

ISSN 0104-1347

## Método para clasificar la anomalía de las lluvias

### A method of classifying rainfall anomalies

Ines Mormeneo<sup>1</sup> y Raúl Díaz<sup>2</sup>

**Resumen** - A partir del auge de la difusión de las condiciones meteorológicas en los medios de comunicación, se hace necesario disponer de índices que reúnan las condiciones de precisión y sencillez, en la categorización de la anomalía. Se analiza el caso de las lluvias anuales y mensuales de Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires. Los objetivos son la determinación de la serie más reciente y con longitud mínima que conserve la representatividad y la formulación de un método de clasificación de las anomalías de las precipitaciones mensuales objetivo y de fácil visualización. Se emplearon técnicas estadísticas diversas, especialmente en la verificación de la bondad de ajuste de la función gamma incompleta a la distribución empírica de totales mensuales de precipitación. La serie 1951-2000 del total anual no difiere significativamente de la serie 1896-2000. Se verificó la bondad de ajuste de la función gamma incompleta. Se construye un índice que mejora la calificación de los datos mensuales pluviométricos. Se demuestra su aplicación en la caracterización de la marcha reciente de las precipitaciones y en la presentación del pronóstico de tendencias climáticas a mediano plazo.

**Palabras claves:** precipitación, clasificación, anomalías.

**Summary** - New impetus in media communication of meteorological anomalies and forecasts have driven a need for simpler and more precise index in order to grasp the magnitude of an event. A case study of Bahía Blanca annual and monthly rainfall is used aiming to identify the shortest and most recent record which is still coherent with the long term historical record as a starting point to design an improved rainfall index which combines simplicity and easiness of representation. Several modern and traditional statistical techniques were used. One major goal was to find out the goodness of fit of the incomplete gamma function to the distribution of monthly rainfall. The 1951-2000 is the minimum annual record which does not depart significantly from the long term historical record (1896-2000). As the gamma function is an adequate fit to the monthly totals of precipitation, indices were developed. Two examples of the application of the indices are given regarding the recent rainfall monthly regime and a quantitative interpretation of medium range forecast issued by weather services of Southern South America.

**Key words:** precipitation, classification, anomalies.

#### Introducción

Desde mediados de la década pasada hay una creciente divulgación de la información meteorológica en los medios de comunicación. A la ocurrencia de

adversidades de alto impacto socioeconómico, se suma la capacidad de informar sobre las tendencias climáticas a mediano plazo (INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE

---

<sup>1</sup> Ing. Agr., Profesora de Agrometeorología, Departamento Agronomía – UNS – Colón 80, 8.000 Bahía Blanca – Argentina. Email: [imormene@uns.edu.ar](mailto:imormene@uns.edu.ar).

<sup>2</sup> Dr., Instituto de Clima y agua, INTA, 1712 Castelar, Buenos Aires, Argentina.

PREDICTION, 2001). Hay dos aspectos en la divulgación de los datos del tiempo: 1) reflejar la situación del evento en relación a la serie de datos pasados es tan importante como el mismo fenómeno en sí, y 2) convertir el valor numérico en un índice que se entienda con facilidad.

Hay varios índices que caracterizan la anomalía de la lluvia como la separación entre la precipitación actual y un valor normal establecido históricamente. El porcentaje del valor normal es el índice más difundido por su simpleza, aunque tiene el inconveniente que el valor "normal" no siempre es representativo del clima local. Los deciles son más precisos desde el punto de vista estadístico, siempre y cuando para su cálculo se disponga de una serie histórica muy extensa (GIBBS & MAHER, 1967). Recientemente, ha surgido el índice de precipitación estandarizado (SPI), basado en la probabilidad de la precipitación, a distintas escalas de tiempo (McKEE *et al.*, 1993). El método consiste en ajustar una serie de tiempo de larga duración a una distribución de probabilidades, que es transformada en una distribución normal, de modo que el promedio de SPI es cero en la localidad y período de análisis (EDWARDS & McKEE, 1997). SCIAN (1997) corroboró la bondad del SPI frente a los índices ya mencionados, al compararlos en la identificación de sequías en Bahía Blanca y Azul.

Las precipitaciones tienen, a menudo, una distribución de frecuencia de totales mensuales con asimetría positiva. La gran dispersión de la variable y la ocurrencia de meses con valores cero de precipitación conspiran para que la función de distribución normal represente bien las series históricas. La transformación de la variable para forzar su ajuste a una distribución normal es una alternativa (TROHA, 1983). El consenso es que la función gamma incompleta es la que mejor ajusta la diversidad de series climatológicas de precipitaciones (BRIGGS & WILKS, 1996). Por ejemplo, CASALS MARCÉN (1984) la aplicó con éxito a varios observatorios españoles. En Argentina, la función ha sido empleada en el cálculo de probabilidades de la cantidad de lluvia en casi toda la región pampeana (STUFF, 1969; CONDE & ROJAS, 1980; VIDAL & COUSILLAS, 1983; DÍAZ & MASIERO, 1980). Recientemente, SKANSI & HORDIJ (2000) demostraron que la metodología mejora la interpretación del pronóstico consensuado de precipitación para el sudeste de Sudamérica.

El problema de la longitud mínima representativa de la serie de referencia no debe ser ignorado.

