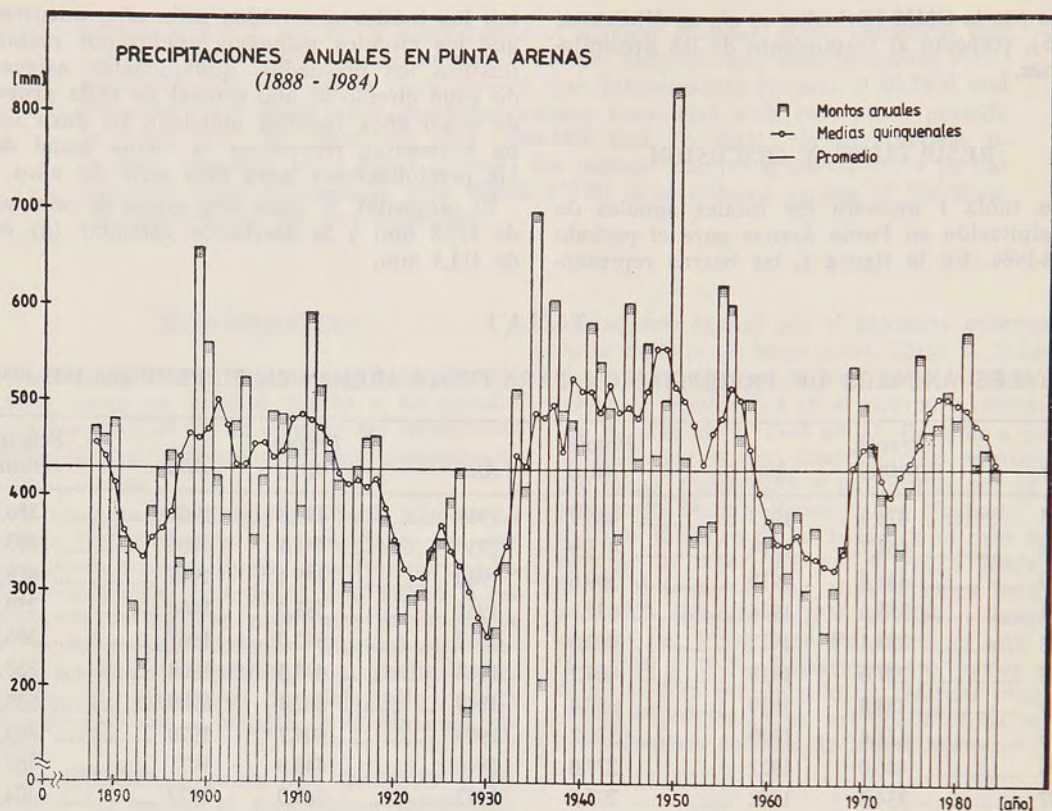


Figura 1

Al hablar de valor promedio y al observar la tabla y figura 1, no hay que perder de vista que esta cifra es el resultado de valores comprendidos entre el mínimo de 179 mm (el año 1928) y un máximo de 828,6 mm (el año 1950), lo que da un rango para las precipitaciones anuales de Punta Arenas de 649,6 mm.

Por otro lado hay que destacar que este promedio corresponde a un número determinado de años, que, por simples razones del azar, y con un criterio puramente estadístico, podría corresponder muy bien a un conjunto de años particularmente secos, o al revés, un grupo de años especialmente lluviosos.

Ante la imposibilidad de obtener un promedio de un número infinito de años, es posible averiguar, sin tomar en cuenta la posibilidad de cambios climáticos, entre qué valores estaría situada esta media, mediante el cálculo de los intervalos de confianza, es decir:

$$\text{promedio} = \bar{x} \pm 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

$$\text{promedio} = 429,8 \pm 1,96 \frac{111,3}{\sqrt{97}} = \begin{matrix} 451,9 \text{ mm} \\ 407,7 \text{ mm} \end{matrix}$$

O sea, la media podría situarse en cualquiera de los valores comprendidos entre 407,7 mm y 451,9 mm. Todo esto con un riesgo del 5%, para lo cual se usó la constante 1,96 de la fórmula.

