

# ESTIMACION DE VALORES MAXIMOS DE LLUVIA DE 24 HORAS EN RIO CUARTO (CORDOBA)

R. A. SEILER y J. M. PUIATTI<sup>1</sup>

Recibido: 11/07/97

Aceptado: 28/08/97

## RESUMEN

Las intensidades máximas de lluvia y sus períodos de recurrencia son parte de la información requerida frecuentemente para el diseño de estructuras de drenaje, de riego y de conservación de suelos contra la erosión hídrica. En este trabajo se analizaron series de máximas anuales de lluvia de 24 horas para Río Cuarto, provincia de Córdoba y su ajuste a las distribuciones estadísticas de Tipo I y de Tipo II de Valores Extremos. La bondad del ajuste entre las frecuencias empíricas y teóricas se comprobó mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Para las series en consideración, las distribuciones estadísticas aplicadas proporcionaron estimaciones cuyas diferencias fueron inferiores al 20% para períodos de retorno de hasta 50 años. A partir de las distribuciones ajustadas y de los respectivos parámetros que se proporcionan, pueden obtenerse valores máximos de lluvia en 24 horas para distintos períodos de retorno y probabilidades.

**Palabras clave:** lluvias, intensidad, valores extremos, análisis estadístico, distribución

## ESTIMATION OF THE 24 HOURS EXTREME VALUES OF RAINFALL IN RIO CUARTO (CORDOBA)

### SUMMARY

The intensities and recurrences of extreme values of rainfall are part of the information frequently required for the design of drainage structures, irrigation and soil conservation from the water erosion. Records of annual extremes in 24 hours, from Río Cuarto, Cba. Argentina were analyzed for their fitting to the Type I and Type II extreme value distributions. The goodness of fit between empirical and theoretical probabilities was tested by the Kolmogorow-Smirnow test. For the series studied the applied statistical distributions showed a good fit with errors of less than 20% for 50 years recurrence period. From the adjusted distributions and parameters, precise values of 24 hours rainfall extremes, the expected recurrences and the probabilities can be estimated.

**Key words:** rainfall, intensity, extreme values, statistical analysis, distribution

### INTRODUCCION

La caracterización del clima de un lugar no sólo debe contemplar los valores medios de los elementos meteorológicos, sino también información sobre las probabilidades de ocurrencia de distintos eventos climáticos, los desvíos respecto de las situaciones normales, los niveles extremos de un suceso, etc. Este tipo de información es básica para la planificación y el desarrollo de estrategias tendientes a disminuir el efecto de la variabilidad

climática sobre la conservación de los recursos naturales, la producción y la seguridad humana en general.

De la información mencionada, los valores extremos máximos o mínimos, de ciertos elementos del tiempo y del clima, son frecuentemente requeridos en relación con distintas actividades tanto en el sector agrícola como en el industrial (Wantz y Sinclair, 1981). La probabilidad de ocurrencia de intensidades máximas de lluvia, período

---

<sup>1</sup> CONICET - Cátedra de Agrometeorología y Cátedra de Hidrología, respectivamente - Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad Nacional de Río Cuarto - Ruta Nac. 36, km 601. 5800 Río Cuarto-Cba.

dos de recurrencia y sus distribuciones estadísticas en una escala local o regional son un ejemplo de estos requerimientos. Este tipo de información es de utilidad para el diseño de estructuras de drenaje, de riego y de conservación de los suelos contra la erosión hídrica. También es requerida por ingenieros y por técnicos relacionados con diseños y funcionamiento de construcciones como bocas de tormentas, desagües pluviales, captación y almacenamiento de aguas de lluvias (Huff y Angel, 1992). Ese conocimiento puede servir además para la prevención de los efectos de inundaciones, la planificación de provisión de agua, la protección de cultivos e incluso para dar seguridad a la circulación de las personas, que muchas veces pueden verse perjudicadas por situaciones adversas del fenómeno de lluvias extremas (Osborn, 1983).

Este trabajo tiene por objeto determinar la distribución de frecuencias de lluvias máximas de 24 horas en Río Cuarto, Cba. y los parámetros correspondientes, con el fin de satisfacer diversas demandas de información sobre intensidad de lluvias y de los valores de recurrencia, tanto para el momento actual como para un futuro cercano.