Los cambios en el régimen de precipitaciones de la región pampeana están bien documentados (SIERRA *et al.*, 1994; HOFFMAN *et al.*, 1997). KREPPER & SEQUEIRA (1994), demostraron que la vida útil de las obras hidrológicas rurales era preferible fijarlas en base a series más cortas y recientes antes que recurrir a una base con todos los datos disponibles. En función de la longitud de la serie, los parámetros de la función gamma incompleta manifiestan una fuerte dependencia temporal (DÍAZ & MARINO, 2001). Por las razones expuestas hay que establecer si una serie de referencia más corta que la máxima disponible, dando mayor peso a los datos recientes, brinda probabilidades de lluvias diferentes a los calculados con la serie original.

Los objetivos de este trabajo son dos: 1) determinar la menor serie de datos de precipitaciones que ofrezca información representativa para Bahía Blanca, y 2) formular un método de clasificación de las anomalías de las precipitaciones mensuales que sea objetivo y de fácil visualización.

## Materiales y métodos

Se trabajó con la base climatológica de la estación Bahía Blanca (38° 44' S, 62° 10' W y elevación de 83 metros). Esta localidad, situada en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Figura 1), se caracteriza por su clima templado sub-húmedo seco o de transición (MORMENEO & CASTELLVÍ SENTÍS, 2001). En la zonificación climatológica de baja resolución, Bahía Blanca pertenece a la llamada diagonal semiárida, una peculiaridad del clima de América del Sur, caracterizada por su desplazamiento

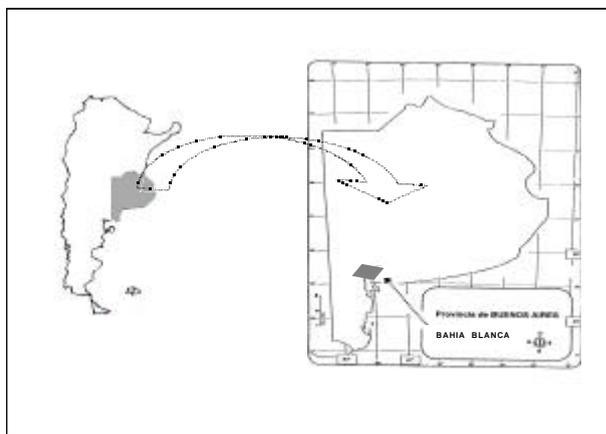


Figura 1. Ubicación geográfica del lugar.

espacial en simetría con los cambios en el régimen pluviométrico de la región (GONZÁLEZ LOYARTE, 1995).

Se dispuso de una base de datos anuales y mensuales de 105 años (1896-2000) del Servicio Meteorológico Nacional, compuesta por 105 registros anuales y 1.260 mensuales, sin datos faltantes. La calidad de la información está asegurada por los estrictos controles de consistencia que, siguiendo normas internacionales, efectúa el organismo responsable. No obstante, se verificó la homogeneidad de la serie mediante la prueba del número de desvíos (DOORENBOS, 1976). Cabe consignar que la serie original empieza en 1861 y termina en el 2000, siendo la elección del período mencionado justificada en la coincidencia con las series mensuales de precipitación. Además de los estadísticos usuales, se computó una curva de crecimiento de la variable, para lo cual simplemente las lluvias fueron ordenadas en forma decreciente, con el número de años involucrados expresados en porcentaje.

En principio se representó la variación de las precipitaciones anuales respecto de la media y las medias móviles en períodos de diez años para toda la serie a fin de comprobar la ausencia de tendencia significativa en el conjunto de datos. Con el mismo propósito se empleó el método de Spearman. El coeficiente de correlación de Spearman es una alternativa no paramétrica en la cual las dos variables se ordenan en forma individual y luego se calcula la correlación entre los valores de posición (SMITH, 1995). Se rechaza la hipótesis de falta de asociación de la distribución cuando el valor absoluto de  $t > t_{stat}$ , al nivel del 1% de significancia.

Se buscó determinar el período mínimo de años representativo para Bahía Blanca de modo que los estudios climatológicos fuesen consistentes con la evolución más reciente de las condiciones atmosféricas predominantes. Se compararon las medias entre la población disponible (105 años) y las de las 4 series más recientes: 1961-2000 (40 años), 1951-2000 (50), 1941-2000 (60) y 1931-2000 (70 años). La técnica es una simplificación del método que emplearon KARL & RIEBSAME (1984) en la identificación de fluctuaciones temporales en las series de temperatura y precipitación de Estados Unidos. Se realizó un test de normalidad de  $\chi^2$  a la serie anual. Se utilizó la distribución t de Student para la comparación de pares de medias, una de la serie con

mayor longitud versus la serie cuya representatividad se quería demostrar, al nivel de significancia del 1%.

El análisis subsiguiente de las lluvias mensuales se circunscribe a la serie más corta y representativa, que no presenta en su promedio una diferencia significativa en el 99,99% de los casos con la media de la serie 1896-2000.

El ejercicio comprende dos tareas sucesivas. Primero hay que comprobar que la función gamma incompleta presenta un buen ajuste a la distribución de los totales de lluvia mensuales. Seguidamente hay que conformar un índice que clasifique en forma objetiva a las anomalías de precipitación, incluyendo ejemplos de su aplicación a casos retrospectivos y en relación a los pronósticos consensuados.

