

ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN COMODORO RIVADAVIA

María Jesús Chachero

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Av. 9 de Julio 25. CP 9100. Trelew. Provincia del Chubut. 0280-442-8403
e_mail: mjchachero@gmail.com

RESUMEN

El 14 de enero de 2013, una tormenta de características inusuales azotó la ciudad de Comodoro Rivadavia, ocasionando daños muy severos en la zona urbana. Según el Servicio Meteorológico Nacional, sólo se registraron 9 mm de lluvia, concluyendo que debió de tratarse de un evento localizado, o sobre la alta cuenca con valores casi despreciables en la ciudad. Esto motivó el estudio de otros eventos extraordinarios y su modo de registro, analizando la tormenta del 12 al 14 de abril de 2011, que superó ampliamente los registros oficiales históricos de la región. Debe considerarse que el estudio de la precipitación busca interpretar esos fenómenos, para proporcionar soporte a estudios y proyectos de obras de ingeniería. Estos exigen la determinación de caudales de diseño, siendo indispensable contar con valores confiables de precipitación asociados a recurrencias.

Palabras clave: precipitación máxima, período de retorno, registros pluviométricos.

ABSTRACT

On January 14, 2013, an unusual storm fell over Comodoro Rivadavia city, severally damaging the urban area. However, according to the National Weather Service information, the rain intensity was only 9 mm. Then, it is inferred that the storm was very concentrated, or it was located in the upper basin. This fact motivated further studies of other extraordinary events and the methodology of recording such events; for instance, in April of 2011, there was a huge event never measured before in the region, which is presented in this study. It should be noted that the rainfall analysis aims to interpret these phenomena and to provide support for studies and engineering projects by means of reliable values of rainfall assigned to specific frequency which are required for computing design discharges.

Key words: maximum rainfall intensity, return interval, rainfall records.

INTRODUCCIÓN

La asociación de precipitaciones de diferentes duraciones a los correspondientes períodos de retorno requiere el empleo de operadores estadísticos para su posterior aplicabilidad a diversos estudios e investigaciones hídricas. Su aplicación más directa resulta de interés en estudios y proyectos hidráulicos y, particularmente, en el diseño con criterio probabilístico, de estructuras de control de crecidas y desagües pluviales.

En abril de 2011 ocurrió un evento de características extraordinarias en la ciudad de Comodoro Rivadavia. La lluvia caída alcanzó 81.5 mm en 12 hs y 98 mm en 24 hs (según datos del Servicio Meteorológico Nacional en la estación Aeropuerto de Comodoro Rivadavia). Esta lluvia, caída en 24 hs, supera en algo más de 50 por ciento la lluvia máxima diaria registrada en 57 años. La recurrencia de la tormenta estimada - en base a los estudios existentes sin tener en cuenta esta tormenta-, era mayor a 1000 años.

Asimismo, se pone en relevancia la modalidad de la toma de datos, ya que la serie correspondiente al período 1956/2012 desagregada en datos diarios, corresponde a información recogida a las 9 de la mañana de cada día, mientras que para la tormenta de abril de 2011 se cuenta con registros cada 6 hs, donde se observa que los 98 mm en 24 hs ocurren entre las 12 hs del 12 de abril y las 12 hs del 13 de abril.

Con la introducción de estos nuevos datos de lluvias máximas ocurridas en abril de 2011, se obtienen nuevas relaciones funcionales, sensiblemente distintas a las existentes en términos de períodos de retornos asociados.

La interpretación y uso de los mismos, debe hacerse en el marco estricto de las hipótesis del método probabilístico, con sus limitaciones y restricciones.

OBJETIVOS

Determinar las relaciones funcionales entre precipitaciones diarias y recurrencia asociada en la región de Comodoro Rivadavia, y analizar el modo de toma de datos en los resultados finales.

METODOLOGÍA

En este trabajo se analiza la información pluviométrica como procesos aleatorios puros, utilizando parámetros y funciones de carácter estadístico. El objetivo fundamental es el tratamiento de eventos meteorológicos extremos – como precipitación máxima – y de información hidrológica media, como lluvias mensuales y anuales. Los métodos estadísticos se basan en principios matemáticos que describen la variación aleatoria de un conjunto de observaciones, independientemente de los fenómenos físicos que producen dichas variaciones.

Recopilación y Valoración de Antecedentes

Como material base se utilizó la información pluviométrica diaria de la Estación del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), ubicada en el Aeropuerto General Mosconi (latitud: 45.47S; longitud 67.3 W; altitud 46 m), en proximidades de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

La información pluviométrica de la estación del SMN cubre el período 1930/2012, totalizando 83 años ininterrumpidos de datos pluviométricos mensuales, mientras que la información disponible de precipitación diaria, corresponde al período 1956/2012 (57 años). Esta información suministrada por el SMN, corresponde a la registrada a las 9:00 hs. Respecto al evento de abril de 2011, se dispone de información desagregada en intervalos de 6 hs, también suministrada por el SMN.