## MATERIALES Y METODOS

### a. Datos

El análisis del fenómeno de intensidades máximas de lluvia debería basarse en datos horarios obtenidos de pluviogramas. Sin embargo, estos no son comúnmente disponibles, o las longitudes de las series son generalmente cortas y la calidad de los datos es pobre comparada con los de 24 horas. Estas deficiencias existentes en nuestro país coinciden también con lo observado por Sorrell y Hamilton (1990) en un análisis de frecuencias de lluvias en Michigan, EE.UU. Antecedentes de este tipo indican que el uso de series de máximas anuales de lluvias de 24 horas resulta adecuado para realizar análisis de frecuencias (Rasheed, *et al.*, 1983; Sevruck y Geiger, 1980).

Los datos básicos utilizados en este trabajo corresponden a una serie histórica de precipitaciones diarias de la localidad de Río Cuarto, Cba. (Lat. 33° 10'; Long. 64° 20'; Alt. 334 m s/n/m), obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional y del Servicio de Agrometeorología de la Universidad Nacional de Río Cuarto. La serie comprende el período desde 1932 hasta 1995, con una interrupción de cuatro años carentes de datos, 1956 a 1959, por lo que se dispuso para el análisis de un total de 60 años.

A partir de los datos mencionados, para cada año de la serie se extrajo el máximo valor diario de lluvia ocurrido, componiéndose con los mismos una serie de máximas anuales de 24 horas.

En la determinación de probabilidades de eventos extremos a partir de series de datos se asume que: a) los valores extremos son una variable estadística, b) la distribución no cambia de una muestra a otra, c) los datos son independientes y d) la muestra es suficientemente grande. El uso de los máximos anuales absolutos es deficiente debido a que puede omitir algunos otros valores grandes del año. Sin embargo satisface los requerimientos a y c por lo que se hace utilizable (Le Duc, 1981). Respecto de la longitud de las series, según las revisiones de Sevruck y Geiger (1980), registros de 40 a 50 años son adecuados en la mayoría de los casos.

### b. Funciones de distribución y estadística

Para el análisis de precipitaciones extremas se han aplicado diferentes distribuciones estadísticas y métodos de cálculo de los parámetros correspondientes (Rasheed, *et al.*, 1983; Sevruck y Geiger, 1980; Revfeim y Hughes, 1983; Huff y Angel, 1989). No obstante esa diversidad, Gumbel (1958) establece que el mejor ajuste no puede deducirse solamente de la teoría, debido a la carencia de una base física para seleccionar la distribución estadística de mejor ajuste. Huff y Angel (1992) establecen que el tipo de distribución específica que proporciona el ajuste óptimo para un lugar depende de factores como el clima, las características del terreno (topografía, espejos de agua, etc) y de la estación del año. De acuerdo a estos factores, se introducen ciertas dudas sobre el comportamiento idéntico del fenómeno en un lugar y en otro. Los mismos autores incorporan también la variabilidad natural del fenómeno. Esto significa que la ocurrencia de algunos eventos anormales pueden producir un cambio en la distribución así como también la variabilidad inducida por el hombre, originando una diferencia local específica.

La elección del tipo de distribución se realiza generalmente de acuerdo a la conveniencia o según los procedimientos de cálculo. En otros casos se ajustan varias distribuciones y por criterios técnicos visuales u otros más objetivos como test estadísticos, se selecciona la mejor (Lieblein y Zelen, 1959). Probablemente las distribuciones usadas más frecuentemente son las de valores extremos de Tipo I y la Lognormal según Sevruck y Geiger (1980). Estos autores en una extensa revisión sobre tipos de distribuciones de valores extremos de precipitación encontraron mayores argumentos de uso en favor de la distribución de Tipo I, aunque las estimaciones provenientes de la lognormal difirieron con respecto a los de ésta, en un pequeño porcentaje. Los mismos autores analizan, resultados de aplicaciones de distribuciones según condiciones climáticas, geográficas y también estacionales. En este último aspecto veri-

ficaron un comportamiento más satisfactorio de la distribución de valores extremos de Tipo II con datos de verano de Illinois, EE.UU., mientras que la lognormal ajustó mejor a datos de invierno, primavera y otoño.

En el presente trabajo se emplean las distribuciones de valores extremos de Tipo I y Tipo II. De acuerdo a Thom (1966), la función de densidad de probabilidad de la distribución de valores máximos de Tipo I responde a la siguiente forma:

$$F(x) = \exp [ -e^{-(x-\alpha)/\beta} ]$$

donde  $F(x)$  es la probabilidad de una lluvia máxima de 24 horas menor o igual a  $x$ ;  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la distribución.

