

MODELO PROBABILISTICO DE TORMENTAS PUNTUALES APLICADO A ROSARIO AERO (SANTA FE, ARGENTINA)

Gerardo A. Riccardi y Erik D. Zimmermann
Ing., Investigador CIUNR – Dr. Ing., Investigador CONICET
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales
Facultad de Cs.Ex., Ingeniería y Agrimensura – UNR Riobamba 245 bis (2000) Rosario, Argentina
E-mail: riccardi@fceia.unr.edu.ar – erikz@fceia.unr.edu.ar Internet: <http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham>

RESUMEN

Se presenta una metodología para la generación de series sintéticas de tormentas puntuales mediante un modelo probabilístico. La aplicación fue realizada en la Estación Pluviográfica Rosario Aero (Santa Fe, Argentina). Se analizaron los comportamientos estadísticos de las variables externas de cada tormenta como precipitación, duración y tiempo sin llover entre tormentas y las variables internas como intensidad máxima, coeficiente de avance y coeficiente baricéntrico. Se estudiaron las correlaciones entre variables por lo que se determinaron variables independientes y dependientes. Para las primeras se ajustaron funciones de distribución de probabilidad en tanto que para las segundas se ajustaron funciones simples de correlación. Las series sintéticas se determinaron mediante la generación aleatoria de las variables independientes con las distribuciones probabilísticas ajustadas en las muestras y la determinación de las variables dependientes a partir de las correlaciones observadas. Los parámetros estadísticos muestrales y sintéticos fueron comparados, obteniéndose un adecuado nivel de aproximación en las series generadas con las distribuciones Exponencial, LogNormal, Gamma y Weibull.

INTRODUCCION

Los sistemas hidrológicos emplazados en la llanura presentan respuestas características a las precipitaciones que lo diferencian marcadamente con los sistemas hidrológicos de las áreas con mayor pendiente. Estas características de respuesta, más lenta, más areal, hacen que sean vulnerables a determinadas señales de entrada que, quizás, no lo sean para los sistemas típicos (Zimmermann et al., 1996). Precipitaciones persistentes pueden generar hidrogramas más críticos que lluvias cortas y de gran intensidad.

Por otro lado las actuaciones en saneamiento ya no sólo deben abarcar cuestiones de cantidad sino de calidad del escurrimiento. A diferencia de los tradicionales abordajes de problemas de protección contra crecidas donde se estudian eventos extremos (de máxima), asociados a recurrencias de diseño, el impacto de los escurrimientos pluviales sobre calidad está relacionado básicamente al primer flujo y/o efectos acumulativos de una gran cantidad de tormentas de pequeña magnitud (Riccardi, 1998). Estudios realizados en diferentes cuencas urbanas indican que un 85 a 90% de las tormentas que han producido impactos considerables tienen recurrencias menores a 1 año (Laurence et al., 1996). Estos eventos de baja recurrencia no "aparecen" descriptos en las I-D-R. Por lo tanto esta información históricamente utilizada en el proyecto de obras estructurales resulta insuficiente a la hora de la definición de medidas no estructurales. Es claro que en los estudios hidrológicos e hidráulicos no sólo deben enfocar el caso de eventos extremos, sino que es necesario describir el escurrimiento producido por todo tipo de precipitaciones

Por lo tanto, se hace necesario estudiar el comportamiento de las precipitaciones de manera regional y así encontrar sus características particulares para luego reproducirlas, si el caso lo requiere, de manera sintética.

El fin de este trabajo es la aplicación y mejora de una metodología previamente desarrollada (Zimmermann et al., 1996) para generar secuencias sintéticas de tormentas, lo que establece una alternativa al enfoque clásico de la tormenta de diseño, cuestionable de acuerdo al tipo de respuesta hidrológica que caracteriza a las llanuras. Si bien se aborda la problemática para una estación determinada, representa un ensayo metodológico que puede extenderse a las restantes estaciones de la región, por ende un segundo objetivo consiste en la regionalización de los parámetros del modelo.

TRATAMIENTO DE DATOS

Organización y Depuración de datos

Se contó con registros pluviográficos de la estación Rosario Aero (SMN), ubicada en el Distrito Rosario de la Provincia de Santa Fe, con continuidad en soporte magnético para el período enero 1990 – junio 1998. Las planillas presentan fecha y hora del evento y alturas parciales registrados en intervalos de cinco minutos.

Las tormentas fueron agregadas a intervalos de media hora y los eventos fueron separados en tormentas independientes. El criterio adoptado para tomar dos tormentas como eventos independientes fue el de considerarlas como tales si las separaba un lapso de una hora donde no lloviera más de 0.5 mm. Este criterio es sustentado por diversos autores como por ejemplo Enfalt et al. (1998).

Variables de estudio y agrupamientos

La secuencia de eventos fue evaluada con los intervalos de tiempo entre tormenta y tormenta ($tsll$).