Otra medida de centralidad importante es un estudio de este tipo, es la mediana, la cual expresa la probabilidad media de las precipitaciones. Por lo tanto, Punta Arenas recibe en la mitad de los años considerados, montos anuales mayores a 431,7 mm y la otra mitad recibe totales inferiores a este valor.

Usando el mismo procedimiento para el cálculo de los intervalos de confianza de la media, con una seguridad del 95%, la mediana queda comprendida entre los valores 404,0 mm y 459,4 mm.

Observando la figura 2, se puede ver que la distribución es unimodal y dentro del intervalo modal están contenidas la mediana y la media.

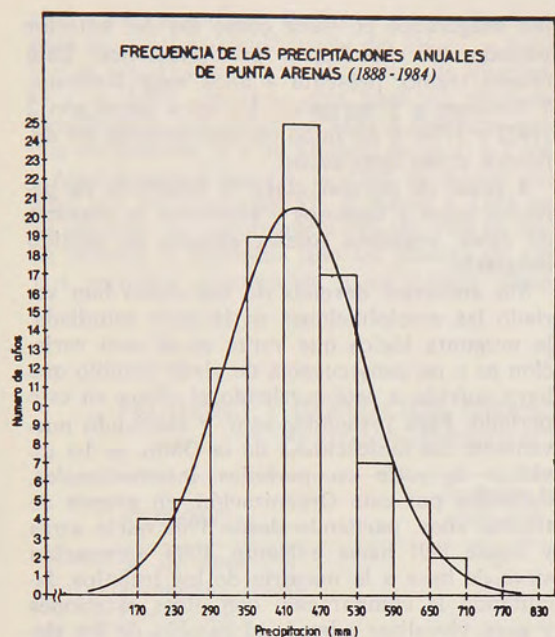


Figura 2

Es decir, se puede sugerir en primera instancia, que los montos anuales de precipitación en Punta Arenas, siguen una ley Normal (en esta distribución teórica, la moda, la mediana y la media son coincidentes).

Para comprobar esto, Albentosa (*op. cit.*) y Bernabé y Matú (*op. cit.*) entre otros, aconsejan aplicar la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, que consiste en calcular las diferencias de los porcentajes acumulados entre las distribuciones empírica y teórica, comprobando que la mayor de ellas, no supere los valores críticos dados en tablas.

Así, en el presente caso, el valor crítico, para un nivel de significancia del 10% ($\alpha = 0.1$) y 97 años de datos ($n = 97$), es de 0,1239 y la mayor diferencia encontrada entre las distribuciones real y teórica es de 0,0577 (ver Fig. 3). Entonces al cumplirse la desigualdad $0,0577 < 0,1239$, se puede admitir con un error tipo I del 10%, que los totales anuales de precipitación de Punta Arenas, siguen una ley Normal. En consecuencia, de la figura 3 se puede deducir la probabilidad de ocurrencia de una determinada precipitación anual, es decir, qué probabilidad hay que los montos anuales en Punta Arenas superen cierto valor, o al contrario, que ocurran bajo determinado monto. Por ejemplo, se puede decir que hay un 10% de probabilidades que la precipitación en Punta Arenas, en un año cualquiera, esté bajo los 294,5 mm, o bien, hay un 90% de probabilidades que en ese año las lluvias superen este valor.

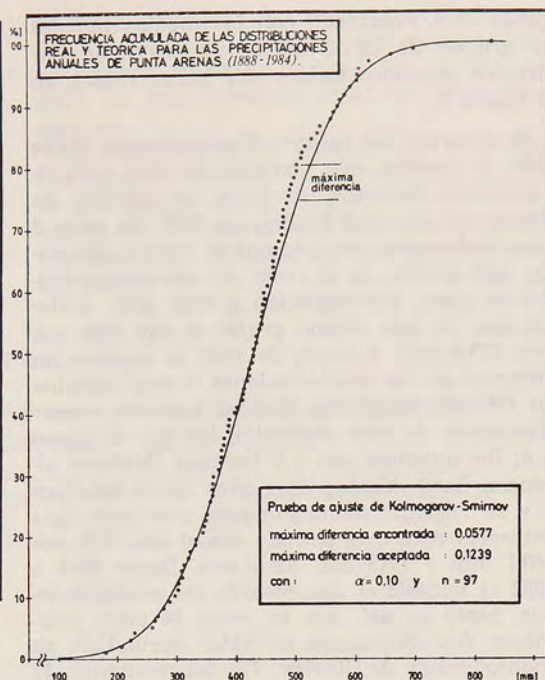


Figura 3

Clasificación de los años, según su monto anual.

