

CFA88: UN PROGRAMA VERSATIL PARA EL ANALISIS DE EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS. II. APLICACIONES

*Jorge Fallas Gamboa**

RESUMEN

Para ilustrar la aplicación del programa CFA88 (Consolidated Frequency Analysis Package, versión 1) se evaluaron dos series hidrometeorológicas extremas. La primera corresponde a valores de precipitación máxima en 48 horas para la estación pluviométrica San José y la segunda a descargas instantáneas para la estación limnigráfica 842402 Tacares. Por su configuración y operación a base de menús CFA88 es un programa sumamente versátil y útil para aquellos profesionales involucrados en el análisis de eventos hidrometeorológicos extremos.

1. INTRODUCCION

En un trabajo previo (Fallas, 1988) se describió el programa CFA88 (Consolidated Frequency Analysis Package, version 1); así como algunos conceptos básicos sobre

* Profesor. Escuela de Ciencias Ambientales y Programa Regional en Manejo de Vida Silvestre, Universidad Nacional, Heredia.

distribuciones de frecuencia y su aplicación al estudio de series hidrometeorológicas extremas. El presente documento tiene como objetivo ilustrar la aplicación del programa CFA88, para lo cual se han seleccionado dos series anuales; una para valores de precipitación máxima en 48 horas de la estación pluviométrica San José y la otra de descarga instantánea de la estación fluviográfica 842402 Tacares.

2. ESTACION PLUVIOMETRICA SAN JOSE

La estación pluviométrica San José se ubica en la ciudad del mismo nombre ($9^{\circ}56'N$ y $84^{\circ}05'W$) a una elevación de 1.172 m.s.n.m. y cuenta con un registro continuo desde el año 1888 (IMN, s.a.) (figura 1A). Su régimen lluvioso es típico de la región del Pacífico y sus valles (e.g. Graven Central y General) caracterizado por una estación seca bien marcada que va de diciembre a mediados de abril y un período lluvioso de mayo a noviembre (Herrera, 1985). El 98% de los eventos máximos se registraron durante la estación lluviosa (mayo a noviembre) y el 2% remanente en los meses de marzo y abril. Al interior de la estación lluviosa la mayor frecuencia de eventos se observó en los meses de mayo (15%), junio (16%), agosto (14%), setiembre (16%) y octubre (21%) (figura 1B).

El viento predominante es del sector norte a este durante los meses de enero a mayo, julio y octubre a diciembre. En los meses de junio y setiembre predominan, entre las 15 y 18 horas, los vientos del Pacífico con direcciones comprendidas entre el oeste y el noroeste. El veranillo se presenta en los meses de julio y agosto como resultado de una intensificación de los vientos alisios del este (Zárate, 1978).

El cuadro 1 presenta los estadísticos descriptivos para la serie pluviométrica en estudio. El registro se caracteriza por un evento medio de 107,3 mm.; un coeficiente de variación de 23,8% y una distribución con una asimetría positiva (figura 1C y D). El 72% de las observaciones presentan una precipitación entre 74 y 120 mm., con un mínimo de 58,1 y un máximo de 188,0 mm.

Al evaluar la serie pluviométrica no se detectaron valores extremos fuera de lo común (low-high outliers) y se confirmó que el registro cumple con los supuestos de homogeneidad, aleatoriedad, independencia y ausencia de tendencia en el tiempo ($P > 0,05$). Las precipitaciones esperadas para períodos de retorno entre 1,003 y 500 años, así como los estimadores para los diferentes parámetros de las distribuciones de frecuencia ajustadas a la-serie se presentan en los cuadros 2 y 3, respectivamente. La figura 2 muestra el ajuste gráfico de la precipitación máxima en 48 horas de la estación San José a cada uno de las distribuciones estudiadas. Las distribuciones de valor generalizado extremo (VGE), lognormal de tres parámetros y log Pearson tipo III exhiben una tendencia lineal muy similar, en tanto que la distribución de Wakeby muestra un patrón curvilíneo para eventos con períodos de retorno inferiores a 1,25 años y una tendencia lineal para los eventos remanentes (1,25 a 500 años).