Las características de cada evento se estudiaron analizando su duración (d), la intensidad máxima ($imax$) y altura total (p) de precipitación y la posición de la máxima intensidad respecto a la duración del evento (coeficiente de avance, cav_2). Se consideró también la posición del baricentro de la tormenta respecto a la duración (coeficiente cav_1).

Las variables $tsll$, d y p , que definen el exterior de las tormentas fueron estudiadas bajo diferentes agrupamientos: serie completa (598 casos), clasificadas en período húmedo (400 casos) y seco (198 casos) y estacionalmente: tormentas estivales (193 casos), otoñales (139 casos), invernales (59 casos) y primaverales (207 casos) con el fin de homogeneizar características de las tormentas y facilitar su análisis de frecuencias.

Como período húmedo se contemplaron las estaciones primavera y verano y como período seco las estaciones otoño e invierno.

Las variables $imax$, cav_1 y cav_2 se estudiaron en una serie continua reducida de 238 tormentas extraída de la serie completa. Esta reducción de la muestra se originó en la discontinuidad de la

información pluviográfica cada 5 minutos que entregó el Servicio Meteorológico Nacional para la estación Rosario Aero.

ESTADISTICOS MUESTRALES E HISTOGRAMAS DE FRECUENCIAS

Los principales parámetros estadísticos de las muestras conformadas por los distintos agrupamientos se sintetizan en las siguientes tablas. La Tabla 1 corresponde a las variables del exterior de la tormenta (duración, precipitación total y tiempo entre tormentas) y la Tabla 2 corresponde al interno de la tormenta (intensidad máxima, coeficiente baricéntrico y coeficiente de avance)

Tabla 1. Estadísticos muestrales de las variables *d*, *p* y *tsll*

Duración (hs)							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	3.62742	3.45425	3.97727	3.81871	4.35085	3.69469	3.19637
Media Geométrica	2.51007	2.35328	2.85941	2.6924	3.29497	2.52486	2.18218
Desvío Estandar	3.17236	3.16082	3.17476	3.22424	3.04916	3.30122	2.99001
Asimetría	1.8652	2.08197	1.49208	1.62587	1.24268	1.87586	2.37094
Kurtosis	4.3867	5.61541	2.46874	2.83082	2.13294	4.2527	7.92508
Precipitación total (mm)							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	13.6498	14.836	11.2535	13.007	7.13729	14.2092	15.5083
Media Geométrica	7.23363	7.82841	6.16635	6.79991	4.89733	7.83212	7.8244
Desvío Estandar	18.371	19.9286	14.4831	16.4256	6.77976	19.3172	20.5933
Asimetría	3.41766	3.19815	3.87269	3.49406	1.67981	3.14735	3.25475
Kurtosis	16.1765	13.4752	25.589	20.3234	2.17141	11.9526	14.9285
Tiempo entre tormentas (hs)							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	121.062	89.7225	184.377	126.604	320.485	85.3527	94.4093
Media Geométrica	39.302	33.5128	54.2292	40.7805	106.133	37.1987	29.9644
Desvío Estandar	175.471	108.66	251.736	159.512	357.575	105.223	112.315
Asimetría	3.28266	2.45489	2.35811	1.82288	1.4787	3.37425	1.64995
Kurtosis	15.6736	10.6037	6.97754	3.69211	1.94701	19.8111	3.40759

Tabla 2. Estadísticos muestrales de las variables $imax$, $cava_1$ y $cava_2$.

Intensidad máxima (mm/h)							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	11.6092	12.0764	10.3051	11.6435	5.5692	9.9762	13.9532
Media Geométrica	7.4494	7.6743	6.8472	7.76211	4.3933	6.4985	8.9039
Desvío Estandar	11.0603	11.4888	9.6954	10.4075	4.1221	9.7158	12.6262
Asimetría	1.62042	1.5791	1.6666	1.4193	1.1757	1.9218	1.3225
Kurtosis	2.66794	2.5096	2.7417	1.7236	0.3048	4.3514	1.5490
Coeficiente baricéntrico							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	0.4074	0.4008	0.4284	0.4291	0.4261	0.4253	0.3789
Media Geométrica	0.3959	0.3834	0.4138	0.4129	0.4171	0.4067	0.3636
Desvío Estandar	0.1175	0.1191	0.1119	0.1184	0.0887	0.1245	0.1102
Asimetría	0.4277	0.4882	0.2907	0.3175	-0.0676	0.2823	0.6538
Kurtosis	-0.2862	-0.2397	-0.2501	-0.3717	0.0202	-0.3872	0.09178
Coeficiente de Avance							
Parámetros Estadísticos	Completo	Humedo	Seco	Otoño	Invierno	Primavera	Verano
Media	0.3581	0.3554	0.3673	0.3632	0.3815	0.3904	0.3240
Media Geométrica	0.2841	0.2812	0.2928	0.2933	0.2908	0.3011	0.2630
Desvío Estandar	0.2291	0.2293	0.2320	0.2246	0.2660	0.2450	0.2107
Asimetría	0.7385	0.7653	0.6600	0.6423	0.7316	0.5002	1.0360
Kurtosis	-0.4678	-0.3826	-1.1060	-0.7487	-0.5840	-0.6850	0.1192

La caracterización de las diferentes variables se analizó mediante histogramas de frecuencias, observándose las siguientes características en cada variable:

El $tsll$ mostró un comportamiento estadístico predominantemente exponencial.