El intervalo de recurrencia media  $R$ , para lluvias mayores que  $x$  es dado por:

$$R = 1 / [1 - F(x)]$$

La distribución de Tipo II es una transformación exponencial de la de Tipo I. La misma puede ser ajustada aplicando la distribución de Tipo I a los logaritmos naturales de  $x$  (Thom, 1966). Las lluvias máximas esperadas, resultantes de la aplicación de esta distribución de Tipo II deben ser transformadas para obtener los valores originales.

Los parámetros de ambas distribuciones se estimaron a partir de la serie disponible de lluvias extremas, por los métodos de los Momentos (Custodio y Llamas, 1976; Hahn y Shapiro, 1967), de Gumbel (1954) y de Lieblein (1960). Los parámetros de ambas distribuciones se estimaron por los tres métodos, a partir de la serie completa (1932/95) y también de series menores, resultantes de la participación de aquella (series 1932/51, 1976/95, 1932/65, 1966/95).

Las frecuencias teóricas calculadas para cada una de las distribuciones, según los métodos de estimación de los parámetros y la longitud de las series utilizadas, se compararon con las frecuencias observadas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) (Massey, 1951), al nivel de significancia del 15% (Yao, 1969). El software utilizado para el desarrollo del trabajo fue Excel 7.0.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La ocurrencia de lluvias máximas en Río Cuarto muestra una función de distribución de frecuencias que difiere de una distribución normal. En la Figura 1 puede observarse que si bien las mayores frecuencias coinciden con máximas diarias entre

50 mm y 60 mm de lluvia, es probable la ocurrencia de máximas superiores a 160 mm.

La distribución empírica de la Figura 1 responde a un modelo de distribución limitada entre cero e infinito, estirada hacia la derecha y del tipo de distribuciones asintóticas de valores máximos. No obstante esta verificación, queda todavía una amplia gama de elección para decidir el modelo correcto de la distribución inicial. Esto es debido a que varias distribuciones teóricas responden a las características de la función observada (Hahn y Shapiro, 1967).

La aplicación de los modelos de Tipo I y de Tipo II produjo los resultados que se observan en el Cuadro N° 1. El modelo de distribución de Tipo I aplicado a las series de valores máximos demuestra ser aceptable con cualquiera de los tres métodos de estimación de los parámetros. En efecto, las diferencias máximas ( $D_{\max}$ ) entre la distribución empírica de frecuencias y las distribuciones teóricas según los respectivos parámetros, no superan en ningún caso el valor crítico ( $D_{0.15}$ ) del test K-S. Según este test, la hipótesis nula de que las distribuciones empírica y teórica son iguales, es recha-

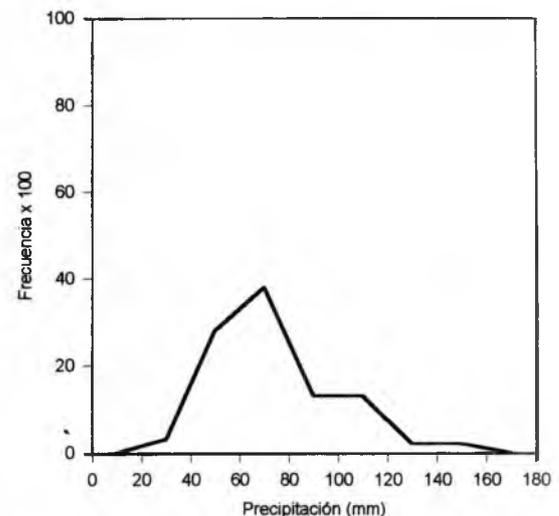


Figura 1. Función de densidad de probabilidad de lluvias máximas de 24 horas en Río Cuarto (serie 1932/95).