Para los valores mensuales se utilizó la función Gamma Incompleta cuya función  $G(x)$  de densidad de distribución es:

$$G(x) = \frac{1}{b^d \Gamma(d)} x^{d-1} e^{-\frac{x}{b}} \quad (1)$$

siendo  $\delta > 0$  y  $\beta > 0$ ;  $\beta$  es un parámetro de escala y  $\delta$  es de forma.

Para el cálculo de una frecuencia de ocurrencia de un determinado valor de  $x$ ,  $F(x)$ , se resuelve la integral entre 0 y  $x$  de la función de distribución, tal como:

$$F(x) = \int_0^x G(x) dx \quad (2)$$

Aplicando esta distribución en forma mensual, se encuentra que algunos meses presentan uno o más valores nulos de precipitación. En estos casos el procedimiento es algo diferente, debiéndose aplicar una función de distribución mixta, es decir, por una parte los valores cero y por otra, los distintos de cero.

Siendo  $m$  el número de los valores cero para el mes, se acepta que la probabilidad de que la precipitación sea cero es

$$q = \frac{m}{N}$$

y la que sea superior a cero,  $p = 1 - q$ .

En estos casos la distribución de la serie está dada por:

$$H(x) = q + p * G(x) \quad (3)$$

donde  $G(x)$  es la función de frecuencia relativa a los  $N - m$  términos distintos de cero de la serie.

Se contrastaron los totales mensuales de la serie representativa con los valores obtenidos con la función gamma incompleta mediante el test de Kolmogorov-Smirnov (OSTLE & MENSING, 1975). El procesamiento automático se facilitó con el programa estadístico SPSS para Windows, versión estándar 6.1 de 1994.

A continuación se compararon los totales mensuales de lluvias de los niveles de 10, 50 y 90% de probabilidad, representativos de los valores extremos y de posición de la distribución, calculados con la función gamma y los cuantiles de precipitación. Con la serie previamente ordenada en forma decreciente, se conforman conjuntos separados por valores o umbrales llamados cuantiles (DOORENBOS, 1976). Esta comprobación justifica avanzar en la conformación de un índice de anomalías de lluvias con el que se propone, que sea variable según la finalidad.

La aplicación del índice a la caracterización de la evolución más reciente de las lluvias mensuales en Bahía Blanca combina los totales mensuales esperados para los cuantiles 25 y 75 % con los deciles 10 y 90%, de modo de poder caracterizar los meses en cinco clases descriptivas según los niveles de precipitación, de acuerdo al criterio adoptado por GARCÍA de PEDRAZA (1983) y ELÍAS & CASTELLVÍ SENTÍS (1996), presentados en el Tabla 1.

La expresión probabilística de las lluvias, asimismo, habilita una referencia numérica y localizada del pronóstico de tendencias de las lluvias emitido para mayo-julio, 2001 (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2001). Aquí se

**Tabla 1.** Clasificación del período mensual en función de la precipitación según el rango de valores esperados para niveles de probabilidad prefijados.

Clase	Rango de niveles de probabilidad de ocurrencia de lluvias, en %
Muy húmedo	> 90
Húmedo	75 - 90
Normal	25 - 75
Seco	10 - 25
Muy seco	< 10

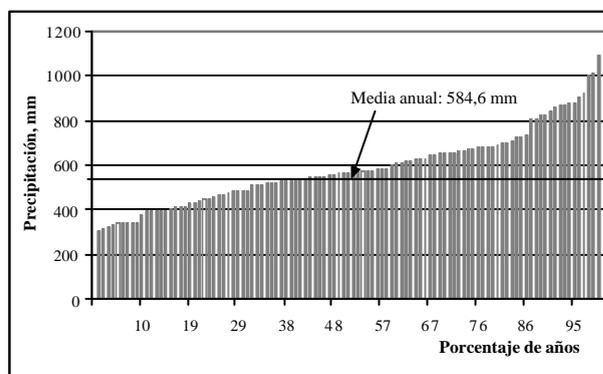
sigue un procedimiento inverso al caso anterior: una vez conocidas las cantidades de lluvias para rangos de niveles de probabilidad hasta 33% y desde 66%, éstas pueden relacionarse en forma inequívoca con los niveles del pronóstico de cada trimestre, asumiendo que las tendencias mensuales no son diferentes a las del trimestre.

## Resultados y discusión

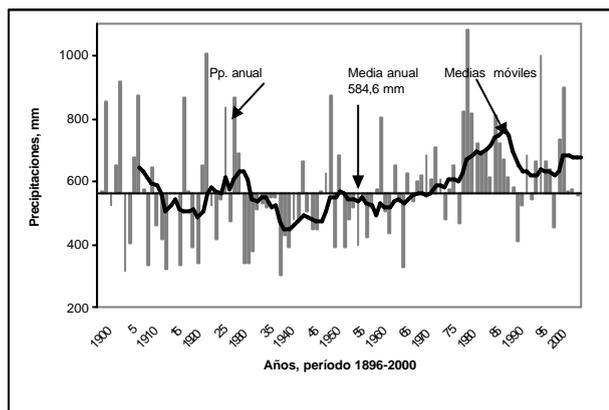
Respecto de los valores anuales, la media de Bahía Blanca es de 584,6 mm en el período 1896-2000. La curva de duración permite apreciar que en el 41% de los años, el total no superó el valor de la media anual (Figura 2). En un año de cada cuatro, la precipitación fue inferior a 467,4 mm y en el cuartil superior, la precipitación excedió los 673,4 mm anuales. Estos valores no difieren mayormente de aquellos calculados con la distribución normal, lo cual sugiere un simple cálculo en base a un ordenamiento decreciente de los datos, con el número de años involucrados expresados en porcentaje.