Las variables d y p mostraron comportamiento exponencial y acampanado con fuerte asimetría a la izquierda.

En cuanto a las intensidades $imax$ e $imed$, se observan, en general, comportamientos acampanados con asimetría izquierda.

El coeficiente $cav1$ y el coeficiente de avance $cav2$ mostraron una distribución simétrica.

AJUSTES DE FUNCIONES DE DISTRIBUCION

A los efectos de determinar las funciones de distribución que mejor ajustaban a los histogramas de frecuencias muestrales se procedió a probar en cada variable seis modelos estadísticos a saber: Chi-cuadrado, Exponencial, Gamma de dos parámetros, LogNormal, Normal y Weibull. La bondad del ajuste se determinó mediante el test del chi-cuadrado. En la Tabla 3 se sintetizan para cada variable y en cada muestra los dos modelos que mostraron el mejor ajuste en cada caso.

Tabla 3. Modelos estadísticos con mejor ajuste de Histogramas de Frecuencias

Muestra\Variable	<i>d</i>	<i>p</i>	<i>tsll</i>	<i>imax</i>	<i>cav₁</i>	<i>cav₂</i>
Completo	Gamma Weibull	LogNormal Weibull	Gamma Weibull	Weibull Gamma	Gamma LogNormal	Gamma LogNormal
Húmedo	Gamma LogNormal	LogNormal Weibull	Gamma Weibull	Weibull Gamma	Gamma LogNormal	Gamma Weibull
Seco	Gamma Weibull	Weibull Gamma	Gamma Weibull	LogNormal Weibull	Gamma LogNormal	Gamma LogNormal
Verano	Weibull Gamma	Weibull Gamma	Gamma Weibull	Weibull Gamma	LogNormal Gamma	LogNormal Gamma
Otoño	Gamma Weibull	Weibull LogNormal	Gamma Weibull	LogNormal Weibull	Weibull Gamma	Weibull LogNormal
Invierno	LogNormal Weibull	LogNormal Gamma	Gamma Weibull	LogNormal Weibull	Weibull Gamma	Weibull LogNormal
Primavera	Exponencial Weibull	LogNormal Weibull	Exponencial Gamma	LogNormal Weibull	Weibull Gamma	Weibull LogNormal

CORRELACIONES ENTRE VARIABLES

Se llevaron a cabo múltiples correlaciones simples, bajo diferentes formulaciones (lineal, multiplicativa, exponencial y recíproca) con el objetivo de encontrar comportamientos afines entre las variables.

Se obtuvieron coeficientes de correlación elevados (0.94-0.95) para las regresiones entre las intensidades máximas y medias. La relación multiplicativa vinculante de intensidades fue :

$$imax = 1.7441197 imed^{1.12791} \quad (1)$$

Las relaciones entre *imax* e *imed* han resultado cuasi-lineales (exponentes cercanos a la unidad) con un coeficiente muy cercano a 2. No obstante la evidencia y a los fines de testear la relación existente entre *imed/imax*, de aquí en más coeficiente de distribución *cdi*, se analizó su distribución de frecuencias. De su análisis surge que la tendencia mayoritaria de las tormentas es distribuirse triangularmente (*cdi* = 0.5), con lo que se corrobora que la distribución de los hietogramas son triangulares mayoritariamente como se determinara en otra estación de la región denominada Sapucaí (Zimmermann, 1998). Una porción menor de las mismas tiende a las formas con ramas de hipérbolas con *cdi* = 0.3 (semejante al hietograma de diseño de Chicago).

Para las variables *d* y *p* se encontraron correlaciones superiores a 0.43 (invierno) y a 0.64 (verano).

Entre los coeficientes baricéntrico y de avance se encontró una correlación lineal con valores de 0.85 en primavera a 0.74 en invierno. La relación fue:

$$cav_1 = 0.25781 + 0.4179 cav_2 \quad (2)$$

Entre el resto de las combinaciones de variables no se encontraron correlaciones importantes.

GENERACION DE TORMENTAS SINTETICAS

La generación de tormentas implicó la aplicación de una metodología para determinar el valor de las seis variables que las caracterizan. En base a los análisis de regresiones se optó por considerar cuatro variables independientes: p , d , $tsll$ y cav_2 , y dos variables dependientes $imax$ dependiente de $imed$ ($imed=p/d$) y el coeficiente baricéntrico cav_1 dependiente de cav_2 .