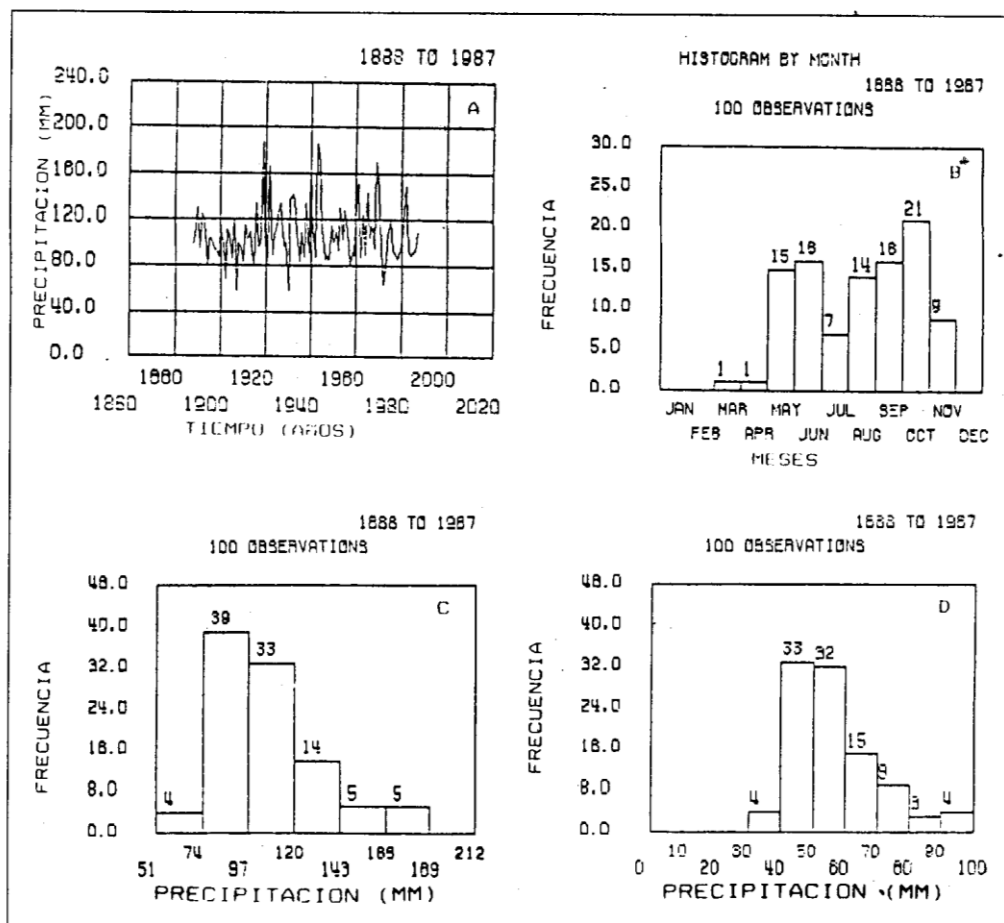


Figura 1. Estación pluviométrica San José. A. Registro de eventos máximos en 48 horas. B. Distribución mensual de los eventos. C. Histograma. D. Histograma en por ciento de precipitación máxima.

La figura 3 permita apreciar la precipitación máxima esperada en 48 horas para períodos de retorno entre 1,003 y 500 años para cada una de las distribuciones teóricas evaluadas. La magnitud de la precipitación esperada según la distribución de valor generalizado extremo, lognormal de tres parámetros y log Pearson tipo III es muy similar para los once períodos de retorno evaluados. La distribución de Wakeby brinda resultados similares para eventos con períodos de retorno entre 1,05 y 20 años. Para períodos de retorno superiores o iguales a 50 años la estimación del evento esperado es superior entre un 6 y un 8 % (12 a 17 mm.) con respecto de las otras distribuciones.

3. ESTACION LIMNIGRAFICA TACARES

La estación limnigráfica Tacares (Nº 842402) se ubica sobre el río Poás (lat. 10º

CUADRO N° 1
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS PARA PRECIPITACION MAXIMA
EN 48 HORAS.
ESTACION SAN JOSE, 1888-1987

<i>ESTADISTICO</i>	<i>PRECIPITACION (x)</i> <i>(mm.)</i>	<i>Ln x</i>	<i>Ln (x-a)</i>
Promedio	107,3	4,65	4,40
Desv. estándar	25,6	0,23	0,29
Coef. var. (%)	23,8	4,90	6,60
Coef. asimetría	1,1	0,32	0,07
Coef. curtosis	4,3	3,61	3,78
Valor mínimo	58,1	—	—
Valor máximo	188,0	—	—