La variación de las precipitaciones anuales respecto de la media y las medias móviles con períodos de diez años para toda la serie se presenta en la Figura 3.

Una inspección no permite observar tendencia significativa en la serie representativa de 1951-2000. El resultado se confirmó con el método de Spearman, siendo el valor del coeficiente de correlación de 0,272 ( $t=1,958 < t_{0,975}=1,984 < t_{0,995}=2,626$ ). Para la serie 1916-1991, CASTAÑEDA & BARROS (1994) hallaron que la tendencia de los totales anuales de Bahía Blanca era de 1 mm año<sup>-1</sup>, valor no significativo al nivel del 1%.



**Figura 2** Curva de crecimiento de las lluvias en Bahía Blanca, período 1896-2000



**Figura 3** Variabilidad de las lluvias anuales y medias móviles decádicas para Bahía Blanca (1896-2000)

Se buscó determinar el período mínimo de años representativo para Bahía Blanca a fin de que los estudios climatológicos sean de aplicación a la agricultura moderna. Comparando los valores de cuatro series recientes, abarcando los últimos 40 a 70 años, se concluye que no hay diferencias significativas ( $P > 0,01$ ) para una serie anual mínima de 50 años, es decir a la serie 1951-2000 (Tabla 2).

Los niveles de probabilidad de la serie reciente reflejan parcialmente el aumento de las lluvias durante la segunda mitad del siglo XX que tuvo lugar en gran parte del territorio argentino, (HOFFMAN *et al.*, 1997). Se desprende del Tabla 3, que los totales anuales de la serie 1951-2000 tienden a concentrarse en un rango más estrecho que los equivalentes de la serie 1896-2000, como lo prueba que el coeficiente de variación de 28,5% para la serie 1896-2000 haya disminuido a 23,5% en la serie 1951-2000.

La diferencia en cantidad de lluvia para un mismo nivel de probabilidad entre ambas series se reduce a medida que aumenta la probabilidad. En otras palabras, la frecuencia de años secos ha disminuido

en los últimos años en mayor proporción que el aumento de totales anuales de precipitación en el extremo muy húmedo. GARCÍA & GHIETTO (1996), en un análisis del régimen de lluvias de 50 estaciones al norte del paralelo 40°S, concluyeron que a diferencia de los períodos de sequía, los períodos húmedos se agrupan de a dos años o más, los que a partir de 1972 presentan totales muy por encima de los valores normales, al punto tal que sólo 1988 puede clasificarse como no húmedo.

Al comparar las medias entre la población disponible (105 años) y los últimos cuarenta años (1961-2000) se puede afirmar, con un error menor del 0,01 %, que estos últimos cuarenta años fueron los más húmedos de todo el período, por lo cual no se lo puede considerar como normal climatológica de Bahía Blanca con una confianza del 99,99 %. Sin embargo, se puede considerar a la serie 1951-2000 como la serie mínima representativa para Bahía Blanca al no presentar diferencias significativas con la serie total.

Los estadísticos de los totales mensuales de lluvia para la serie 1951-2000 se presentan en el Tabla 4. En un contexto de fuerte variabilidad, marzo tiene un coeficiente de variación de 63% que es casi la mitad del valor de junio.

La distribución muestra un invierno poco lluvioso y un semestre cálido algo húmedo, con un valor medio máximo en marzo que sólo difiere significativamente ( $P < 0,05$ ) con los promedios de enero y octubre, cuarto y quinto meses respectivamente más lluviosos para la localidad. A lo largo del año, las medias son superiores a la mediana, significando que las precipitaciones mensuales son inferiores al promedio respectivo en más de la mitad de los años de la serie, un indicio más del grado de asimetría de la distribución de lluvias mensuales. Por esta razón la mayoría de los trabajos sobre probabilidades de lluvia en Argentina, desde su iniciador STUFF (1969)

**Tabla 2.** Nivel de significación efectivo P del test t de comparación de medias anuales de cuatro series recientes con duración de 40, 50, 60 y 70 años respecto de la serie 1896 - 2000 ( $P < 0,05$ , se rechaza la hipótesis nula).

Período	P
1931 - 2000	0,69
1941 - 2000	0,30
1951 - 2000	0,14
1961 - 2000	0,04

**Tabla 3.** Comparación entre los totales anuales (en mm) de precipitación de las series con longitud máxima y mínima representativas para las probabilidades del 10, 25, 50, 75 y 90 % en Bahía Blanca.