La formulación del modelo consistió en determinar las variables independientes a partir de números aleatorios generados con distribuciones estadísticas ajustadas para cada variable junto a las dos variables dependientes generadas a partir de las ecuaciones de regresión encontradas.

Se seleccionaron cuatro leyes de distribución sobre las 4 variables independientes para cada estación del año (Exponencial, Gamma de dos parámetros, LogNormal y Weibull). Estas leyes fueron las que mejor ajustaron a los histogramas de frecuencias muestrales de acuerdo al test de chi-cuadrado. Las variables $imax$ y cav_1 definidos como dependientes, fueron calculados mediante las ecuaciones 1 y 2.

Se generaron tormentas en un conjunto de series de 8 años (extensión de la muestra) con las cuatros leyes de distribución mencionadas. Se compararon los estadísticos de estas series sintéticas con los observados.

El hecho de generar variables *externas* a la tormenta propiamente dicha, como los intervalos entre las mismas, duración y total (o intensidad media) permitió generar las secuencias de lluvias mientras que la generación de variables *internas*, tales como intensidades máximas y coeficientes baricéntrico y de avance, ha permitido reproducir hietogramas de tormenta adoptando una distribución temporal triangular con pasos de tiempo a elección.

Las tormentas generadas en períodos de 8 años fueron agrupadas para su tratamiento estadístico en tormentas estivales, otoñales, invernales y primaverales.

VALIDACION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la generación de series sintéticas fueron analizados estadísticamente para corroborar la hipótesis de semejanza entre las series generadas y las series de datos.

Varios de los parámetros de comparación (observados y calculados) son semejantes a los considerados en los trabajos de Thauvin et al. (1998), como parámetros de validación de su modelo estocástico de generación puntual de lluvia para intervalos de corto tiempo.

Se calcularon los valores promedio, los desvíos estándares y las asimetrías de todas las variables tanto para la serie completa como para las series estacionales divididas en períodos de ocho años.

La comparación de estadísticos muestrales y de los valores generados mostró en términos generales un adecuado nivel de aproximación con todos los modelos. Los valores medios de las variables que comprenden el externo de las tormentas tanto de las muestras como los generados sintéticamente se presentan en la Tabla 4 conjuntamente con el número de tormentas y precipitación acumulada. En las Figs. 1 a 3 se ilustran valores medios, desvíos estándares y asimetrías observados y generados de las variables p , d y $tsll$ para cada agrupamiento estacional. En las Figs. 4 y 5 se presentan los promedios de las cantidades de

tormentas y precipitaciones acumuladas por estación determinadas en las series generadas conjuntamente con los respectivos valores muestrales.

Tabla 4. Estadísticos muestrales y de series sintéticas

	Completo	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
<i>D (hs)</i>					
Muestra	3.627	3.193	3.818	4.351	3.694
Generadas: Exponencial	3.628	3.218	3.805	4.278	3.681
Gamma	3.623	3.185	3.877	4.336	3.704
Weibull	3.628	3.196	3.774	4.371	3.693
LogNormal	3.6200	3.1804	3.784	4.348	3.696
<i>P (mm)</i>					
Muestra	13.649	15.508	13.007	7.137	14.209
Generadas: Exponencial	13.572	15.531	13.048	7.280	14.165
Gamma	13.582	15.396	13.092	7.159	13.880
Weibull	13.464	15.391	12.890	7.317	14.164
LogNormal	13.625	15.525	13.112	7.076	14.262
<i>Tsll (hs)</i>					
Muestra	121.06	94.40	126.60	320.48	85.35
Generadas: Exponencial	123.52	95.97	126.57	310.85	85.58
Gamma	127.87	96.35	127.93	322.21	84.93
Weibull	127.45	98.11	129.92	318.61	85.93
LogNormal	124.70	94.12	128.39	326.16	86.50
<i>Tormentas por año (unidades)</i>					
Muestra	70.4	22.6	16.3	6.9	24.4
Generadas: Exponencial	68.9	22.1	17.0	7.3	22.4
Gamma	67.6	22.0	17.0	7.5	21.1
Weibull	66.2	21.5	16.8	7.5	20.4
LogNormal	68.3	22.1	16.9	7.2	22.1
<i>Módulos (mm)</i>					
Muestra	960	352.5	212.6	49.5	346.1
Generadas: Exponencial	935	344.5	221.5	55.0	313.9
Gamma	908	338.8	222.0	53.9	293.0
Weibull	900	335.4	215.9	55.7	292.0
LogNormal	930	342.7	221.2	51.2	315.1

En lo concerniente a los valores medios de *d*, *p* y *tsll*, el máximo error porcentual entre los valores medios de las muestras y series sintéticas fue < 4.0 %, estableciendo las mejores aproximaciones los modelos LogNormal y Exponencial

En el caso de los desvíos estandares los menores errores se determinaron con el modelo LogNormal (<37%) y en segundo orden el modelo Exponencial (< 43%). Estos valores elevados de los desvíos se presentan en la variable *tsll* en la estación de invierno

La asimetría fue ajustada de la mejor manera por los modelos Exponencial y Gamma respectivamente, computándose errores máximos de 47% y 68%. No se observan tendencias estacionales de los errores .