Análisis de la información

Primeramente se efectúa un análisis de consistencia de la información, descartando datos erróneos o poco confiables. Una vez depuradas y contrastada la serie, se procede a la sistematización de la información, y obtención de los estadísticos más usuales. De ellos se puede obtener un conocimiento más preciso de los datos, que el que se obtiene a partir de las tablas y gráficos de datos cronológicos. Las características descriptivas más importantes del conjunto de datos son la precipitación media, mínima y máxima mensual; número de días de lluvia medio mensual; precipitación máxima diaria e identificación de eventos extraordinarios. Asimismo, entre los estadísticos usuales se calcula la mediana, moda, rango, varianza, coeficiente de variación, sesgo y curtosis.

En el análisis estadístico de lluvias máximas suelen emplearse modelos de series anuales de máximos, con lo que sólo se considera el mayor valor de cada uno de los años con datos, y métodos paramétricos que utilizan diversas leyes de distribución cuyos parámetros son ajustados a partir de los datos (Ferrer Polo, 1993).

Esta modelación requiere la elección de:

- Ley de distribución de la población.
- Método de estimación de parámetros.

Para asignar la frecuencia a la información disponible, se empleó la expresión de Gringorten (1):

$$F_{exp} = \frac{m - 0,44}{n + 0,12} \quad (1)$$

Siendo m, el número de orden del valor considerado dentro de la serie de n valores.

Leyes de Distribución

Dentro de un amplio conjunto de posibilidades, los modelos elegidos en este trabajo se resumen en los siguientes:

Distribución normal:

La función de densidad de probabilidad, obedece a la siguiente expresión (2):

$$f_x = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-0.5\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

Los parámetros son la media (\bar{X}) y el desvío (σ) de la variable x.

Distribución Gumbel:

La función de distribución de probabilidad, obedece a la siguiente expresión (3):

$$F_{(x)} = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\mu}{\alpha}\right)\right] \quad (3)$$

En la distribución de Gumbel (3), los parámetros son μ , de localización, y α , de escala, que mediante el método de los momentos se determinan con las expresiones (4) y (5), con los mismos parámetros estadísticos que la distribución normal.

$$\mu = \bar{x} - 0.45\sigma \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma \quad (5)$$

Distribución de Frechet:

La distribución de Frechet (6), difiere de la de Gumbel en la determinación de la variable, que se define como el logaritmo natural del dato y los parámetros se determinan en la misma forma que en aquella (expresiones (4) y (5)).

$$F_{(x)} = \exp\left[-\exp\left(-\frac{\ln(x)-\mu}{\alpha}\right)\right] \quad (6)$$

Distribución SQRT-ET_{MAX}:

La distribución SQRT-ET_{MAX} (7), originalmente propuesta en el contexto de precipitaciones máximas en Japón, ha venido siendo recomendada por la Dirección General de Carreteras de España, para la modelización de las precipitaciones máximas (Ferrer Polo y Ardiles, 1994). La estimación directa de los parámetros de la función SQRT-ET_{MAX} (7) no se puede hacer de forma analítica, ya que F(x) carece de primitiva conocida. Por esto, se debe realizar de forma aproximada mediante métodos numéricos. (Sáez Castillo, 2009; Zorraquino Junquera, 2004).

$$F_{(x)} = \exp\left[-k\left(1 + \sqrt{\alpha \cdot x}\right)\exp\left(-\sqrt{\alpha x}\right)\right] \quad (7)$$

Distribución de Valores Extremos Generalizada:

Los parámetros de la distribución de valores extremos generalizada, GEV (8), ajustan el dominio según:

$$F_{(x)} = \exp\left[-\left(1 - k\frac{x-\mu}{\alpha}\right)^{1/k}\right] \quad (8)$$

Los parámetros de localización, μ , de forma, k y de escala α , pueden determinarse por el método de momentos, momentos ponderados o máxima verosimilitud y deben satisfacer las siguientes expresiones (9)

$$\begin{aligned} k < 0 & \quad x > \mu + \frac{\alpha}{k} \\ k > 0 & \quad x < \mu + \frac{\alpha}{k} \end{aligned} \quad (9)$$

Distribución Log Pearson tipo III:

$$\alpha = \frac{C_{lnx}\sigma_{lnx}}{2} \quad (14)$$

En la distribución Log Pearson tipo III (10)

$$f_x = \frac{1}{\alpha\Gamma(r)} (x - \mu)^{r-1} \exp\left(-\frac{x - \mu}{\alpha}\right) \quad (10)$$

el parámetro de posición μ , debe cumplimentar (11):

$$\begin{aligned} \mu &\leq x < \infty \\ -\infty &< \mu < \infty \end{aligned} \quad (11)$$