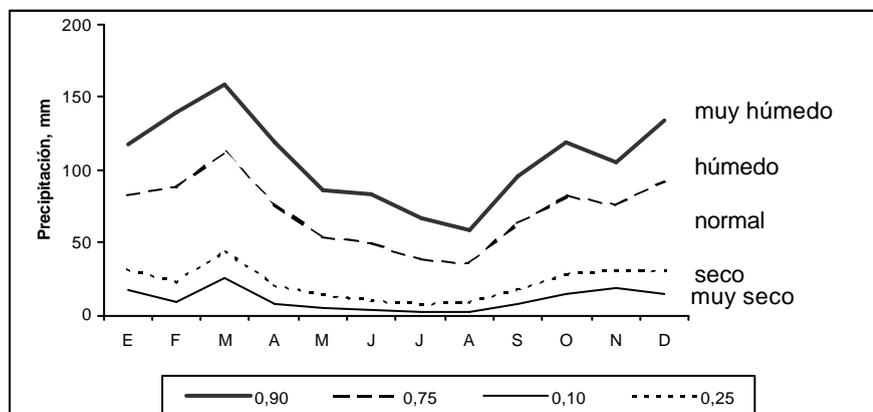
Período	Niveles de probabilidad, en %:				
	10	25	50	75	90
1896-2000	371,1	472,3	584,6	697,0	798,2
1951-2000	436,7	525,8	624,8	723,8	812,9

**Tabla 4.** Valores medios, medianas, desvíos y coeficiente de variación de los totales mensuales de precipitación de Bahía Blanca. Serie 1951-2000.

Meses	Media	Mediana	Desvío	Coeficiente
	mm	mm	mm	%
Enero	62,2	49,8	41,0	65,9
Febrero	64,4	51,7	55,0	85,5
Marzo	85,3	77,7	53,6	62,9
Abril	54,8	39,8	44,9	81,9
Mayo	39,5	38,7	28,4	72,0
Junio	35,8	22,5	39,4	110,0
Julio	27,5	19,9	25,6	93,1
Agosto	26,1	19,1	23,7	90,7
Septiembre	45,1	45,2	30,8	68,3
Octubre	60,5	50,9	40,9	67,6
Noviembre	57,0	51,7	39,8	69,8
Diciembre	66,6	55,7	46,4	69,7

hasta SKANSI & HORDIJ (2000), están basados en el uso de la función gamma incompleta. Los valores de probabilidades a paso mensual de la serie 1951-2000 muestran que marzo es el mes con lluvias más “seguras”, en contraste con junio, julio y agosto, donde el porcentaje de casos con lluvia nula fluctúa entre el 2% y el 4% (Tabla 5, Figura 4).

Los deciles a los niveles de 10 y 90% representan en forma inadecuada la distribución real de las precipitaciones. La imprecisión de los deciles en el extremo inferior de la serie pluviométrica fue demostrada por SCIAN (1997). En el extremo



**Figura 4.** Precipitaciones mensuales esperadas con cuatro niveles de probabilidad (0,10; 0,25; 0,75 y 0,90 de la serie 1951-2000 utilizando la función gamma incompleta

opuesto, una mejor definición de las lluvias al nivel del 90% de probabilidad es importante, porque la región atraviesa una fase húmeda, con meses cuyos totales están muy por encima de la mediana correspondiente.

Dado que los episodios húmedos en Bahía Blanca se han intensificado a partir de la década del setenta, se consideró interesante la aplicación de las probabilidades de lluvias como índice para caracterizar el grado de anomalía en la marcha de las precipitaciones mensuales del bienio 1999-2000 (Figura 5). En 1999 hubieron 4 casos de anomalía: febrero y marzo fueron meses “húmedos” mientras que abril y octubre se calificaron de “secos”. En el año 2000 si bien el total de casos anómalos fue el mismo que en 1999, la variabilidad de las precipitaciones fue muy marcada: febrero fue “muy húmedo”, como lo demuestra que la probabilidad de una lluvia total mensual mayor a 176 mm sería al **5% y diciembre muy seco, con sólo 2,7mm**. Esta pequeña muestra confirma una de las características salientes de las zonas semiáridas, en cuanto a que la variabilidad de las precipitaciones es muy marcada. Este aspecto ya fue puesto de manifiesto por MINETTI & SIERRA (1984) al demostrar que la disminución del total anual medio desde un ambiente húmedo a uno semiárido, en una transecta entre 64 y 66° W, está asociado a un aumento en la oscilación interanual de las lluvias.

El valor del índice podría tener una aplicación práctica en la definición de la efectividad de acumulación de agua del barbecho de otoño, un componente importante para atender la demanda hídrica del ciclo del trigo, con una metodología semejante a la empleada por NEILD *et al.* (1987) para Nebraska.

Un campo novedoso de aplicación de las probabilidades de lluvia y de un índice asociado, tal como el aquí presentado, lo constituye el Foro de Perspectiva Climática para el Sudeste de Sudamérica que cada tres meses reúne a técnicos e investigadores de los Servicios Meteorológicos de Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay, del Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE-Brasil),

**Tabla 5.** Comparación de totales mensuales de lluvia (en mm) esperados para los niveles del 10, 50 y 90 % con la función gamma incompleta y el método de cuantiles para Bahía Blanca. Serie 1951-2000.