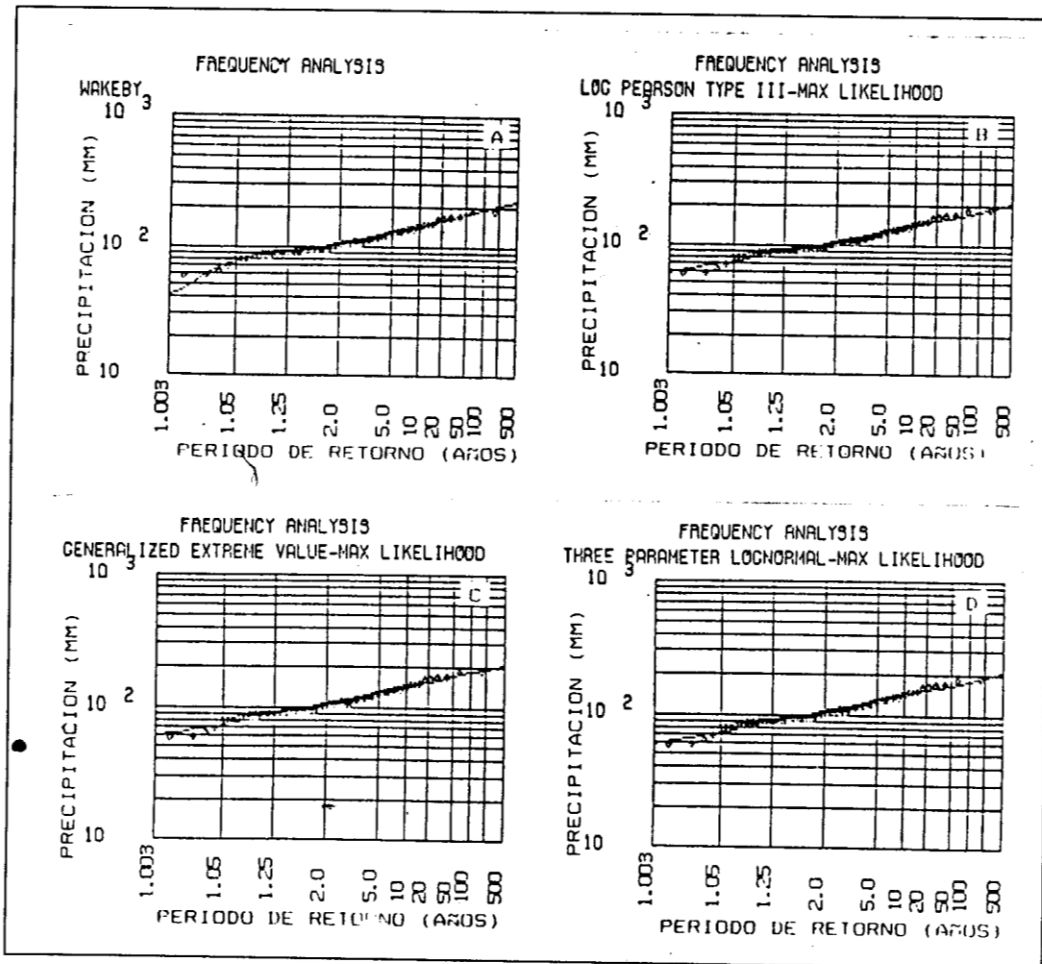


Figura 2. Ajuste gráfico de las distribuciones Wakeby (A). Log Pearson tipo III (B). Valor generalizado extremo (C). Lognormal de tres parámetros (D). Precipitación máxima en 48 horas, estación San José.

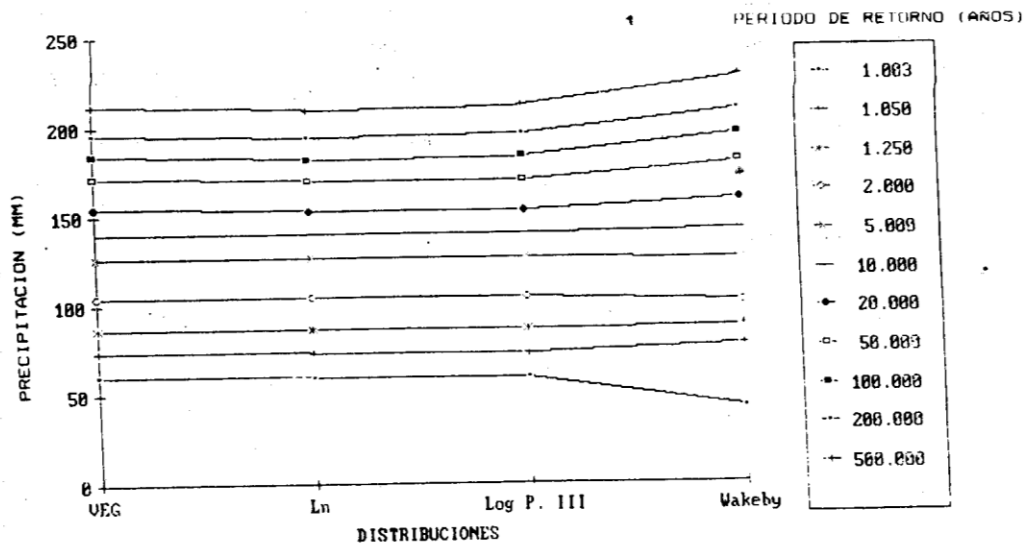


Figura 3. Precipitación máxima esperada en 48 horas para períodos de retorno entre 1,003 y 500 años. Estación pluviométrica San José. Período 1888-1978.

CUADRO N° 2
PERIODOS DE RETORNO ENTRE 1,003 Y 500 AÑOS PARA EVENTOS
MAXIMOS EN 48 HORAS PARA LA ESTACION SAN JOSE SEGUN LAS
DISTRIBUCIONES DE VALOR GENERALIZADO EXTREMO (VGE),
LOGNORMAL DE TRES PARAMETROS (LN),
LOG PEARSON TIPO III (LOG P.III)
Y WAKEBY. PERIODO 1888-1987

$T(x)$	$P(x > X)$	PRECIPITACION (MM.)			
		VGE	Ln	Log P. III	Wakeby
1,003	0,997	59,70	59,20	59,50	41,80
1,050	0,952	73,20	72,60	72,90	77,20
1,250	0,800	86,50	86,20	86,30	88,00
2,000	0,500	104,00	104,00	104,00	101,00
5,000	0,200	126,00	126,00	126,00	125,00
10,00	0,100	140,00	140,00	140,00	142,00
50,00	0,020	171,00	170,00	170,00	180,00
100,0	0,010	184,00	182,00	183,00	195,00
200,0	0,005	196,00	194,00	196,00	209,00
500,0	0,002	212,00	210,00	212,00	228,00