En cuanto al promedio del nro. de tormentas al año, todos los modelos ajustaron con error porcentual inferior al 6%. La mejor aproximación se logró con el modelo Exponencial con un error del 2.03%.

El nro. de tormentas por estación fue ajustado de mejor manera por el modelo Exponencial con un máximo de 8.2 % y en segundo orden el modelo LogNormal computó un error porcentual máximo de 9.4%.

En lo que respecta a los módulos pluviométricos anuales la distribución todos los modelos ajustaron con un error porcentual menor al 6.3%, siendo el Exponencial el que computa el menor error con un valor del 2.6%. Debe destacarse que todos los modelos acercaron por defecto.

Los módulos pluviométricos estacionales fueron ajustados por todos los modelos con un error porcentual máximo del 15.6%, siendo el modelo LogNormal el que computa el menor error con un valor del 8.9%.

Las intensidades medias, como ya se señalara, se determinaron a partir del cociente p/d , por lo que se entendió de suma importancia la comparación entre los valores sintéticos y muestrales. En la Tabla 5 se sintetizan los resultados obtenidos al respecto. Como parámetro de comparación entre muestra y series generadas se consideró la cantidad de tormentas al año en cada uno de seis intervalos de intensidad medias en un rango desde 0 a 55 mm/h.

Tabla 5. Tormentas por año clasificadas por intensidades medias (mm/h)

	$0 < imed \leq 1$	$1 < imed \leq 2$	$2 < imed \leq 3$	$3 < imed \leq 5$	$5 < im ed \leq 10$	$10 < imed \leq 55$
Muestra	12.12	14.94	9.88	10.82	12.24	10.24
Exponencial	14.93	9.41	6.53	8.7	10.56	14.25
Gamma	16.76	9.86	6.85	8.6	10.01	12.11
Weibull	13.13	12.45	8.64	10.63	11.5	11.17
LogNormal	12.91	8.58	5.59	7.31	8.88	9.99

El mejor ajuste se logra con el modelo LogNormal, generando una cantidad de tormentas con un error porcentual máximo (EPMax) en todos el rango de intensidades del 16.7% y un promedio (EPP) del 9.2%. El modelo Exponencial generó valores con un EPMax del 39% y un EPP del 28%. Los modelos Gamma y Weibull computaron un EPMax del 43% y un EPP del 30%.

Las intensidades máximas calculadas a partir de las intensidades medias y comparadas en la muestra reducida han mostrado errores superiores a los de las intensidades medias. El modelo LogNormal generó valores con un EPP del 15% y EPMax del 30%. Los errores establecidos con los otros modelos pueden acotarse con un EPP del 35% y un EPMax del 52%.

En lo que respecta al coeficiente de avance cav_2 todos los modelos generaron valores con una media inferior al 3.6%, en tanto que el desvío estandar fue ajustado de mejor manera por el modelo Gamma con un error porcentual del 2.45%, en tanto que los modelos Exponencial y LogNormal generaron desvíos con errores del 38% y 18% respectivamente. El coeficiente baricéntrico cav_1 fue generado con un error del valor medio 9% .

CONCLUSIONES

Las series de tormentas generadas en forma sintética se comportan estadísticamente en forma semejante a la serie observada. El mismo comportamiento se observa en la serie completa como en las series estacionales.

Los valores medios y los desvíos estándares (excepto el correspondiente al tiempo entre lluvias en invierno) de las variables independientes del externo de la tormenta, las cantidades de tormentas al año y por estaciones y las precipitaciones acumuladas al año y por estaciones han sido generadas con un error porcentual máximo del 10% con los modelos Exponencial, Lognormal, Gamma y Weibull.

La distribuciones Exponencial y LogNormal fueron la más robustas para reproducir el conjunto de los estadísticos muestrales de las variables del externo de las tormentas, las cantidades de tormentas y módulos pluviométricos. Las intensidades medias, máximas y los coeficientes de avance y baricéntrico fueron en su conjunto mejor generadas por el modelo LogNormal. La distribución Exponencial presenta la ventaja de su simplicidad al ser un modelo de un solo parámetro y con expresión explícita de la función de distribución de probabilidad inversa.

Las aproximaciones alcanzadas con las distribuciones Weibull y Gamma pueden considerarse aceptables.

Los estadísticos muestrales y coeficientes de correlaciones han resultado similares a los establecidos en los estudios de la Estación Sapucaí (Navarro et. al, 1996) lo que pone de manifiesto la homogeneidad y la validez regional del fenómeno estudiado y metodología empleada.