Y obedece a la expresión (12):

$$\mu = \bar{x} \ln x - \frac{2\sigma_{lnx}}{C_{lnx}} \quad (12)$$

Mientras que los parámetros de forma r (13) y de escala α (14), están definidos entre 0 e infinito. Determinando los parámetros mediante el método de los momentos, resulta:

$$r = \frac{4}{C_{lnx}^2} \quad (13)$$

Siendo respectivamente \bar{x} , σ_{lnx} y C_{lnx} la media, el desvío estándar y el sesgo del logaritmo natural de la variable x .

RESULTADOS

Precipitación Media Mensual

A continuación se efectúa un análisis estadístico descriptivo de la información de la estación. La precipitación media mensual tiene la marcha que se indica en la Tabla 1 y Figura 1, para la estación y período en estudio.

Estadísticos más usuales

En la Tabla 2, se adjuntan algunos estadísticos de la estación del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1930/2012, que pueden ser de utilidad para calificar la información.

Tabla 1: Precipitación Media Mensual.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Período	1930-2012	14.6	15.6	19.6	24.0	35.3	26.5	23.2	20.6	15.1	13.5	13.9	13.9	235

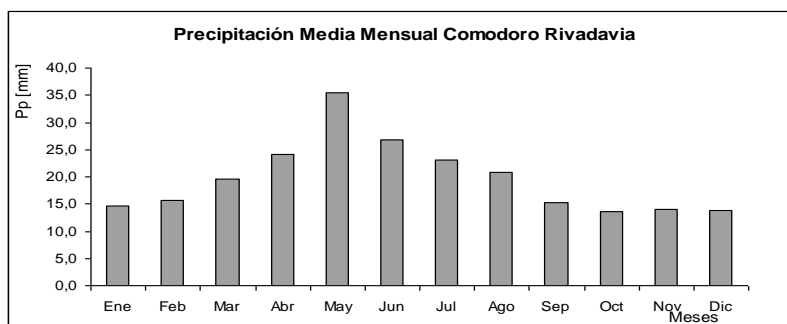


Figura 1. Precipitación Media Mensual.

Tabla 2: Estadísticos Usuales (SMN): Mediana, Máximos, Mínimos, Rango, Desvío estándar, Curtosis y coeficiente de asimetría.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Mediana	9.1	9.5	11.1	18.2	24.4	16.9	13.1	12.1	11.6	9.1	9.8	9.6	229.3
Max	78.0	120.1	140.6	154.6	150.6	172.2	130.8	94.6	92.5	72.9	78.8	112.2	488.7
Min	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.5
Rango	78.0	120.1	140.5	154.6	150.6	172.1	130.8	94.6	92.5	72.9	78.8	112.2	409.2
Desv.Est	17.6	20.2	23.7	28.2	34.7	28.8	26.7	21.9	16.0	14.6	16.7	17.8	89.4
Curtosis	3.5	9.8	8.3	7.2	2.3	9.4	4.7	1.7	6.2	4.5	5.0	12.2	0.3
CoefAsim	1.9	2.7	2.4	2.4	1.6	2.6	2.0	1.5	2.1	2.0	2.1	3.0	0.8

Precipitación Máxima diaria

máxima diaria, son los que se indican en la Tabla 3.

Se determinó la máxima precipitación diaria para cada mes de la serie del Servicio Meteorológico Nacional (1956/2012). Los valores de precipitación

Los eventos máximos en 24 hs del período 1956/2012, según los registros del SMN, son los que se indican en la Tabla 4.

Tabla 3: Precipitación Diaria Máxima Mensual.

		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
SMN	1959/2012	56.8	34.1	48.3	60.5	76.5	45.0	63.9	35.4	34.5	56.5	39.2	30.5
		1985	1976	1997	1998	1958	1997	2006	1952	1948	1985	1999	1949

Tabla 4: Precipitaciones Máximas Diarias del período 1956/2012.

Max	76.5	63.9	60.5	59.7	58.6	56.8	56.5	54.0	48.3	48.1	48.0	45.0
	May	Jul	Abr	Abr	May	Ene	Oct	May	Mar	Abr	Abr	Jun
Año	1958	1991	1980	2011	2008	1972	1999	2003	1976	1992	1998	2005

Asimismo, se pone en relevancia la modalidad de la toma de datos, ya que la serie correspondiente al período 1956/2012 desagregada en datos diarios, corresponde a información recogida a las 9 de la mañana de cada día, según la modalidad del SMN, mientras que para la tormenta de abril de 2011 se cuenta con registros cada 6 hs.