$T(x)$: período de retorno
 $P(x > X)$: probabilidad de excedencia

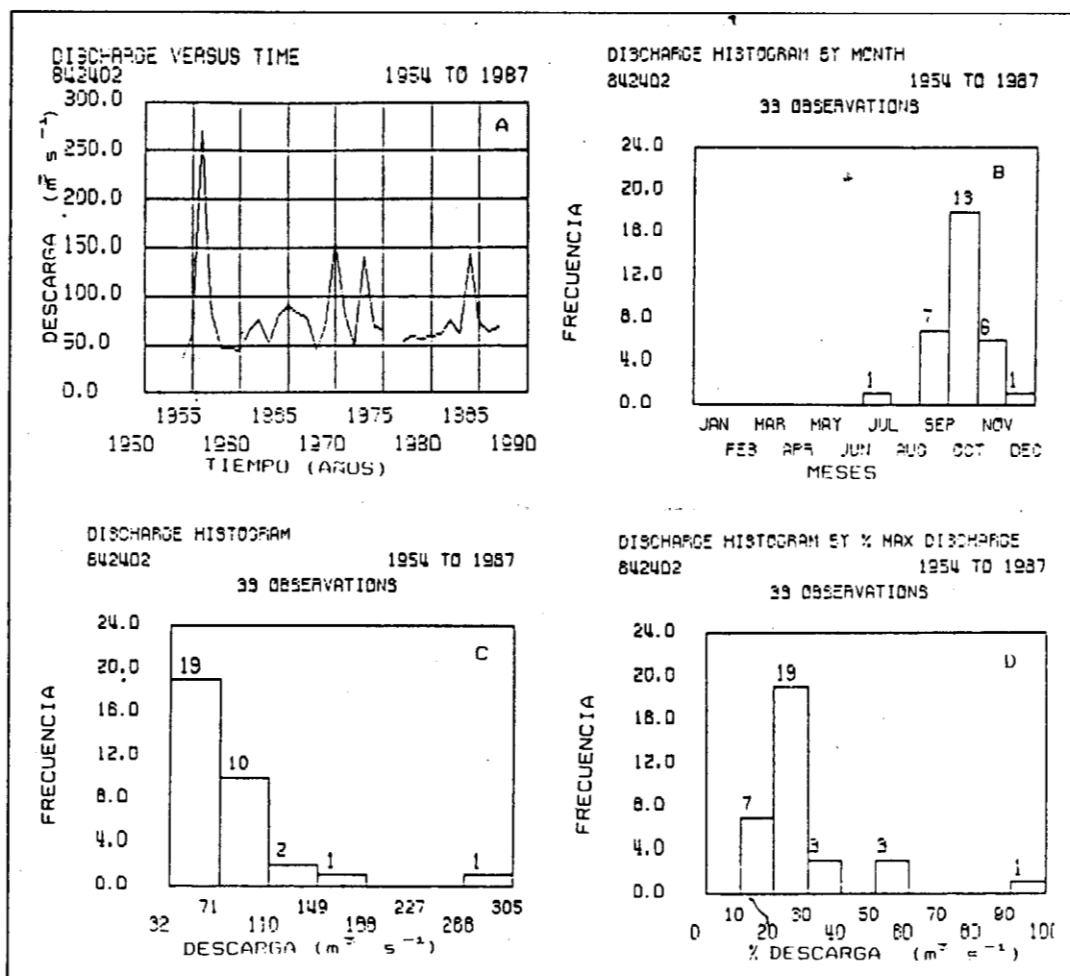


Figura 4. Estación fluvigráfica Tacaes. A. Registro de descarga instantánea ($m^3 s^{-1}$). B. Distribución mensual de los eventos. C. Histograma. D. Histograma en porcentaje de descarga máxima.

O' 14" y long. 84° 18' 42") en la cuenca del río Grande de Tárcoles y a una elevación de 598 m.s.n.m. Drena un área de 201,5 km² y su registro data desde el 12 de marzo de 1953 (figura 4A) (ICE, 1988). En el presente trabajo sólo se utilizaron 33 de los 34 años de registro, ya que no se cuenta con datos para los meses de octubre a diciembre de 1976. El 94% de los eventos (31) se registraron en los meses de setiembre, octubre y noviembre y el 6% remanente (2 eventos) en los meses de julio y diciembre. El 55% de los eventos (18) se observaron en el mes de octubre (figura 4B).

La descarga instantánea promedio del registro fue de 77,49 m³ s⁻¹, con un coeficiente de variación de 57%. La distribución es asimétrica y leptocúrtica (cuadro 4 y figuras 4C y D). Las transformaciones logarítmicas (Ln x y Ln x-a) mejoran notablemente la normalidad de la serie hidrológica.