Esta clasificación se puede basar en variados criterios, pero diversos autores (Albentosa *op. cit.*; Grisolle *et. al.*, en Albentosa *op. cit.*), siguiendo recomendaciones de la OMM, optan por la división en quintiles, es decir, se reparte el 100% de los totales anuales de precipitación, en grupos de 20% cada uno. Aplicando esta división a la serie de Punta Arenas, se obtienen los siguientes resultados:

$Q_1 = 338,4$ mm; $Q_2 = 397,3$ mm; $Q_3 = 450,7$ mm y $Q_4 = 503,5$ mm. Con estos valores se pueden deducir cinco grupos de totales anuales para Punta Arenas y que quedan definidos de la siguiente manera:

- 1.— Años *muy secos*: aquellos que reciben montos anuales inferiores a 338,4 mm.
- 2.— Años *secos*: los que reciben precipitaciones entre 338,4 mm y 397,3 mm.
- 3.— Años *normales*: con totales de lluvias sobre 397,3 mm y bajo los 450,7 mm.
- 4.— Años *lluviosos*: los que reciben precipitaciones entre 450,7 mm y 503,5 mm.
- 5.— Años *muy lluviosos*: aquellos que reciben montos mayores a 503,5 mm.

Aplicando esta división al régimen de lluvias de Punta Arenas (Tabla 1 y Fig. 1), se distinguen claramente periodos con determinada predominancia en los montos anuales, lo cual

queda bien expresado con las medias móviles de grupos de cinco años, representadas por círculos pequeños unidos por líneas rectas, en la figura 1.

Al observar los montos pluviométricos desde 1888, se aprecia que, después de tres años ligeramente lluviosos, se inicia un período de lluvias escasas, que finaliza en 1898. En estos 8 años, solamente dos presentan montos normales, dos quedan en el rango de año seco y cuatro de éstos, corresponden a muy seco, destacándose en este último grupo, el año 1893 con sólo 227,6 mm. A partir de 1899, se registra un aumento en las precipitaciones el cual culmina en 1918. En estas dos décadas hay una mayor frecuencia de años normales, los que alcanzan a 6; los lluviosos son 5 y los muy lluviosos alcanzan igual número. Los años secos totalizan 3 y se registra solamente uno muy seco. Los extremos para este período son el año 1899 con 660,1 mm y 1915 con 309,6 mm. Desde 1919 a 1932 es notable el descenso de las precipitaciones, tanto es así, que en estos 14 años, solamente dos alcanzaron un valor normal en su monto anual de lluvias. De los restantes 12 años de este período, 4 fueron secos y 8 correspondieron a muy secos. Especial mención se debe hacer al quinquenio 1928-1932, el cual presenta el promedio más bajo de toda la serie, alcanzando a sólo 252,8 mm. Cabe destacar además, que en este lustro todos los años caen en la categoría de muy secos, siendo el más importante, el de 1928 con el escaso monto de 179 mm. Después de este período de baja pluviometría y a partir de 1933, nuevamente se inicia un ascenso en los totales anuales, que dura hasta 1958. Esto queda bien representado en la curva de promedios quinquenales de la figura 1, los cuales, en estos 26 años, no descendieron del valor promedio de la serie. Este período presenta 10 años definidos como muy lluviosos, destacándose particularmente 1950 con 828,6 mm, valor que representa el máximo de todo el período estudiado. Luego en este tramo, destacan 7 años lluviosos, 4 de precipitaciones normales; igual número de años secos y sólo uno muy seco que fue 1936 con 207,9 mm. Similar al período 1919-1932, es el siguiente decenio 1959-1968, donde los montos anuales, durante este lapso, no alcanzan al valor promedio de la serie, y más aún, no alcanzan siquiera el límite inferior de un año normal. A pesar de los bajos montos de esta década, ni los promedios quinquenales, ni los totales anuales, representan extremos mínimos de toda la serie estudiada. Finalmente, el último período comprendido entre 1969 y 1984, se presenta más normal que todos los anteriores, ya que, si bien existen años muy lluviosos, éstos no son

tan exagerados en valor como los del anterior período de abundantes precipitaciones. Este último tramo, presenta 4 años muy lluviosos, 5 lluviosos y 5 normales; los años secos son 2 (1973 y 1974) y no hubo en este período los definidos como muy secos.