La tendencia mayoritaria de las tormentas fue distribuirse triangularmente ($cdi \cong 0.5$), corroborándose la conformación de hietogramas triangulares como se determinara en estación Sapucaí (Zimmermann, 1998). Se considera que tal distribución triangular constituye una herramienta sencilla y representativa de la región.

Se ha verificado, en consecuencia, una metodología basada en un modelo probabilístico para generar secuencias sintéticas de tormentas. La misma resulta apta, entre otros usos, para analizar la vulnerabilidad de sistemas hidrológicos de llanura, cuando las situaciones críticas para el diseño hidráulico están asociadas más a sucesión temporal de eventos que a eventos extremos puntuales.

LISTA DE SIMBOLOS

p: precipitación total (mm)

d: duración de la tormenta (hs)

tsll: tiempo sin llover entre tormentas (hs)

imed: intensidad media (mm/h)

imax: intensidad máxima (mm/h)

cav₁: Coeficiente baricéntrico (cociente entre coordenada temporal del centro de gravedad de hietograma y la duración de la tormenta) (adimensional)

cav₂: Coeficiente de Avance (cociente entre coordenada temporal del pico del hietograma y la duración de la tormenta) (adimensional)

cdi: Coeficiente de distribución (cociente entre intensidad media e intensidad máxima (adimensional)

EPP: Error porcentual promedio (%)

EPMax: Error porcentual máximo (%)

BIBLIOGRAFIA

Einfalt T., Johann G. and Pfister , 1998, On the Spatial Validity of Heavy Point Rainfall Measurements, *Water Science & Technology*, IAWQ, Vol. 37, N° 11, Elsevier Science Ltd., Great Britain, pp. 21-28

Laurence, A., Marsalek, J., Ellis, J. and Urbonas, B., 1996, Stormwater detentio & BMPs, *Journal of Hydraulic Research*, **34**, 799-814.

Navarro R.; Zimmermann E. y Silber M.; 1996; Análisis de Tormentas para la Generación de Series Sintéticas; *Cuadernos del Curiham*, CURIHAM-UNESCO-PHI, Vol. 2, N° 1, ISSN 1514-2906, Rosario, pp. 62-69.

Riccardi, G., 1998, La calidad del escurrimiento pluvial urbano y el impacto sobre los cuerpos receptores, *Cuadernos del Curiham*, **4**, N° 1 , 1er. Semestre 1998, ISSN 1514-2906., CURIHAM-UNESCO, FCEIA, Rosario, 31-46.

Thauvin E., Gaume E. And Roux C., (1998), A Short Time-Step Point Rainfall Stochastic Model, *Water Science & Technology*, IAWQ, Vol. 37, N° 11, Elsevier Science Ltd., Great Britain, pp. 37-45

Zimmermann E, Navarro R. y Silber M., (1996), Un Modelo Probabilístico para la Generación de Tormentas Sintéticas, *XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR-LAD*, Guayaquil, Ecuador.

Zimmermann E. , (1998), Synthetic Storm Generation in a Flatland Region, Santa Fe, Argentina, *Journal of Environmental Hydrology* (IAEH), Vol. 6, N° 2, pp. 1-5.

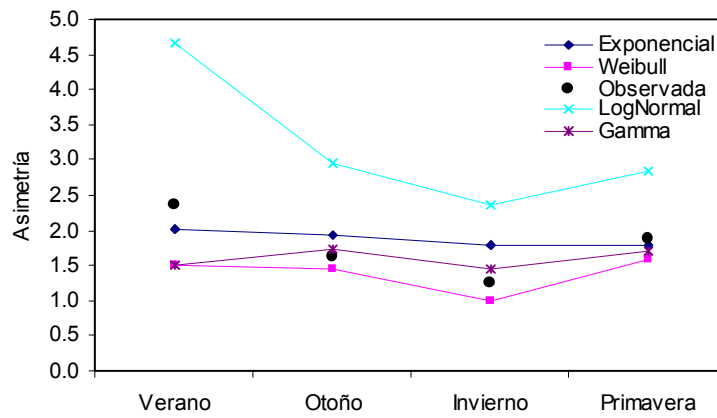
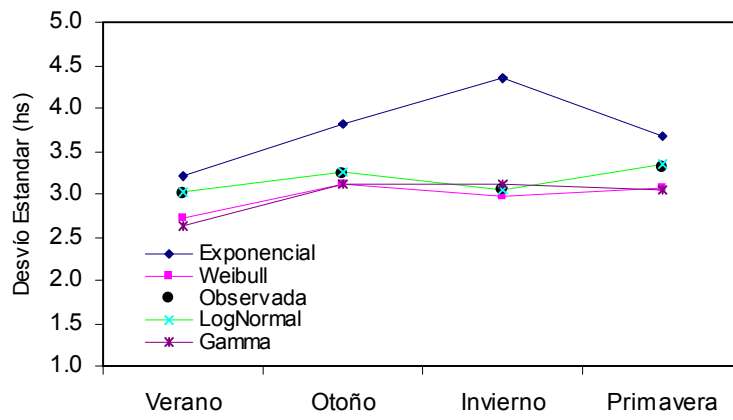
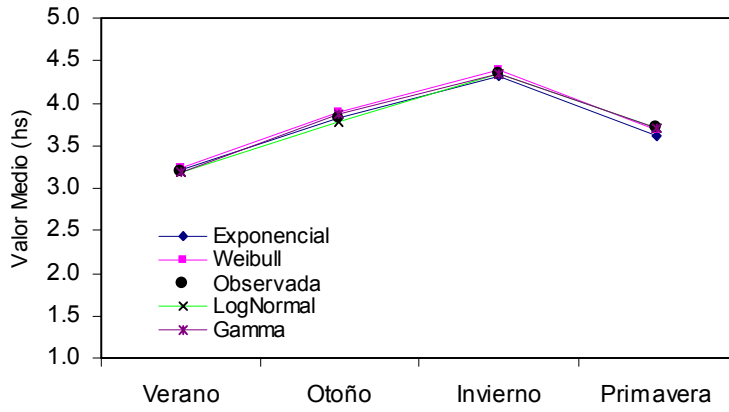