Teniendo en cuenta esta particularidad, se consideraron diversas hipótesis, para la lluvia de 24 hs de duración:

- a) Precipitación máxima en 24 hs del período 1956/2010. (sin considerar el evento extraordinario de abril de 2011).
- b) Precipitación máxima en 24 hs considerando precipitación de abril de 2011, tomada como valor máximo en 24 hs (desde las 12 hs del 12/abr/2011 a las 12 hs del 13/abr/2011). Total 98 mm.
- c) Precipitación máxima en 24 hs considerando precipitación abril de 2011, tomada según la modalidad del SMN (desde las 9 hs del 12/abr/2011 a las 9 hs del 13/abr/2011). Total 59.7 mm.

Se observó que si para esta tormenta de abril de 2011 se hubiera utilizado la información suministrada por el SMN efectuando el registro a las 9 hs (59.7 mm), los valores hubieran sido inferiores a los máximos diarios registrados en la serie (64 mm en julio de 2006), siendo que los daños y consecuencias de la tormenta en estudio (abril de 2011) correspondieron a un evento de características extraordinarias.

Se hicieron entonces, otras hipótesis de cálculo, analizando los máximos en 48 hs de la serie de datos del SMN, resultando:

- d) Precipitación máxima en 48 hs del período 1959/2010. Total 100 mm.
- e) Precipitación máxima en 48 hs considerando precipitación abril de 2011. Total 110 mm.

Con este nuevo análisis, no se pone en evidencia la tormenta de abril de 2011, cuyos registros desagregados son de 81.5 mm en 12 hs; 98 mm en 24 hs; 107.8 mm en 36 hs y 110 mm en 48 hs.

Por esta razón, se pretende analizar la tormenta de 36 hs de duración. Como no se cuenta con esta información para la serie 1956/2010, se crea otra variable, considerando para cada año, la precipitación de un día, más el 50% de la precipitación del día siguiente. Con esta serie, se procede de igual forma que con la precipitación máxima diaria, es decir, se extrae un valor máximo por año, resultando las siguientes series:

- f) Precipitación máxima en 36 hs del período 1956/2010. Total 68 mm.
- g) Precipitación máxima en 36 hs considerando la precipitación de abril de 2011, tomada como máximo en 36 hs (desde las 12 hs del 12/abr/2011 a las 18 hs del 13/abr/2011). Total 107.8 mm.
- h) Precipitación máxima en 36 hs considerando la precipitación de abril de 2011, tomada según la modalidad del SMN, y según el criterio de máximos ya explicado (desde las 9 hs del 12/abr/2011 a las 9 hs 13/abr/2011 más 50% de la precipitación ocurrida entre las 9 hs del 13/abr/2011 y el 14/abr/2011). Total 85 mm.

Para el análisis estadístico de lluvia máxima se empleó un modelo de serie anual de máximos, con

lo que sólo se considera el mayor valor de precipitación de cada uno de los años con datos. Esta modelación requiere la elección de:

- Ley de distribución de la población.
- Método de estimación de parámetros.

Dentro de un amplio conjunto de posibilidades, los modelos elegidos en este trabajo son los que se indicaron anteriormente: Funciones Normal (ec. 2), Gumbel (ec. 3), Frechet (ec. 6), SQRT-ET_{MAX} (ec. 7), Valores Extremos Generalizados –GEV- (ec. 8), Log Pearson III (ec. 10).

Para asignar frecuencias a la información disponible, se empleó la expresión de Gringorten (ec. 1)

El software aplicado fue el CHAC, diseñado por el Centro de Experimentación de Obras Públicas de España (Cedex) y disponible en Internet.

En la Tabla 5 y Figuras 2, 3 y 4 se resumen los resultados de los ajustes seleccionados, considerando cada una de las hipótesis (a), (b) y (c), analizadas precedentemente; se adjuntan las figuras que permiten visualizar la calidad del ajuste de las funciones seleccionadas para cada caso.