A pesar de parecer clara la tendencia de períodos secos a lluviosos y viceversa, la mayoría de éstos, engloban totales anuales en sentido contrario.

Sin embargo, después de ver como han variado las precipitaciones en la serie estudiada, la pregunta lógica que surge es, si esta variación es o no consecuencia de algún cambio que haya sufrido o esté sufriendo el clima en este período. Para responder esto, y siguiendo nuevamente las indicaciones de la OMM, se ha dividido la serie en períodos internacionales, definidos por esta Organización, en grupos de treinta años, partiendo desde 1900 hacia atrás y desde 1901 hacia adelante. Esta agrupación sirve de base a la mayoría de los trabajos, facilitando la comparación con otras estaciones y para visualizar además el cambio de los elementos climáticos, entre un período y otro.

De los antecedentes disponibles para Punta Arenas, sólo se deducen dos períodos internacionales, que son: 1901-1930 y 1931-1960. A los años restantes se les llamó aquí, períodos incompletos y se incluyen en la tabla 2 para su comparación con los internacionales.

La diferencia de valores en los promedios, observados en uno y otro período internacional, están sugiriendo la hipótesis que ésta puede ser la consecuencia de un cambio climático ocurrido entre ambos períodos. Se puede averiguar si esta diferencia es significativa o es sólo producto del azar, calculando con ambos períodos, la razón crítica (r.c.) y comparándola con la *t* de Student, ya que el número de años, en ambos casos es treinta, por lo que deben considerarse como muestras pequeñas.

La razón crítica (r.c.), se calcula mediante la fórmula:

$$r.c. = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\left[\frac{(n_1-1)\sigma_1^2 + (n_2-1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right] \left[\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2} \right]}}$$

donde $\bar{x}_1$, σ_1 y n_1 , son la media, la desviación estándar y el número de años respectivamente, correspondientes al primer período internacional (1901-1930) y $\bar{x}_2$, σ_2 y n_2 , son los mismos parámetros estadísticos, correspondientes al segundo período internacional (1931-1960). Al reemplazar los valores respectivos en la fórmula anterior, la razón crítica para estos dos pe-

riodos es, $r.c. = 2,695$. De las tablas de Student, para un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0,05$) y $v = (n_1-1) + (n_2-1) = 58$ grados de libertad, la $t = 2,002$, mientras que para un nivel de significancia del 1% ($\alpha = 0,01$) e idénticos grados de libertad, la t de Student es igual a 2,664.

Aquí tenemos que $r.c. = 2,695$ es mayor que 2,002 con un riesgo del 5%, y mayor a 2,664 para un nivel de significancia del 1%, con lo cual se rechaza la hipótesis que las medias de ambos periodos representen a un mismo clima,

es decir, las diferencias observadas en los promedios de precipitación en los periodos internacionales, son causadas por un cambio ocurrido en este elemento climático entre estos periodos.

Sin embargo, se ha señalado que el período internacional 1931-1960, y en cuyas estadísticas se han basado muchas investigaciones modernas, es uno de los periodos de treinta años más anormales de los últimos mil años (Mason *op. cit.*).

TABLA 2

PROMEDIO Y DESVIACION ESTANDAR DE LAS PRECIPITACIONES DE LOS PERIODOS INTERNACIONALES E INCOMPLETOS

PERIODO	Períodos internacionales		Períodos incompletos	
	1901-1930	1931-1960	1888-1900	1961-1984
Nº de años	30	30	13	24
Promedio (mm)	395,1	474,8	417,8	420,4
Desviación Estándar (mm)	93,7	132,1	117,0	84,8

Por otra parte, destacan también, la diferencia de valores en la desviación estándar de uno y otro período internacional, lo que revela lo diferente que han variado los totales anuales de precipitación respecto a su media, en cada período (Tabla 2).