Figura 1. Valor Medio, Desvío Estandar y Asimetría de d

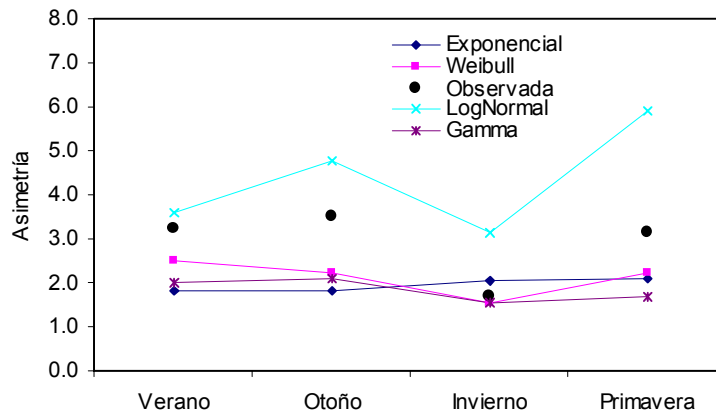
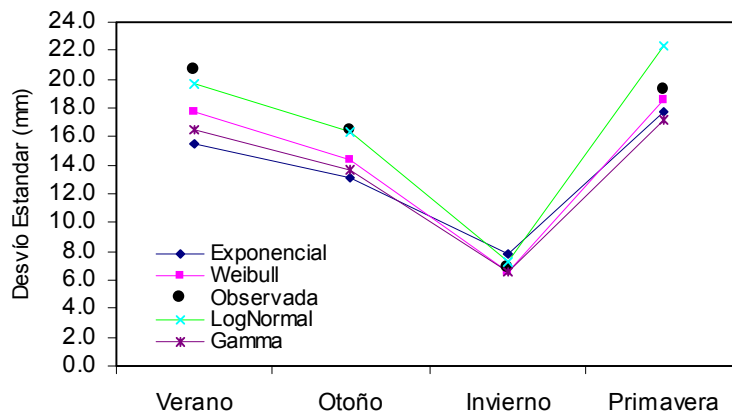
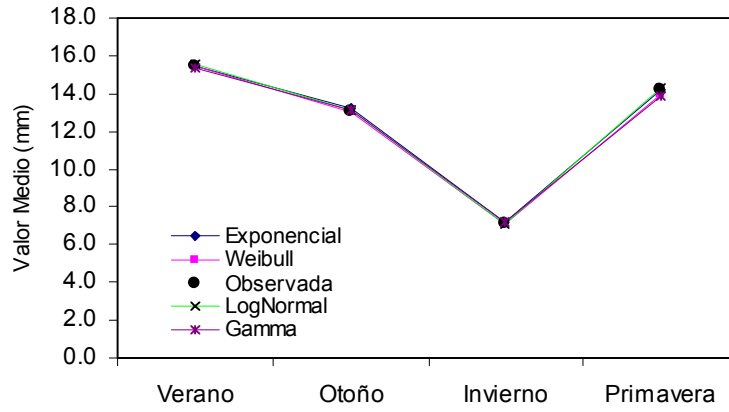