Tabla 5: Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según diferentes Funciones de Distribución.

	a		b		c	
	Gumbel	SQRT	SQRT	GEV	Gumbel	GEV
Recurrencia	$\alpha = 8.989$	$\lambda = 29.46$	$\lambda = 119.83$	$\mu = 29.18$	$\alpha = 9.657$	$\mu = 29.73$
[años]	$\mu = 29.46$	$\beta = 9.5$	$\beta = 1.615$	$\alpha = 9.69$	$X_o = 29.56$	$\alpha = 9.78$
				$\beta = -0.109$		$\beta = 0.033$
2	33	33	33	33	33	33
5	43	43	45	45	44	44
10	50	50	54	54	51	51
25	58	58	67	66	60	59
50	65	64	78	76	67	66
100	71	69	88	87	74	71
200	77	75	100	99	81	77
500	85	82	116	115	90	85
1000	92	87	129	129	96	90
2000	98	91				
5000	106	98				

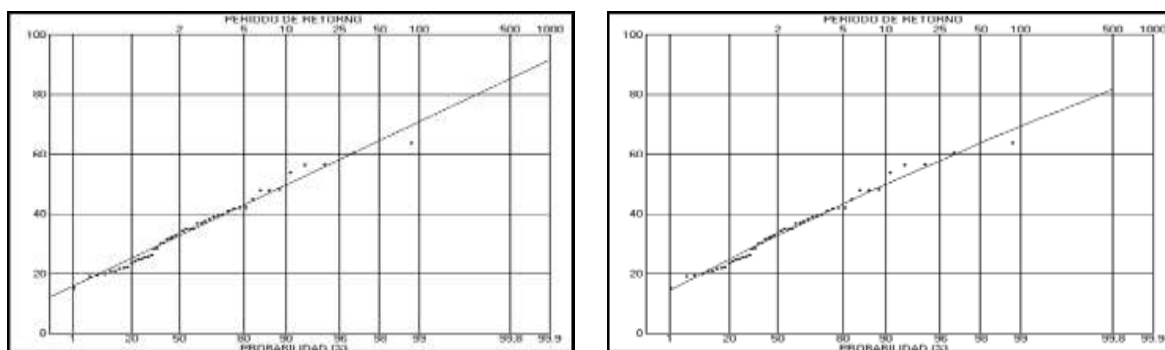


Figura 2. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según Gumbel y SQRT.

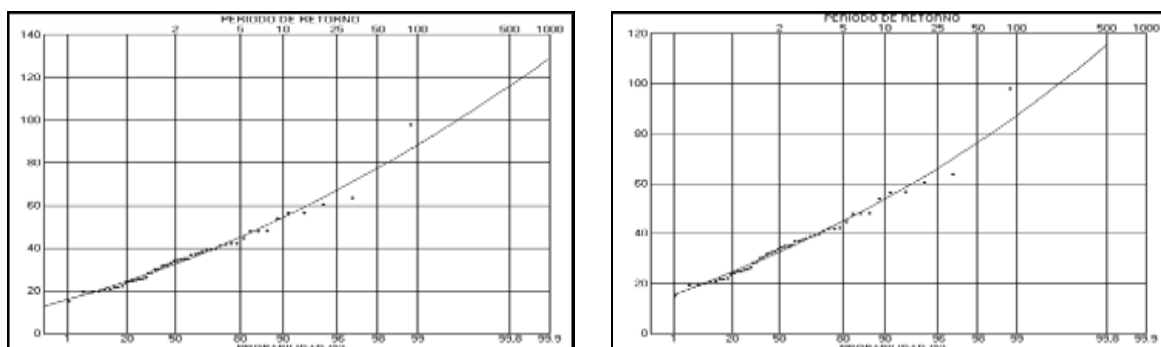


Figura 3. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según SQRT y Valores Extremos Generalizados (GEV).

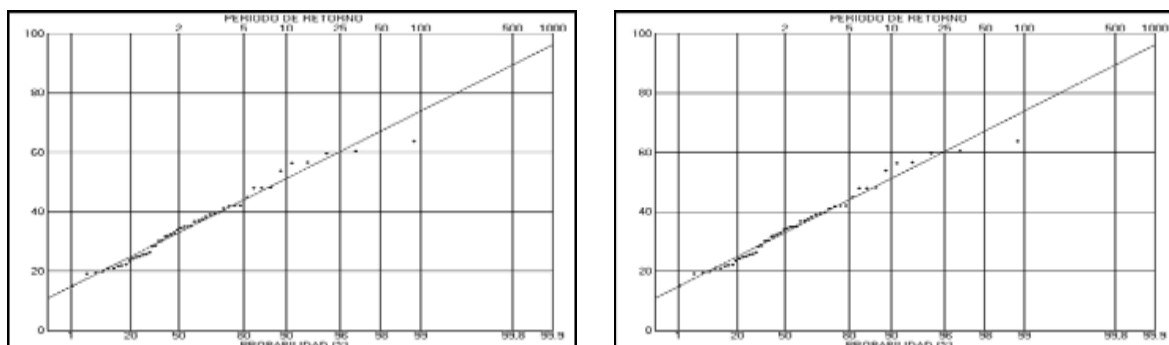


Figura 4. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según Gumbel y Valores Extremos Generalizados (GEV).