CUADRO N° 3
PARAMETROS DE LAS DISTRIBUCIONES. VALOR GENERALIZADO
EXTREMO (VGE), LOGNORMAL DE TRES PARAMETROS (Ln),
LOG PEARSON TIPO III (LOG P.III) Y WAKEBY.
ESTACION PLUVIOMETRICA SAN JOSE.
PERIODO 1888-1987

<i>Distribución</i>	<i>Parámetros</i>	<i>Observaciones</i>
VGE	U = 9614 A = 20,228 K = 0,026	límite superior en: (U +(A/K)) = 0,8638E + 03
Ln	A = 22,735 M = 4,395 S = 0,291	
Log Pearson III	A = 0,2502 E-01 B = 80,77 Log (M) = 2,629 M = 13,86	
Wakeby	M = 36,424 A = 45,327 E = 0,54 B = 41,82 C = -459,952 D = -0,061	Límite superior de la distribución 17E + 03

La evaluación numérica y gráfica del registro (figuras 4A, C y D) indicó que la descarga instantánea registrada en 1956 ($271 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) es un valor fuera de lo común ($P < 0,05$) (high outlier). Con el objeto de mostrar la flexibilidad y versatilidad del programa CFA88 se evaluaron los siguientes escenarios:

1. Se ignoró la presencia de dicho valor.
2. Se asumió que la descarga de 1956 es un evento histórico para los últimos 50 años.
3. Escenario idéntico al esbozado en el numeral 2 pero para un período de 100 años.

Los cuadros 5, 6 y 7 presentan las descargas instantáneas esperadas para períodos de retorno entre 1,003 y 500 años para los tres escenarios evaluados. El ajuste gráfico de cada una de las distribuciones de frecuencia estudiadas para los escenarios 1, 2 y 3 se presentan en las figuras 5, 6 y 7, respectivamente. La descarga instantánea

CUADRO N° 4
ESTADISTICOS DESCRIPTIVOS PARA LA DESCARGA INSTANTANEA
(m³ s⁻¹) DE LA ESTACION TACARES, RIO POAS; CUENCA DEL RIO
GRANDE DE TARCOLES.
PERIODO 1954-1987

<i>ESTADISTICO</i>	<i>DESCARGA INSTANTANEA</i> (m ³ s ⁻¹)	<i>Ln x</i>	<i>Ln (x-a)</i>
Promedio	77,49	4,25	3,56
Desv. estándar	44,31	0,41	0,72
Coef. variación (%)	57,17	9,56	0,20
Coef. asimetría	3,01	1,47	0,25
Coef. curtosis	4,55	6,34	4,73
Máximo	271,00	—	—
Mínimo	36,00	—	—

esperada fue muy similar (-10%) para eventos con períodos de retorno inferiores a 50 años para los diferentes escenarios y distribuciones de frecuencia. Para los eventos con períodos de retorno superiores a 50 años la distribución de Wakeby mostró diferencias con respecto de las otras distribuciones que oscilaron entre un 14 y un 73 % para el escenario 1 (no considera evento fuera de lo común); entre un 29 y un 150% para el escenario 2 (período histórico de 50 años) y entre un 20 y un 60% para el escenario 3 (período histórico de 100 años).

La distribución de valor generalizado extremo mostró diferencias inferiores a un 10% entre los escenarios 1 y 2 para eventos con períodos de retorno entre 1,25 y 100 años. En cuanto a los escenarios 1 y 3, solamente los eventos con períodos de retorno entre 1,25 y 20 años mostraron diferencias inferiores a un 10%. La distribución lognormal mostró para los escenarios 1 y 2 una menor sensibilidad al valor fuera de lo común, ya que las diferencias fueron inferiores a un 10% para los eventos con períodos de retorno entre 1,25 y 200 años. Para los escenarios 1 y 3 el efecto fue más marcado, ya que solamente las descargas con períodos de retorno entre 1,003 y 10 años mostraron diferencias inferiores a un 10%. La distribución log Pearson tipo III mostró para los escenarios 1 y 2 una diferencia de -10% para eventos con períodos de retorno entre 1,05 y 100 años; en tanto que para los escenarios 1 y 3 todos los períodos de retorno mostraron diferencias menores a un 10%. Finalmente la distribución de Wakeby mostró diferencias de alrededor de un 10% para eventos con períodos de retorno entre 1,05 y 50 años, tanto para los escenarios 1 y 2 como para los 1 y 3.

En general, la mayor divergencia en la magnitud de la descarga máxima esperada se presentó en aquellos eventos con períodos de retorno inferiores a 1,05 años (cola inferior de la distribución) o superiores a 200 años (cola superior de la distribución).