**Cuadro N° 1. Ajuste de las distribuciones de Tipo I y Tipo II con parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  estimados por distintos métodos a partir de series de distinta longitud, de lluvias máximas anuales en 24 horas (N: n° de años utilizados;  $D_{\max}$ : diferencia máxima entre frecuencia empírica y teórica;  $D_{0,15}$ : diferencia crítica significativa)**

Distribución	Método de estimación	Serie	$\alpha$	$\beta$	N	$D_{\max}$	$D_{0,15}$
Tipo I	Momentos	1932/51	68,73	16,14	20	0,111	0,246
Tipo I	Gumbel	1932/51	67,85	19,47	20	0,071	0,246
Tipo I	Lieblein	1932/51	68,92	16,38	20	0,106	0,246
Tipo II	Momentos	1932/51	4,38	0,23	20	0,096	0,246
Tipo II	Gumbel	1932/51	4,17	0,27	20	0,097	0,246
Tipo II	Lieblein	1932/51	4,19	0,24	20	0,880	0,246
Tipo I	Momentos	1976/95	64,09	23,13	20	0,149	0,246
Tipo I	Gumbel	1976/95	62,82	27,90	20	0,133	0,246
Tipo I	Lieblein	1976/95	63,07	23,37	20	0,133	0,246
Tipo II	Momentos	1976/95	4,11	0,29	20	0,163	0,246
Tipo II	Gumbel	1976/95	4,09	0,35	20	0,122	0,246
Tipo II	Lieblein	1976/95	4,09	0,33	20	0,939	0,246
Tipo I	Momentos	1932/65	68,65	15,22	30	0,174	0,20
Tipo I	Gumbel	1932/65	62,91	17,54	30	0,067	0,20
Tipo I	Lieblein	1932/65	65,07	16,79	30	0,086	0,20
Tipo II	Momentos	1932/65	4,67	0,21	30	0,163	0,20
Tipo II	Gumbel	1932/65	4,11	0,25	30	0,092	0,20
Tipo II	Lieblein	1932/65	4,24	0,25	30	0,841	0,20
Tipo I	Momentos	1966/95	66,03	19,76	30	0,097	0,20
Tipo I	Gumbel	1966/95	63,45	22,77	30	0,072	0,20
Tipo I	Lieblein	1966/95	65,53	19,46	30	0,088	0,20
Tipo II	Momentos	1966/95	4,14	0,25	30	0,163	0,20
Tipo II	Gumbel	1966/95	4,12	0,29	30	0,080	0,20
Tipo II	Lieblein	1966/95	4,24	0,28	30	0,940	0,20
Tipo I	Momentos	1932/95	63,79	17,68	60	0,060	0,147
Tipo I	Gumbel	1932/95	63,33	19,30	60	0,069	0,147
Tipo I	Lieblein	1932/95	65,30	18,13	60	0,091	0,147
Tipo II	Momentos	1932/95	4,13	0,23	60	0,071	0,147
Tipo II	Gumbel	1932/95	4,12	0,25	60	0,080	0,147
Tipo II	Lieblein	1932/95	4,24	0,27	60	0,948	0,147

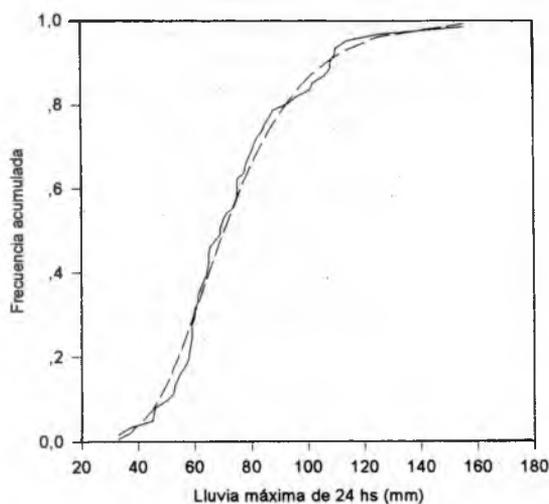


Figura 2. Frecuencias empíricas acumuladas (—) de lluvias máximas de 24 hs (serie 1932/95) y frecuencias teóricas (----) calculadas mediante la distribución de Tipo I y parámetros estimados por el método de Gumbel.

zada cuando la diferencia máxima absoluta es mayor que la diferencia crítica al nivel de significancia establecido. Estos resultados se verifican tanto para el caso de la serie de 60 años, como para las series menores.

La estrecha correspondencia entre el modelo de Tipo I y los valores experimentales puede observarse en la Figura 2, donde se representan las

frecuencias empíricas y las frecuencias teóricas de la distribución de Tipo I por el método de Gumbel. Similar correspondencia se obtuvo al representar frecuencias de la misma distribución pero con parámetros calculados por el método de Lieblein.