En segundo lugar, y por las razones expuestas precedentemente, se analizaron las hipótesis de análisis de lluvias de más de un día de duración, considerando las máximas precipitaciones de 48

hs según las hipótesis (d) y (e) ya explicadas. Los resultados se observan en la Tabla 6 y Figuras 5 y 6, que se adjuntan para visualizar la calidad de los ajustes.

Tabla 6: Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según diferentes Funciones de Distribución.

	d		e
	SQRT	GEV	SQRT
Recurrencia	$\lambda = 154.64$	$\mu = 38.18$	$\lambda = 124.14$
[años]	$\beta = 1.346$	$\alpha = 12.19$	$\beta = 1.237$
		$\beta = -0.082$	
2	42	43	43
5	58	58	60
10	69	68	72
25	85	83	88
50	98	94	102
100	111	106	116
200	125	119	131
500	145	137	152
1000	161	151	169

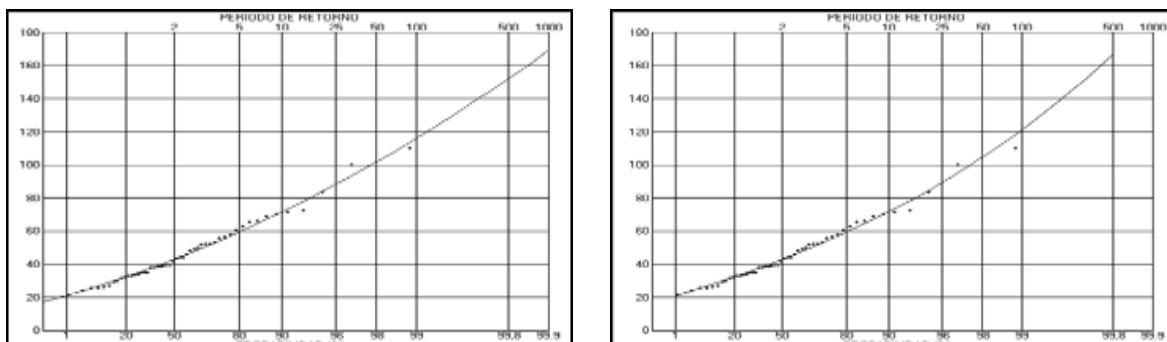


Figura 5. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según SQRT y Valores Extremos Generalizados (GEV).

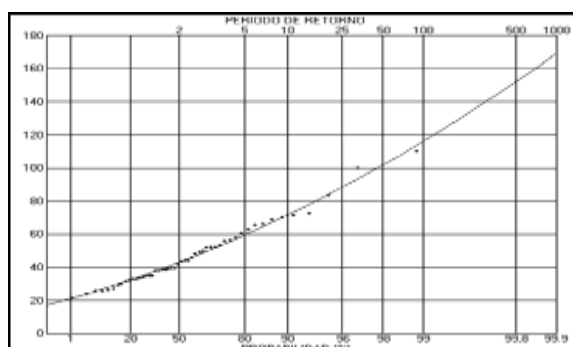


Figura 6. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según SQRT.

Finalmente, se analiza la tormenta de 36 hs de duración. Como no se cuenta con esta información, se crea otra variable, considerando para cada año, la precipitación de un día, más el 50% de la precipitación del día siguiente, como ya se indicó al

plantear las hipótesis. Con esta serie, se procede igual que con la precipitación máxima diaria, considerando un valor máximo por año, resultando las series (f), (g) y (h), cuyos ajustes se indican en la Tabla 7 y Figuras 7, 8 y 9.

Tabla 7: Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según diferentes Funciones de Distribución.

	f		g		h		
	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV (1)	GEV (2)
Recurrencia	$\alpha = 10.219$	$X_o = 32.86$	$\alpha = 10.219$	$X_o = 32.86$	$\alpha = 11.328$	$X_o = 32.91$	$X_o = 32.24$
[años]	$X_o = 32.46$	$a = 11.6$	$X_o = 32.46$	$a = 11.6$	$X_o = 32.75$	$\alpha = 12.01$	$a = 11.49$
		$\beta = 0.116$		$\beta = 0.116$		$\beta = 0.048$	$\beta = -0.036$
2	36	37	36	37	37	37	36
5	48	49	48	49	50	50	50
10	55	56	55	56	58	59	59
25	65	64	65	64	69	69	71
50	72	69	72	69	77	76	80
100	79	74	79	74	85	82	90
200	87	79	87	79	93	89	99
500	96	84	96	84	103	97	112
1000	103	88	103	88	111	104	122