Meses	mm de lluvia para niveles de probabilidad (%) de:					
	10		50		90	
	Gamma	Cuantil	Gamma	Cuantil	Gamma	Cuantil
Enero	17,6	9,7	52,8	41,0	117,3	62,2
Febrero	9,3	***	48,0	55,0	138,9	64,4
Marzo	25,5	16,6	72,0	53,6	158,9	85,3
Abril	7,7	***	41,6	44,9	119,1	54,8
Mayo	5,7	3,0	29,1	28,4	85,2	39,5
Junio	3,3	***	24,1	39,4	83,3	35,8
Julio	1,8	***	18,5	25,6	65,9	27,5
Agosto	2,9	***	19,1	23,7	58,4	26,1
Septiembre	7,2	5,6	35,1	30,8	95,4	45,1
Octubre	14,9	8,1	50,1	40,9	118,6	60,5
Noviembre	18,0	6,0	49,8	39,8	104,6	57,0
Diciembre	13,9	7,1	54,7	46,4	134,3	66,6

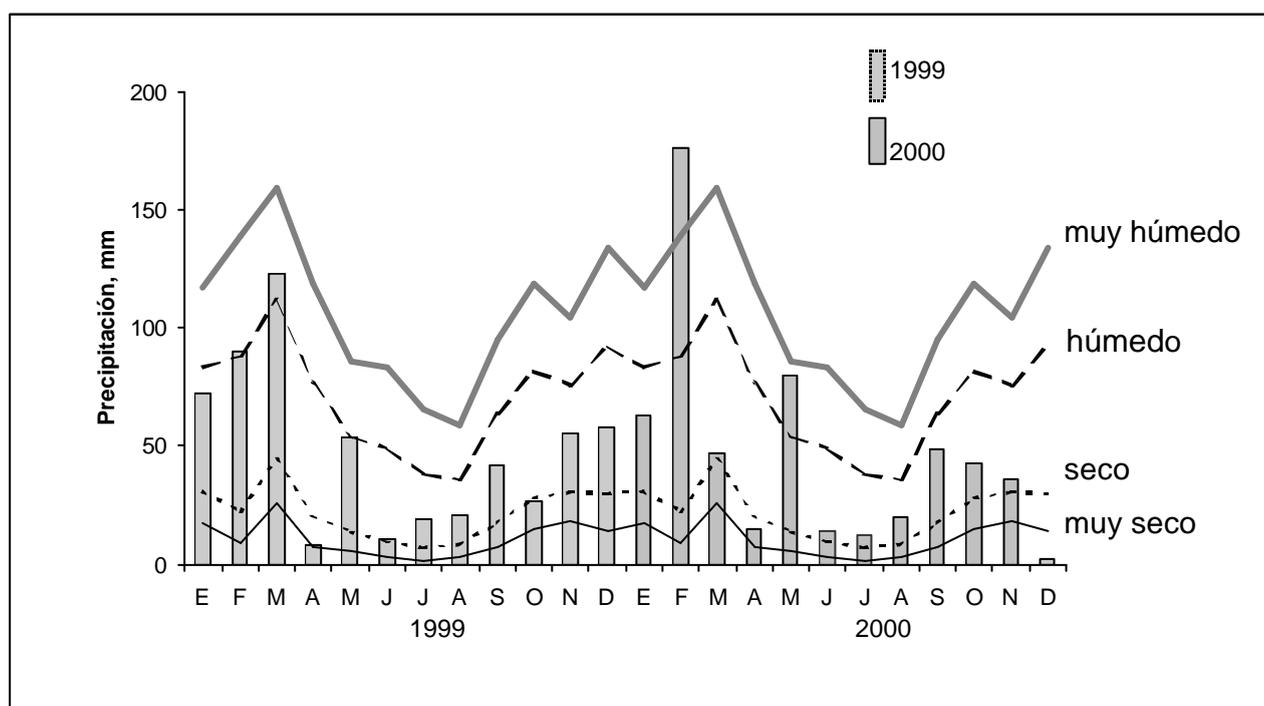
\*\*\* valores negativos obtenidos con datos reales

analizada. El reciente Foro se llevó a cabo en el Centro Nacional de Pesquisas do Trigo de Embrapa en Passo Fundo, Brasil, los días 24 y 25 de abril de 2001. La previsión se hace en términos probabilísticos según tres categorías: normal, superior a lo normal e inferior a lo normal, coincidentes con las categorías delimitadas por los terciles de la distribución histórica de precipitación y temperatura.

El pronóstico consensuado del XII Foro Regional para el trimestre mayo-julio, 2001 separa cuatro regiones con diferentes probabilidades de ocurrencia de precipitaciones. Para la región I, que incluye a Bahía Blanca, las probabilidades son: 35% de probabilidad de precipitación por encima de lo normal, 45% de probabilidad de precipitación en el entorno de la normal y 20% de probabilidad de precipitación por debajo de lo normal (SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL, 2001). En la Figura 6 se representa el pronóstico de tendencias en forma cuantitativa, siendo que cada una de las barras

del International Research Institute for Climate Prediction (IRI-EE UU) y de la Universidad de la República (Uruguay). El resultado principal del evento es la presentación de las previsiones climáticas referidas a las condiciones medias durante la estación

del International Research Institute for Climate Prediction (IRI-EE UU) y de la Universidad de la República (Uruguay). El resultado principal del evento es la presentación de las previsiones climáticas referidas a las condiciones medias durante la estación



**Figura 5.** Caracterización de las anomalías de las precipitaciones mensuales de 1999 2000 en Bahía Blanca en relación a umbrales prefijados de probabilidades de lluvia.