Estas diferencias son tan importantes, como para plantear de nuevo la interrogante, que si son o no consecuencias de un cambio climático. Para probar esto, el parámetro estadístico apropiado es la distribución F y el procedimiento consiste en calcular: $F = \text{mayor varianza} / \text{menor varianza}$ (siendo la varianza = σ^2), para confrontar este valor, con los dados en las tablas de esta distribución, con $v_1 = n_1-1$ y $v_2 = n_2-1$ grados de libertad del numerador y denominador, respectivamente y al nivel de significancia (α) elegido.

Reemplazando los valores respectivos, se tiene para los dos periodos internacionales, que $F = 1,99$. Por otro lado, para un nivel de significancia del 5% y con $v_1 = v_2 = 29$ grados de libertad, de las tablas se tiene $F = 2,10$. Como el valor calculado es menor que el extraído de las tablas ($1,99 < 2,10$), significa que no se puede rechazar la hipótesis que las variaciones que han tenido las precipitaciones respecto a su media en cada período internacional, correspondan a un mismo clima. Expresado de otra forma, las diferencias observadas no son significativas.

Si se comparan los periodos restantes (1888-1900 y 1961-1984) con los internacionales, mediante el mismo procedimiento de confrontación de medias (usando la t de Student) y de desviaciones (utilizando la distribución F) de la Tabla 2, resulta:

TABLA 3

RAZONES CRITICAS (LADO IZQUIERDO INFERIOR) Y t DE STUDENT AL NIVEL 5% (LADO SUPERIOR DERECHO), PARA LOS PERIODOS DE LA TABLA 2

Períodos	1901-1930	1931-1960	1888-1900	1961-1984
1901-1930	—	2,002	2,020	2,007
1931-1960	2,6953	—	2,020	2,007
1888-1900	0,6764	1,3425	—	2,030
1961-1984	1,0279	1,7481	0,0778	—

TABLA 4

VALORES DE LA RELACION F (LADO IZQUIERDO INFERIOR) DE LA DISTRIBUCION F AL NIVEL 5% (LADO SUPERIOR DERECHO) PARA LOS PERIODOS DE LA TABLA 2

Periodos	1901-1930	1931-1960	1888-1900	1961-1984
1901-1930	—	2,10	2,43	2,25
1931-1960	1,99	—	2,97	2,25
1888-1900	1,56	1,27	—	2,57
1961-1984	1,22	2,43	1,90	—

Las tablas 3 y 4 muestran los valores calculados de r.c. y la relación F , respectivamente, para los diversos periodos comparados y se ubican en el lado inferior izquierdo de éstas.

En el lado superior derecho, se encuentran los valores tabulados a un nivel de 5% de la t de Student (Tabla 3) y de la distribución F (Tabla 4).

Obviamente, los valores de la parte inferior izquierda de ambas tablas, no deben superar a sus respectivos, ubicados en el lado superior derecho, para no rechazar la hipótesis que las medias y desviaciones de los periodos comparados, corresponden al mismo clima.

En la tabla 3, se aprecia claramente que la única r.c. que supera los valores de t , es la de los periodos internacionales, los que ya fueron analizados. El resto de los periodos comparados no presentan diferencias significativas. En la tabla 4, el valor de la razón F que supera el de las tablas de distribución F , es el correspondiente a los periodos 1931-1960 vs. 1961-1984, con lo que se estaría rechazando la hipótesis planteada. Sin embargo, al disminuir la probabilidad de error al 1%, no se puede rechazar la hipótesis, puesto que para este nivel de significancia, la F de las tablas toma el valor 2,93 y el valor de la razón F calculado para estos periodos es de 2,43. Esta situación plantea lo delicado de aceptar o rechazar la hipótesis que la variación de las precipitaciones en ambos periodos correspondan a idéntico clima. Por otro lado, debe observarse que aquí está de nuevo en comparación el periodo 1931-1960, el cual ha sido considerado como uno de los más anormales del último milenio. Los demás periodos confrontados, no presentan diferencias significativas.

CONCLUSIONES

El régimen interanual de las precipitaciones en Punta Arenas es muy irregular, lo que queda bien reflejado en los montos extremos ocurridos en el periodo estudiado.

La máxima precipitación en un año fue de 828,6 mm, en 1950, mientras que el mínimo monto lo registró el año 1928 con sólo 179 mm.