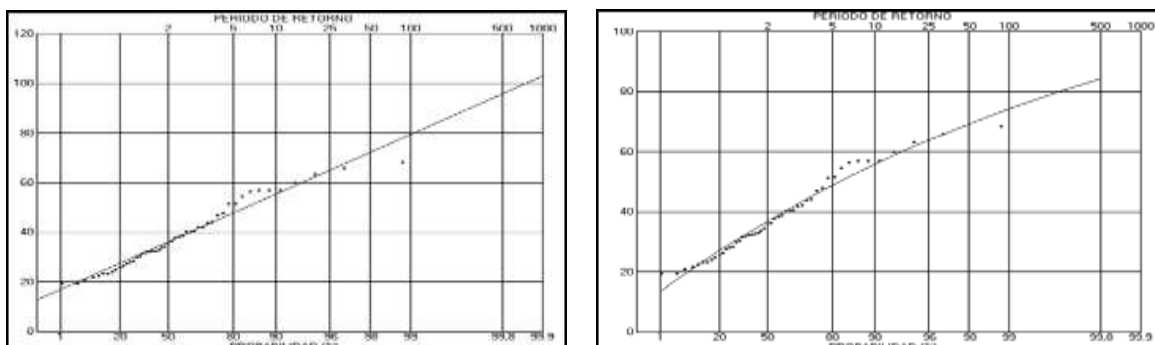


Figura 7. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según Gumbel y Valores Extremos Generalizados (GEV).

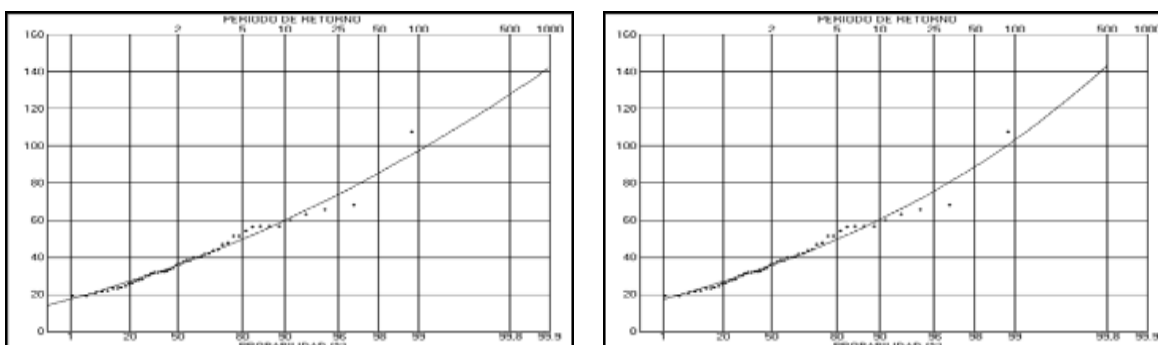


Figura 8. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según SQRT y Valores Extremos Generalizados (GEV).

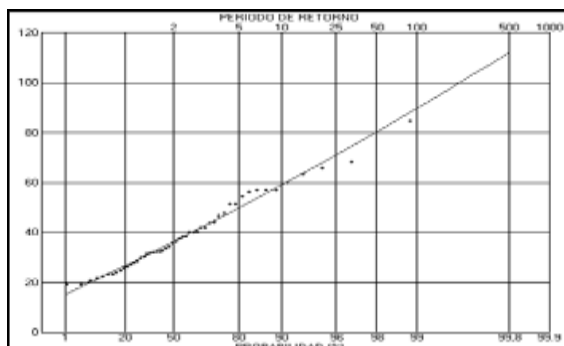
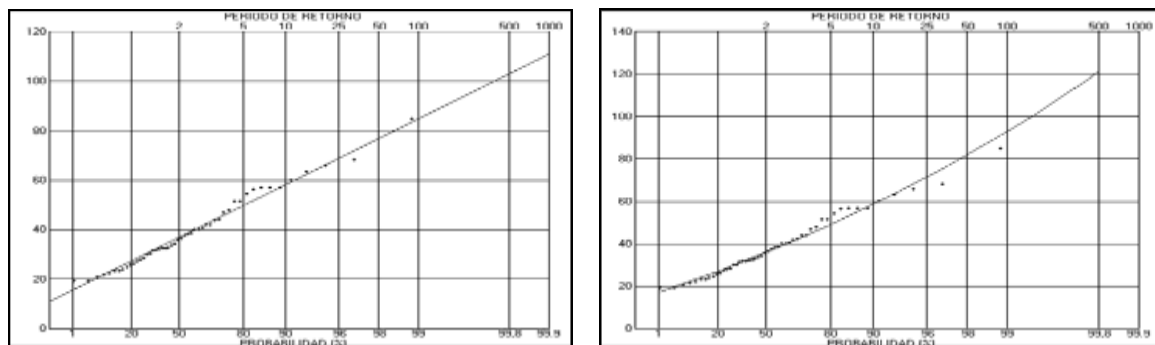


Figura 9. Ajuste de Precipitación Máxima Diaria según Gumbel y Valores Extremos Generalizados (GEV).