CUADRO N° 5
PERIODOS DE RETORNO ENTRE 1,003 Y 500 AÑOS PARA LA
DESCARGA INSTANTANEA ($m^3 s^{-1}$) DE LA ESTACION TACARES, RIO
POAS. CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES.
PERIODO 1954-1987.
ESCENARIO 1: NO CONSIDERA EVENTO FUERA DE LO COMUN

<i>T(x)</i>	<i>DESCARGA INSTANTANEA ($m^3 s^{-1}$)</i>				
	<i>P(x > X)</i>	<i>VGE</i>	<i>Ln</i>	<i>Log P.III</i>	<i>Wakeby</i>
1,003	0,997	35,50	35,80	35,60	29,30
1,050	0,952	42,60	41,60	41,90	38,80
1,250	0,800	51,20	50,20	50,70	53,60
2,000	0,500	65,70	66,30	66,30	64,80
5,000	0,200	92,40	95,80	94,10	88,30
10,00	0,100	116,00	120,00	117,00	113,00
20,00	0,050	145,00	147,00	144,00	147,00
50,00	0,020	194,00	186,00	185,00	211,00
100,0	0,010	241,00	220,00	222,00	279,00
200,0	0,005	300,00	258,00	265,00	370,00
500,0	0,002	400,00	313,00	333,00	542,00

T(x): período de retorno
P(x>X): probabilidad de excedencia

CUADRO N° 6
PERIODOS DE RETORNO ENTRE 1,003 Y 500 AÑOS PARA LA
DESCARGA INSTANTANEA ($m^3 s^{-1}$) DE LA ESTACION TACARES, RIO
POAS. CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES.
PERIODO 1954-1987. ESCENARIO 2:
REGISTRO HISTORICO DE 50 AÑOS

<i>T(x)</i>	<i>DESCARGA INSTANTANEA ($m^3 s^{-1}$)</i>				
	<i>P(x > X)</i>	<i>VEG</i>	<i>Ln</i>	<i>Log P.III</i>	<i>Wakeby</i>
1,003	0,997	23,60	36,00	40,40	4,50
1,050	0,952	34,90	41,80	43,90	40,40
1,250	0,800	47,30	50,50	50,50	53,20
2,000	0,500	66,10	65,80	63,80	65,60
5,000	0,200	96,40	93,00	90,60	87,10
10,00	0,100	120,00	115,00	115,0	12,00
20,00	0,050	146,00	139,00	144,00	148,00
50,00	0,020	185,00	173,00	193,00	223,00
100,0	0,010	219,00	202,00	240,00	310,00
200,0	0,005	258,00	234,00	298,00	437,00
500,0	0,002	316,00	280,00	395,00	700,00

T(x): período de retorno
P(x>X): probabilidad de excedencia

CUADRO N° 7
PERIODOS DE RETORNO ENTRE 1,003 Y 500 AÑOS PARA
LA DESCARGA INSTANTANEA (m^3s^{-1}) DE LA ESTACION TACARES,
RIO POAS. CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES.
PERIODO 1954-1987.
ESCENARIO 3: REGISTRO HISTORICO DE 100 AÑOS

<i>T(x)</i>	<i>P(x > X)</i>	<i>DESCARGA INSTANTANEA ($m^3 s^{-1}$)</i>			
		<i>VEG</i>	<i>Ln</i>	<i>Log PIII</i>	<i>Wakeby</i>
1,003	0,997	27,80	35,90	39,10	33,40
1,050	0,952	37,90	42,00	43,60	40,70
1,250	0,800	48,90	50,50	50,70	53,80
2,000	0,500	65,50	65,00	63,90	65,50
5,000	0,200	91,90	89,70	88,60	88,20
10,00	0,100	112,00	109,00	110,00	111,00
20,00	0,050	135,00	129,00	134,00	139,00
50,00	0,020	168,00	158,00	173,00	189,00
100,0	0,010	197,00	183,00	209,00	238,00
200,0	0,005	229,00	209,00	351,00	300,00
500,0	0,002	278,00	246,00	319,00	409,00

T(x): período de retorno
P(x>X): probabilidad de excedencia

El comportamiento de las distribuciones en los tres escenarios evaluados fue el esperado, con la excepción de log Pearson tipo III y Wakeby, ya que estimaron para eventos con períodos de retorno superiores a 50 años descargas mayores para el escenario 1 con respecto del 2.

4. CONCLUSIONES

La versatilidad y capacidad de análisis del programa CFA88 se ilustró con la evaluación de dos registros hidrometeorológicos extremos. La serie pluviométrica San José representa el caso estándar, en tanto que el registro fluviográfico de Tacares es un ejemplo de un caso atípico, donde se detectó un evento fuera de lo común, el cual se analizó como un registro histórico.

Tanto las precipitaciones máximas como las descargas instantáneas esperadas para las estaciones San José y Tacares, respectivamente, difieren para las diferentes distribuciones de frecuencia utilizadas. Bajo condiciones normales y largos períodos de registro, como el representado por la estación San José, la selección de la distribución de frecuencia a utilizar tiene relativamente poca importancia desde el punto de vista práctico.