Esta irregularidad queda de manifiesto además, en los años de escasa precipitación, seguidos de periodos de abundantes lluvias, los que van ocurriendo en forma consecutiva desde el inicio de los registros y quedan muy bien ilustrados en la curva de promedios quinquenales, mostrada en la figura 1. Sin embargo, debe notarse que la mayoría de estos periodos encierra montos anuales con sentido contrario.

El promedio de precipitación para Punta Arenas queda definido en el valor $429,8 \pm 22,1$ mm, entendiéndose con esto que la media puede encontrarse en cualquier valor comprendido entre 407,7 y 451,9 mm. Lo mismo para la mediana que es de $431,7 \pm 27,7$ mm. La desviación estándar por su parte toma el valor de 111,3 mm para esta serie de años. Lo cercano del valor de la media y la mediana, ambas contenidas en el intervalo modal, como se aprecia en la figura 2, sugiere una distribución normal de los totales anuales para Punta Arenas. Esto queda demostrado al aplicar la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, obteniéndose así, una curva de probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones anuales de Punta Arenas, ilustrada en la figura 3.

De acuerdo con los montos que tienen los totales pluviométricos y siguiendo las recomendaciones de la OMM, se dividieron éstos en cinco

grupos, quedando definidos como: años muy secos, años secos, años normales, años lluviosos y años muy lluviosos. Con esta clasificación, se observa que las precipitaciones han variado en forma irregular en el tiempo, como por ejemplo, se puede afirmar que el 52,6% de los años muy lluviosos ocurrieron entre 1933 y 1956, lo que sugiere que esta situación puede ser causa de un cambio climático. Para probar esto y siguiendo nuevamente las indicaciones de la OMM, se dividió la serie en períodos internacionales, puesto que éstos sirven de base a la mayoría de los trabajos. De la serie analizada se deducen sólo dos períodos internacionales y dos períodos incompletos. En esta división, destaca primeramente la irregularidad pluviométrica que queda bien definida por los valores que toma la media en cada uno de éstos y que revela las diferentes magnitudes que alcanzan las precipitaciones en los períodos respectivos. En segundo lugar destacan las diferencias en la variación que han tenido las precipitaciones respecto a su media en cada grupo de años, reflejado esto, con la desviación estandar de cada período.

Se compararon estadísticamente las medias y las desviaciones entre los períodos, utilizando los incompletos sólo como referencias aproximadas, con el fin de cuantificar algunas diferencias significativas que puedan existir entre estos parámetros estadísticos.

Aunque a simple vista, las diferencias son claras, según muestra la tabla 2, y sobre todo los promedios de precipitación de los períodos internacionales, se deduce que son consecuencia de un cambio ocurrido en este elemento entre estos treintenos, quedando definido este cambio, como un aumento de las precipitaciones hacia el período 1931-1960. El resto de los períodos comparados, no presentaron diferencias significativas en sus promedios. Al analizar las desviaciones entre este último y el período 1961-1984, resulta aventurado rechazar de lleno la posibilidad que las variaciones de las precipitaciones en ambos períodos correspondan a un mismo clima. Sin embargo, a la luz de los resultados de la prueba estadística, también es arriesgado afirmar lo contrario, ya que debido a la cercanía de los valores calculados y tabulados, cualquier pequeño error de método o de cálculo sería suficiente para inclinar la decisión en uno u otro sentido. Debe recordarse además que el treinteno 1931-1960 que se está comparando, se destaca como uno muy anormal. Las desviaciones en el resto de los períodos comparados, no presentaron diferencias significativas.

Una alternativa para la confirmación de los cambios climáticos observados aquí, es el análisis

y confrontación de los resultados de otro elemento climático como la temperatura media anual. Al respecto, Zamora y Santana (1979) estudiaron las variaciones de este parámetro, para Punta Arenas, desde el año 1888 a 1979. Sin embargo, la diferente metodología empleada dificulta la comparación de los resultados, quedando esta alternativa para un estudio posterior.

Por último, y como muy bien lo expresa Albentosa (*op. cit.*), aunque el tratamiento estadístico contribuye notablemente al enriquecimiento de la información en estudios climatológicos de este tipo, es insuficiente por sí mismo, para revelar las causas de los fenómenos del tiempo, y plantea problemas cuyas soluciones deben buscarse en los mecanismos físicos de la atmósfera y en las variaciones diarias de la circulación atmosférica en relación con los factores geográficos.