El test K-S aplicado sobre los resultados de la distribución de Tipo II, evaluada con parámetros estimados por el método de los Momentos y de Gumbel, no revela evidencias que indiquen el rechazo de esos modelos en ninguna de las series. Sin embargo, cuando el método de Lieblein de estimación de parámetros es aplicado, las diferencias máximas superan el valor crítico del test en todas las series consideradas (Cuadro N° 1).

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de las dos distribuciones utilizadas y el de los tres métodos de estimación de los parámetros, se estimaron para cada caso las lluvias máximas esperadas en un período de retorno de 50 años ( $P \geq 0,98$ ) (Cuadro N° 2).

A los fines de tomar una referencia de comparación, los resultados de los cálculos dentro del Cuadro N° 2, se comparan con la lluvia máxima de 50 años estimada a partir de la distribución de Tipo I y el método de Gumbel. Los tres métodos de estimación de los parámetros con la distribución de Tipo I, demuestran un comportamiento similar, evaluados a través de la estimación que producen. La estimaciones por los métodos de los momentos y de Lieblein ligeramente subestiman la precipitación máxima respecto de Gumbel, pero el error no supera el 5%.

Cuadro N° 2. Comparación entre precipitaciones máximas de 24 horas, esperadas en 50 años ( $P \geq 0,98$ ), estimadas por los modelos de Tipo I y Tipo II, según los distintos métodos de estimación de los parámetros (serie 1932/95)

Distribución	Mét. de estimación de parámetros	Lluvia máxima en 50 años (mm)	Error respecto a Tipo I - Gumbel (%)
Tipo I	Momentos	132,8	-4,2
Tipo I	Gumbel	138,7	0
Tipo I	Lieblein	136,1	-1,8
Tipo II	Momentos	153,1	10,4
Tipo II	Gumbel	165,2	19,2
Tipo II	Lieblein	199,0	43,5

La distribución de Tipo II muestra en general, una sobrestimación de las lluvias máximas respecto a las del Tipo I, por cualquiera de los métodos de estimación de los parámetros utilizados. Además, la comparación de los tres métodos en la distribución de Tipo II, revela mayores diferencias entre los resultados que dentro de los estimados por la de Tipo I. La comparación de las estimaciones según la distribución de Tipo I y de Tipo II, ambas con parámetros estimados por Gumbel, indica un error de sobrestimación del 19,2% de la segunda respecto de la primera y de un 10,4% utilizando Momentos. La fuerte sobrestimación que produce el modelo de Tipo II con Lieblein, corrobora la falta de ajuste estadístico del modelo.

La estacionalidad de las precipitaciones máximas de 24 horas en Río Cuarto pueden observarse en la Figura 3 a través de la distribución de frecuencias para distintos niveles de ocurrencia. Estos resultados se obtuvieron de un análisis de frecuencias de lluvias mensuales máximas de 24 horas de la serie original. Las mayores frecuencias en todos los niveles coinciden con la estacionalidad de las precipitaciones en esta zona, cuya distribución está

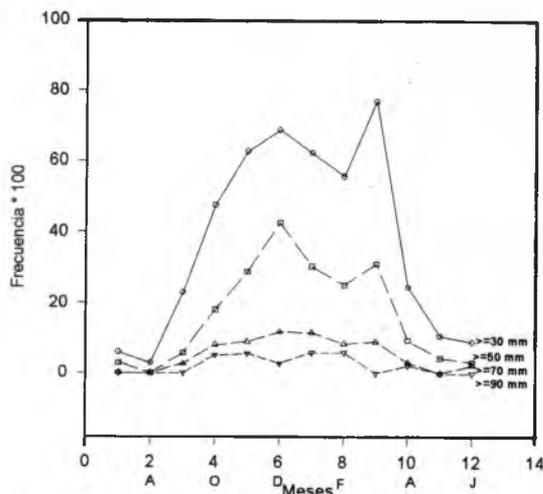


Figura 3. Probabilidad de ocurrencia de lluvias máximas de 24 hs, iguales o mayores a distintos niveles, según la época del año (serie 1932/95).

centrada en primavera-verano. Para el caso de extremas más elevadas, iguales o mayores que 90 mm, la probabilidad de ocurrencia abarca los meses de septiembre a mayo, observándose una mayor frecuencia de ocurrencia en el mes de febrero.