Figura 2. Valor Medio, Desvío Estandar y Asimetría de p

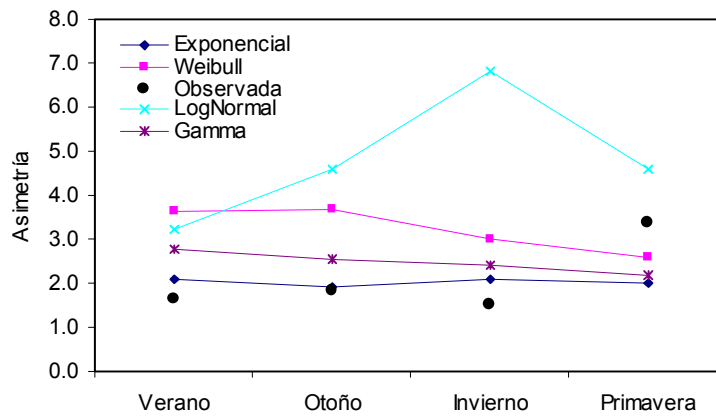
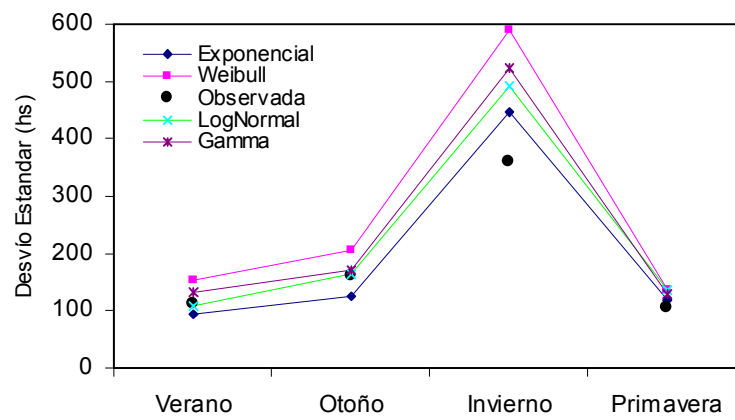
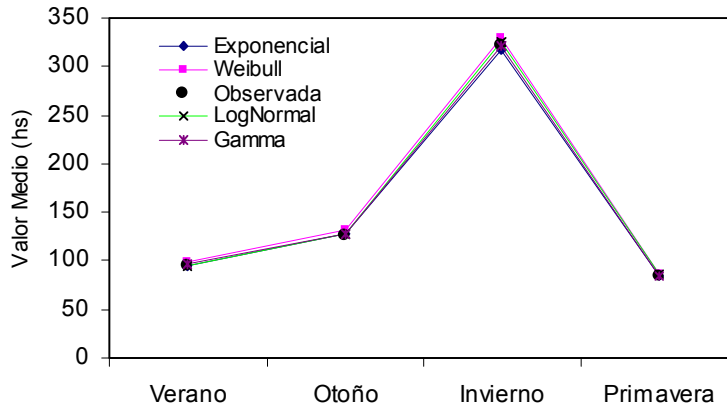


Figura 3. Valor Medio, Desvío Estandar y Asimetría de *tsll*

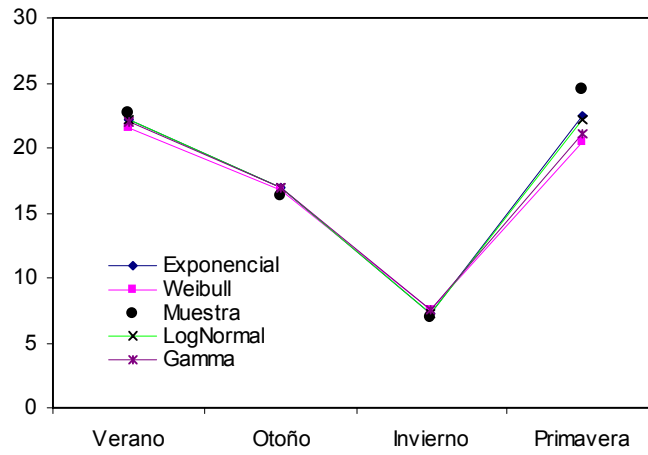


Figura 4. Cantidad de tormentas por año

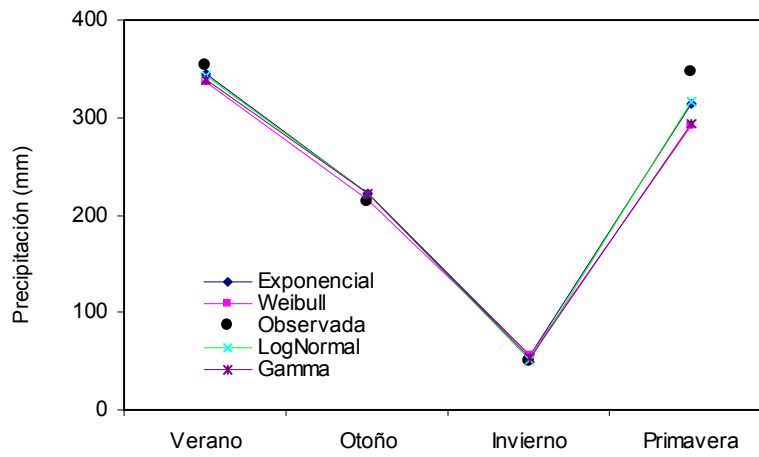


Figura 5. Precipitación acumulada por año