LITERATURA CITADA

- ALBENTOSA S., L. M. 1975. La aplicación del método estadístico en Climatología: 105 años de lluvias en Barcelona (1866-1970). *Revista Geográfica* 1-2: 59-77. Barcelona.
- ANUARIOS METEOROLOGICOS. 1941-1960. Oficina meteorológica de la Fuerza Aérea de Chile. Santiago, Chile.
- BENITEZ G., A. 1975. Climatología e hidrología de la Zona de Punta Arenas. Proyecto de Sistema General de Abastecimiento. Agua Potable de Punta Arenas. Corporación de Magallanes. Anexo N° 3, 113 pp.
- BERNABE M., J. M. y J. F. MATEU B. (1976). Tratamiento estadístico de precipitaciones aplicado al país Valenciano. *Cuadernos de Geografía* 18 (1976), pp. 1-25. Valencia.
- CAPEL M., J. J. 1983. Reflexiones geográficas acerca del clima frío oceánico del hemisferio sur, Punta Arenas (Chile). *Revista Geográfica Norte Grande*. 10, pp. 3-16.
- JEREZ P., M. y M. ARANCIBIA P. 1972. Tratado de isoyetas del sector Centro Oriental de la provincia de Magallanes. *Publ. Inst. Pat. Serie Monog.* N° 4, 29 pp.

- MARABINI, P. 1904. Resumen de las observaciones de quince años (1888-1902). Observatorio Meteorológico del Colegio Salesiano San José. Punta Arenas. Chile. 55 pp.
- 1909. Resumen de las observaciones meteorológicas de veinte años (1888-1907). Observatorio Meteorológico del Colegio Salesiano San José. Punta Arenas. Chile. 59 pp.
- MASON B., J. 1976. Naturaleza de los cambios climáticos y su predicción *Endeavour*. 35 (125): 51-57.
- OJEDA, R. 1966. Breve ensayo sobre el clima y la dinámica en Punta Arenas (mimeo.). FACH, 33 pp.
- OYARZO G., M. P. 1981. Tipología del clima y determinación de índices mensuales de lluvias para la ciudad de Punta Arenas. Trabajo para optar al grado de Licenciado en Educación en Física y Matemáticas. Universidad de Magallanes. Punta Arenas. Chile. 89 pp.
- RE S. S., J. 1920. El clima de Punta Arenas. 32 años de observaciones meteorológicas (1888-1918). Observatorio Meteorológico José Fagnano. Punta Arenas. Chile. 122 pp.
- 1945. El clima de Punta Arenas. 21 años de observaciones meteorológicas (1919-1940). Observatorio José Fagnano. Punta Arenas. (Chile). 132 pp.
- RESUMEN METEOROLOGICO. 1978. Estación Climática C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.*, Punta Arenas. Chile. Vol. 9: 233-236 pp.
- SANTANA A., A. 1982. Resumen Meteorológico año 1982. Estación Climática Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). Vol. 13: 225-230 pp.
- 1983. Resumen Meteorológico año 1983. Estación Climática Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). Vol. 14: 133-138 pp.
- 1984. Resumen Meteorológico año 1984. Estación Climática Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). 15:
- WORLD WEATHER RECORDS. 1941-1950. 1959. U.S. Department of Commerce Washington, D.C. 1361 pp.
- 1951-1960. 1966. U.S. Department of Commerce Environmental Science Service Administration. Vol. 3 South America. Central America. West Indies. The Caribbean and Bermuda, 385 pp.
- ZAMORA M., E. 1977. Resumen Meteorológico 1972-1977. Estación Climática Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). 8: 391-399 pp.
- ZAMORA M., E. y A. SANTANA A. 1979. Resumen Meteorológico año 1979. Estación Climática Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile) 10: 245-250 pp.
- 1979. Oscilaciones y tendencias térmicas en Punta Arenas entre 1888 y 1979. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). 10: 145-154 pp.
- 1980. Resumen Meteorológico año 1980. Estación Jorge C. Schythe. *Ans. Inst. Pat.* Punta Arenas (Chile). 11: 337-342 pp.