### CONCLUSIONES

Los resultados de estos estudios demuestran que las distribuciones de Tipo I y de Tipo II de valores extremos son modelos adecuados para el análisis de lluvias máximas de 24 horas en Río Cuarto.

Los tres métodos utilizados para la estimación de los parámetros de esas distribuciones tienen comportamiento similar y en general los tres son estadísticamente aceptables, excepto el de Lieblein para la distribución de Tipo II. La significativa diferencia del método de Lieblein demuestra en este caso estar asociado al Tipo de distribución más que a la longitud de las series. No obstante, se deberían realizar comprobaciones más extensivas con otras series y lugares. El valor de los parámetros cambia según la serie considerada, esto se debe a que los mismos son una propiedad de la muestra y no tienen una interpretación física del fenómeno analizado. Por esta razón es más recomendable efectuar estimaciones de valores extremos utilizando parámetros derivados de series tan largas como sea posible. Las estimaciones de lluvias máximas diarias con largos períodos de retorno (50 años), a partir de ambas distribuciones y de los respectivos métodos de estimación de los parámetros muestran diferencias entre ellas hasta 19,2%. En el sector agrícola, los períodos de retorno usados corrientemente son menores a 50 años, por lo que el error posible de cometer según el modelo que se selecciona, resultaría inferior a ese nivel.

La utilización de las distribuciones ajustadas permite estimar en forma rápida probabilidades de ocurrencia de registros máximos, períodos de retorno y lluvias máximas diarias según las necesidades de los usuarios.

**BIBLIOGRAFIA**

- CUSTODIO, E. y M. R. LLAMAS, 1976. Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S.R Casanova, 220 - Barcelona - 1157 pgs.
- HAHN, G. J. y S. S. SHAPIRO, 1967. Statistical models in Engineering. New York, John Willey Sons, Inc. 355 pgs.
- GUMBEL, E. J., 1954. Statistical theory of extreme values and some practical applications. National Bureau of Standard Appl. Mathematics . Ser. 33.
- GUMBEL, E. J., 1958. Statistics of extremes. Columbia University Press, New York, 375 pgs.
- HUFF, F. A. and J. R. ANGEL, 1992. Rainfall frequency atlas of the midwest. Midwestern Climate Center and Illinois State Water Survey, Bull. 71. 141 pgs.
- LE DUC, S. K., 1981. Meteorological Statistic. Notes course 420 - Atmospheric Science. University of Missouri, Columbia, U.S.A.
- LIEBLEIN, J. and M. ZELEN, 1959. Statistical investigation of the fatigue life of Deep-Groove Ball Bearing. *J. of the National Bureau of Standards*, 57 (5): 273-316.
- LIEBLEIN, J., 1960. Distribution of extreme winds in the United States. *J. Struct. Div. Proc. Am. Soc. of Civil Engineering*, 86:161-163.
- MASSEY, F. J., 1951. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *J. of Am. Stat. Assoc.* 46:68-78.
- OSBORN, H. B., 1983. Timing and duration of high rainfall rates in the southwestern United States. *Water Resources Research*, 19 (4): 1936-1042.
- RASHEED, H., ALDABAGH, R. S. and M. V. RAMAMOORTHY, 1983. Rainfall analysis by power transformation. *J. of Climate and Appl. Meteorol.* 22 (8) : 1411-1415.
- REVFEIM, K. J. A. and H. S. HUGHES, 1983. Physically meaningful parameters that characterise rainfall total and rainfall extremes. *New Zealand J. of Science*, 26:443-445.
- SEVRUK, B. and H. GEIGER, 1980. Selection of distribution types for extremes of precipitation. Report N 15. Geneva: World Meteorological Organization N° 568. 64 pgs.
- SORRELL, R. C. and D. A. HAMILTON, 1990. Rainfall frequency for Michigan, 24 hour duration with return periods from 2 to 100 years. Draft. Michigan Department of Natural Resources, Lansing, MI. 24 pgs.
- THOM, H. C. S., 1966. Some methods of climatological analysis. *Tech. note* N° 81. Geneva: World Meteorological Organization N° 199. 53 pgs.
- WANTZ, W. J. and R. E. SINCLAIR, 1981. Distribution of extreme winds in the Bonneville Power Adm. Service Area. *J. For Appl. Meteorol.* 20: 1400-1411.
- YAO, R. Y. M., 1969. The R index for plant water requirement. *Agric. Meteorol.* 6:259-273.