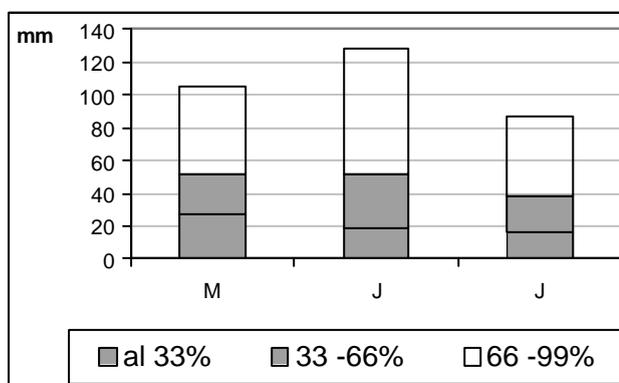
se conforma con un rango delimitado por los milímetros de precipitación para los niveles de probabilidad de cada categoría. Así el tercil superior corresponde a los totales para los niveles de 66 y 99% de probabilidad.

**Se puede apreciar que el cálculo de las probabilidades de precipitación mensual habilita una representación adecuada del régimen reciente de Bahía Blanca, que permite extender su aplicación a la caracterización del grado de anomalía de los totales actuales y a una mejor ponderación de los pronósticos consensuados de tendencias climáticas. A su vez, queda planteada la factibilidad de traducir los niveles de probabilidad para evaluar la eficiencia de los barbechos que anteceden la implantación de los cultivos de invierno.**

## Conclusiones

Con respecto a las precipitaciones anuales, la serie mínima representativa de las lluvias en Bahía Blanca, debe incluir los últimos 50 años (1951-2000). Así mismo, un estudio de la serie total disponible, permite observar que no hay una tendencia significativa en la precipitación anual a través de las medias móviles de 10 años.

Los niveles de probabilidad de la serie reciente, reflejan parcialmente el aumento de las lluvias observado en gran parte del territorio argentino, durante la segunda mitad del siglo veinte. Por otra parte, la frecuencia de años secos ha disminuido en los últimos años en mayor proporción que el aumento de totales anuales de precipitación.



**Figura 6.** Pronóstico de tendencias en forma cuantitativa para los meses de mayo, junio y julio, en la Región I.

La función "gamma incompleta" aplicada a la serie de lluvias mensuales en Bahía Blanca proporciona un buen ajuste lo que permite elaborar un método para clasificar las anomalías de la lluvia mensual.

Se considera de utilidad la aplicación de las probabilidades de lluvias como índice para caracterizar el grado de anomalía en la marcha de las precipitaciones mensuales pudiendo calificar así a un año o grupo de años, de acuerdo a este criterio. Se podrá extender esta clasificación de franjas de las lluvias a todas las estaciones en el territorio argentino y realizar mapas de distribución regional de las precipitaciones en porcentajes, en su carácter de muy seco-seco-normal-húmedo-muy húmedo.

Otra aplicación concreta es la representación gráfica de las tendencias de las lluvias mensuales que periódicamente ofrecen organismos internacionales, nacionales o locales, los que a menudo no pueden ser interpretados con facilidad por los usuarios y los divulgadores.

La metodología aplicada a las lluvias de Bahía Blanca puede extenderse a otras localidades y, además, dará un marco de integración a escalas mayores.

## Referencias bibliográficas

- BRIGGS, W.M.; WILKS, D.S. Estimating monthly and seasonal distributions of temperature and precipitation using the new CPC long-range forecasts. **Journal Climate**, Fort Collins, n. 9, p. 818-839. 1996.
- CASALS MARCÉN, J.M. **Distribución de las precipitaciones. Tablas de la distribución Gamma incompleta adaptadas a climatología.** Madrid: I.N.M. 1984. 24 p.
- CASTAÑEDA, M.E.; BARROS, V. Las tendencias de la precipitación en el cono sur de América al este de los Andes. **Meteorológica**, Buenos Aires, v. 19, n. 1-2, p. 23-32. 1994.
- CONDE, A.A.; ROJAS, A.C. **Probabilidad de lluvias para la Pcia. de Entre Ríos.**, PARANÁ: I.N.T.A./E.E.R.A., 1980, 75 p. (Serie Técnica n° 49)
- DÍAZ, R.A.; MARINO, M. Análisis temporal de los parámetros de la distribución gamma incompleta aplicada a las lluvias. **Revista Argentina de Agrometeorología**, Buenos Aires, v. 1, n. 2, p. 76-81. 2001
- DÍAZ, R.A.; MASIERO, B.L. **Las lluvias de Marcos Juárez (Prov. de Córdoba). II Probabilidad de ocurrencia de lluvias. Período 1948-1977.** Marcos Juárez: EEA-INTA, 1980. 15 p. (Publicación técnica Suelos y Agroclimatología, n. 2).