CONCLUSIONES

Se exponen en el trabajo los resultados de análisis estadísticos realizados a registros de precipitaciones de

la ciudad de Comodoro Rivadavia, obteniendo las relaciones funcionales entre precipitaciones diarias y de más de 24 hs de duración y los períodos de recurrencia asociados en cada caso.

Es evidente que la metodología empleada para el estudio de precipitaciones de duraciones mayores a 24 horas, no tiene un fundamento estadístico comprobado, pero su objeto es poner énfasis en la importancia de la forma de toma de datos y que resulten útiles para generar alertas en la selección de precipitaciones de diseño en estudios y proyectos.

Se resumen las conclusiones respecto a la precipitación máxima y períodos de recurrencia asociados, para las diferentes duraciones de precipitación:

Hipótesis (a), (b) y (c); duración 24 hs:

- Si no se tiene en cuenta la precipitación máxima en 24 hs de abril de 2011 (98 mm), el período de retorno para esa precipitación es del orden de 2000 años (Gumbel) a 5000 años (SQRT).
- Si el valor de la precipitación máxima en 24 hs de abril de 2011 (98 mm), es incorporado a la serie de máximos diarios, el período de retorno se reduce a 178 años (SQRT) a 200 años (GEV).
- Si el ajuste a las funciones de distribución se realiza con la información suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional, con el dato registrado a las 9 de la mañana de cada día, la precipitación correspondiente a abril de 2011 (59.7 mm) presenta una recurrencia de 25 años (Gumbel y SQRT).

Hipótesis (d) y (e); duración 48 hs:

- Sin considerarse la precipitación máxima en 48 hs de abril de 2011 (110.2 mm), el período de retorno para esa precipitación es del orden de 100 años (SQRT).
- Si dicho valor se incorpora a la serie de máximos en 48 hs, el período de retorno se reduce a 75 años (SQRT).
- En este caso, la información suministrada por el SMN (110 mm), coincide prácticamente con la máxima en 48 hs correspondiente a abril de 2011 (110.2 mm), presentando una recurrencia de 75 años (SQRT).

Con este análisis, no se pone en evidencia la tormenta de abril de 2011, cuyos registros desagregados son de 81.5 mm en 12 hs; 98 mm en 24 hs; 107.8 mm en 36 hs y 110 mm en 48 hs, por lo que se analiza la tormenta ficticia de 36 hs de duración.

Hipótesis (f), (g) y (h); duración 36 hs:

- Si no se tiene en cuenta la precipitación máxima en 36 hs de abril de 2011 (107.8 mm), el período

de retorno para esa precipitación es del orden de 1500 años (Gumbel).

- Si el valor de la precipitación máxima en 24 hs de abril de 2011 (98 mm), es incorporado a la serie de máximos diarios, el período de retorno se reduce a 177 años (SQRT).
- Si el ajuste a las funciones de distribución se realiza con la información suministrada por el Servicio Meteorológico Nacional, con el dato registrado a las 9 de la mañana de cada día, considerando el máximo de un día, más el 50% del día siguiente, la precipitación correspondiente a abril de 2011 (84.95 mm) presenta una recurrencia de 50 años.

Las relaciones logradas contribuyen a mejorar el conocimiento que se tiene sobre el régimen de precipitaciones en la región de Comodoro Rivadavia, su aplicación a casos y diseño de obras hidráulicas.

Se recomienda para el de obras hidráulicas, el empleo de las relaciones halladas bajo la hipótesis (b), aunque la interpretación y uso, debe hacerse en el marco estricto de las hipótesis del método probabilístico, con sus limitaciones y restricciones.

REFERENCIAS

- CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas). Programa realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. El uso de este programa es libre y gratuito. Versión 5.06 beta1 (Enero 2013).
- Ferrer Polo, F. 1993. Análisis y Tratamiento de los datos pluviométricos. Capítulo II. *En Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas*. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Gabinete de Formación y Documentación. Madrid, España. 9, 11
- Ferrer Polo, F. y Ardiles, L. 1994. Análisis estadístico de las series anuales de máximas lluvias diarias en España. *Ingeniería Civil/95*.
- Sáez Castillo, A. 2009. Modelización estocástica de precipitaciones máximas para el cálculo de eventos extremos a partir de los períodos de retorno mediante R. Informe Técnico. Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Jaén. 3,4.
- Zorraquino Junquera, C. 2004. El modelo SQRT-ETMAX. *Revista de Obras Públicas N° 3447*. España. 34 – 35

Artículo recibido el 12/2013 y aprobado para su publicación el 09/2014.