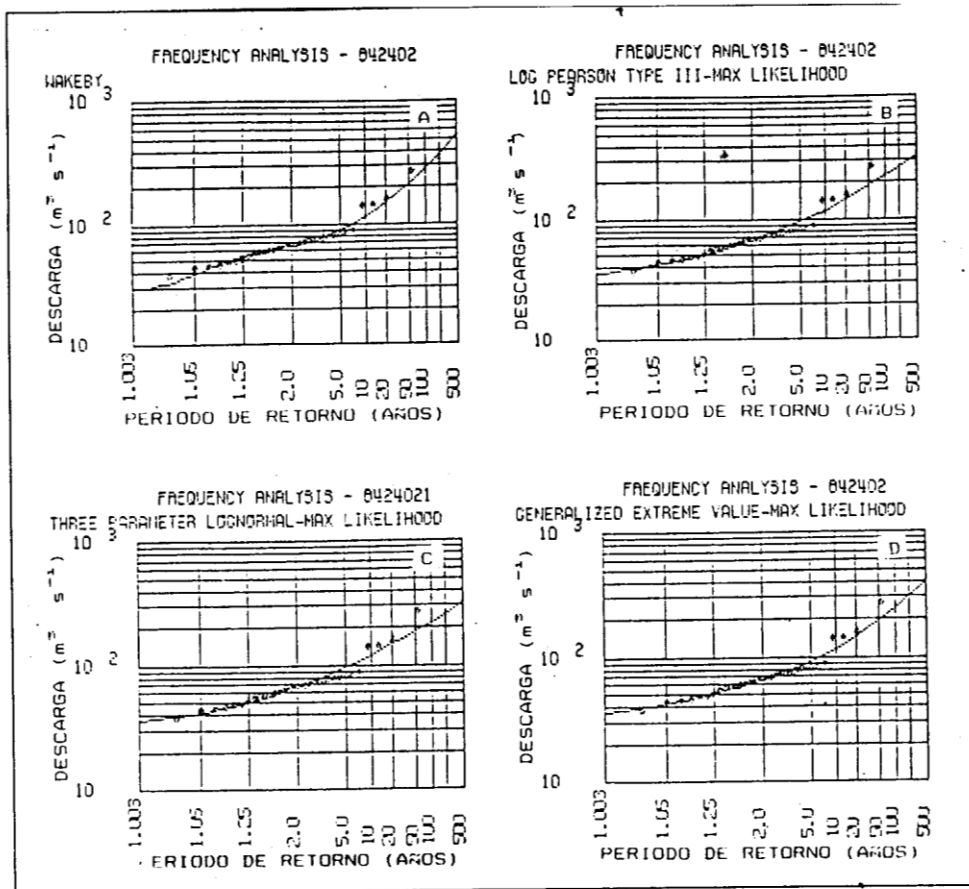


Figura 5. Ajuste gráfico de las distribuciones Wakeby (A); Log Pearson tipo III (B); Lognormal de tres parámetros (C) y Valor generalizado extremo (D). Descarga instantánea (m^3s^{-1}) de la estación Tacares. Escenario 1 no considera eventos históricos.

La mayor utilidad de un programa como CFA88 para el profesional involucrado en el estudio de eventos extremos puede apreciarse mejor al evaluar series atípicas y de corta duración, como es el caso de Tacares.

5. BIBLIOGRAFIA

Fallas G., Jorge. 1988. CFA88: UN PROGRAMA VERSATIL PARA EL ANALISIS DE EVENTOS HIDROMETEOROLOGICOS EXTREMOS. I Teoría. Revista Geográfica de América Central. (En prensa).

Herrera, W. 1985. CLIMA DE COSTA RICA. EUNED, San José. 118 pp.