- DOORENBOS, J. **Agro-meteorological field stations**. FAO: Rome, 1976. 54 p. (Irrigation and drainage paper n. 27).
- EDWARDS, D. C.; MCKEE, T. B. Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. In: **Climatology Report Number 97-2**, Colorado State University: Fort Collins, Colorado. 1997. 75 p.
- ELÍAS, F.; CASTELLVÍ SENTÍS, F. **Agrometeorología**. Madrid: Ediciones Minda-Prensa. 1996. 251 p.
- GARCÍA DE PEDRAZA, L. Notas sobre precipitación atmosférica en el Observatorio de Madrid. **Revista de Meteorología del Instituto Nacional de Meteorología de España**, Madrid, v. 12, n. 2, p. 257-269. 1983.
- GARCÍA, N.O.; GHETTO, M.A. Características climático-sinópticas de los extremos hídricos en la República Argentina. In: CONGRESO ARGENTINO DE METEOROLOGÍA, 7., Buenos Aires, 1996. **Actas** .... Buenos Aires: Centro Argentino de Meteorólogos, 1996. p. 103-104
- GIBBS, W. J.; MAHER, J. V. **Rainfall deciles as drought indicators**. Melbourne: Bureau of Meteorology, 1967. 58-64 p. (Bulletin, n. 48)
- GONZÁLEZ LOYARTE, M.M. La diagonale aride argentine: une réalité écologique oscillante. **Sécheresse**, Montrouge, France, v. 1, n. 6, p. 35-44, 1995.
- HOFFMAN, J.A.J.; NÚÑEZ, S.E.; VARGAS, W.M. Temperature, humidity and precipitation variations in Argentina and the adjacent sub-antarctic during the present century. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, n. 6, p. 3-11, 1997.
- INTERNATIONAL RESEARCH INSTITUTE FOR CLIMATE PREDICTION. **Annual Report 1999-2000**. Palisades: IRICP, p. 20-21. 2001.
- KARL, T.R.; RIEBSAME, W.E. The identification of 10- to 20- year temperature and precipitation fluctuations in the contiguous United States. **Journal Climate Applied Meteorology**, Fort Collins, n. 23, p. 950-966, 1984.
- KREPPER, C.M.; SEQUEIRA, M.E. Modificación en las distribuciones de frecuencia de precipitación frente a tendencias en los registros históricos. In: del CONGRESO NACIONAL DEL AGUA, 15, La Plata, 1994. **Actas...**, La Plata: Comité Permanente de los Congressos Nacionales del Agua, tomo 2, 1994. P. 171-183.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 17-22 January, 1993. Anaheim, CA, **Preprints**..., Anaheim: American Meteorological Society, p. 179-184. 1993.
- MINETTI, J.L.; SIERRA, E.M. La expansión de la frontera agrícola en Tucumán y el diagnóstico climático. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán**, San Miguel, v. 61, p. 109-126, 1984.
- MORMENEO, I.; CASTELLVÍ SENTÍS, F. Evaluación de un modelo en la generación de precipitaciones diarias. **Revista Brasileira de Agrometeorología**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 311-315, 2001.
- NEILD, R.E.; WILHITE, D.A.; HUBBARD, K.G. Preseason precipitation probabilities as an aid to corn planting decisions. **Agricultural and Forest Meteorology**, New York, v. 41, p. 259-266, 1987.
- OSTLE, B.; MENSING, R.W. **Statistics in research**. 3. ed. Ames, Iowa: The Iowa University Press, 1975. 596 p.
- SCIAR, B. Comparación entre el índice de precipitación estandarizado y otros índices hidrológicos para la región pampeana. **Meteorológica**, Buenos Aires, v. 22, n. 2, p. 37-47, 1997.
- SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL. **Pronóstico de la precipitación para mayo-julio, 2001**. In: FORO DE PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS PARA EL SUDESTE DE AMÉRICA DEL SUR, 12, Buenos Aires, 2001. Disponible en: <http://www.meteofa.mil.ar/clima/foro.htm>. Accesado en: 2001.
- SIERRA, E.M.; HURTADO, R.H.; SPESCHA, L. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la región pampeana 1941-1990. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Buenos Aires, v. 14, n. 2, p. 139-144, 1994.
- SKANSI, M.; HORDIJ, J.H. Estudio acerca de la presentación de los pronósticos de tendencias trimestrales de precipitación. In: REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGÍA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS, 8., Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, 2000. **Actas...**, Mendoza: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2000. p. 119.
- SMITH, K. Precipitation over Scotland, 1757-1992: some aspects of temporal variability. **Internacional Journal of Climatollogy**, London, v. 15, p. 543-556, 1995.
- STUFF, R. **Probabilidades de lluvias en la Estación Experimental Agropecuaria Pergamino., E.E.A. Pergamino**. Pergamino: I.N.T.A. 1969. 16 p. (Informe Técnico n. 39).
- TROHA, A. Régimen de precipitaciones en la Pcia. de Buenos Aires. TALLER ARGENTINO-ESTADOUNIDENSE SOBRE SEQUÍAS, MAR DEL PLATA, 1983. **Actas...**, Buenos Aires: J.J.Burgos (editor), 1983. p. 88-109.
- VIDAL N.A.; COUSILLAS, C.F. **Análisis de las precipitaciones en el sudeste bonaerense II. Probabilidad de ocurrencia**. La Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 1983. 32 p. (EUDEM, Colección Informes Técnicos).