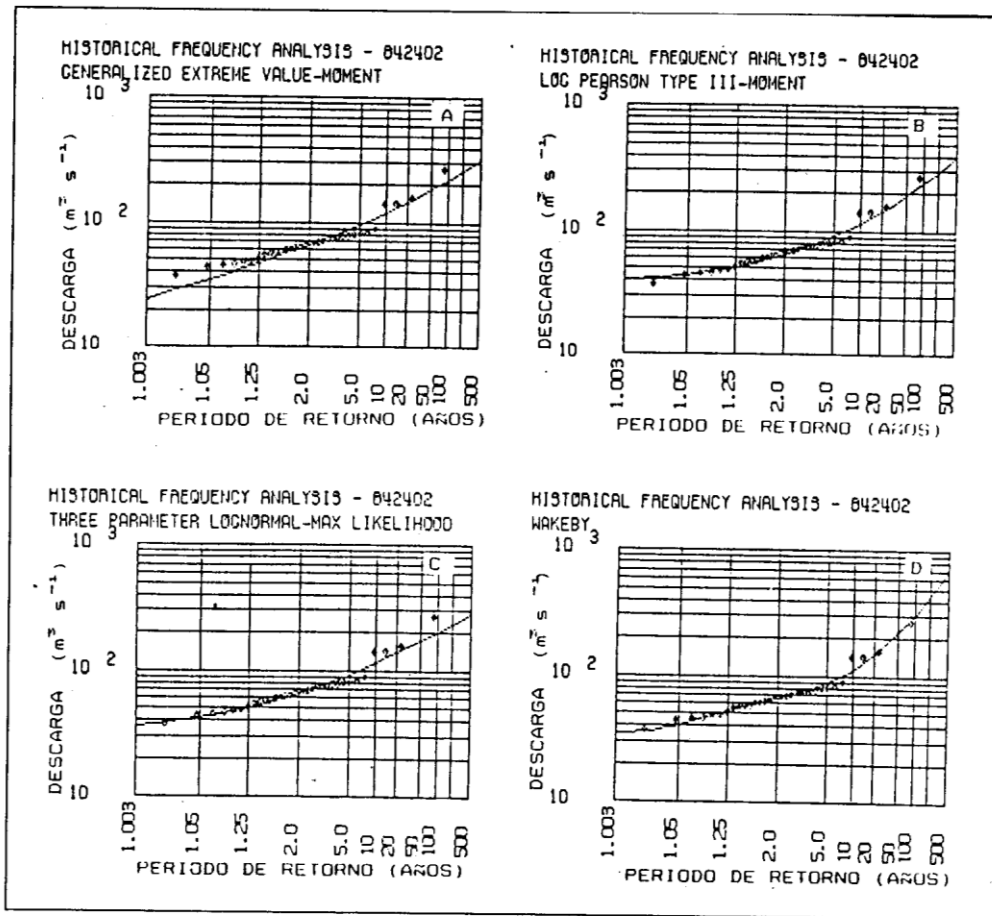


Figura 6. Ajuste gráfico de las distribuciones Valor generalizado extremo (A); Log Pearson tipo III (B); Lognormal de tres parámetros (C) y Wakeby (D). Descarga instantánea (m^3s^{-1}) de la estación Tacares. Escenario 2 asume presencia de evento histórico para un período de 50 años.

Instituto Costarricense de Electricidad. 1986. BOLETIN HIDROLOGICO. N° 16. San José, Costa Rica. 278 pp.

IMN. s.a. Archivo del IMN. LA ESTACION SAN JOSE 100 AÑOS DEL REGISTRO PLUVIOMETRICO. San José. s.p.

Zárate, H. Eladio. 1978. COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN COSTA RICA. NOTA DE INVESTIGACION. N° 2. Instituto Meteorológico Nacional. San José. 31 pp.

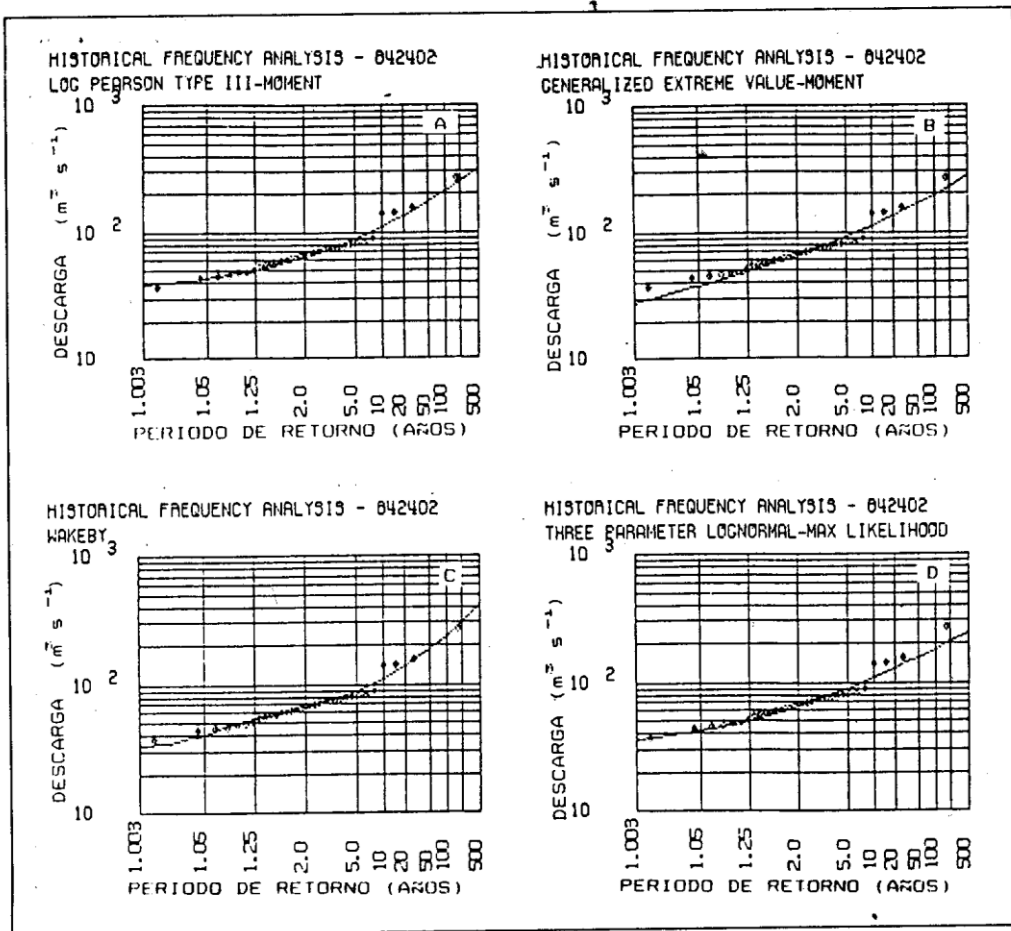


Figura 7. Ajuste gráfico de las distribuciones Log Pearson tipo III (A); Valor generalizado extremo (B); Wakeby (C) y Lognormal de tres parámetros (D). Descarga instantánea (m^3s^{-1}) de la estación Tacares. Escenario 3 asume presencia de evento histórico para un período de 100 años.