

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS PERIODOS DE RETORNO DE TRES EVENTOS DE LLUVIAS EXTREMAS EN COSTA RICA

*Wilhelm-Günther Vahrson**

RESUMEN

Por su posición en la Zona Convergencia Intertropical (ZCI) ocurren en Costa Rica, América Central, precipitaciones de alta intensidad con alta frecuencia. Diferentes fenómenos son las causas para estas precipitaciones, por ejemplo, bajas y huracanes en el Caribe, masas de aire frío, «easterly waves», aumento de la velocidad de los vientos alisios, cambios de la posición de la ZCI.

En este trabajo se analiza la distribución espacial de los intervalos de recurrencia para eventos diarios máximos anuales de 100 mm, 200 mm y 300 mm, basándose en

* Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Agradecimiento

Al Instituto Meteorológico Nacional y al Instituto Costarricense de Electricidad por la información meteorológica, a la Comisión Nacional de Emergencia por el apoyo financiero, al dibujante señor G. Hernández por los mapas, al señor D. Salgado por la digitación de los valores y a la señora P. Quirós por la mecanografía de este artículo.

una evaluación de las lluvias máximas diarias de 90 estaciones pluviométricas distribuidas en toda Costa Rica. Los resultados se exhiben en forma de mapas de isóneas en iguales períodos de retorno, para la evaluación de los períodos de retorno se utilizó el método de GUMBEL. Como áreas favorecidas con intervalos de recurrencia relativamente bajos se identificaron el Valle de El General, el Valle Central y una zona al este de la Cordillera de Guanacaste. Aquí los intervalos de recurrencia sobrepasan 100.000 años para eventos de 300 mm diarios y 100 años para eventos de 200 mm diarios.

Los períodos de retorno más cortos aparecen en una zona cerca de Quepos en la costa Pacífica y en la costa Caribe con valores menores de 10 años y menores de 30 años respectivamente para un evento diario de más de 300 mm.

Especialmente en la vertiente Caribe de la Cordillera Central se pueden observar los efectos de lluvias orográficas.

SUMMARY

Because of its position in the ITC, the frequency of high-intensity-rainfall in Costa Rica, Central-America, is high. These high intensities are due to different reasons, for instance: lows and hurricanes in the Caribbean Sea, cold air masses, easterly waves, intensification of the trade winds and changes of the position of the ITC.

In this study, we analyze the spacial distribution of the return periods of daily maximum rainfall events of 300 mm, 200 mm and 100 mm, evaluating the maximum annual rainfall amounts of 90 pluviometric stations by GUMBEL's method. The results are expressed in 3 isoduration maps of Costa Rica.

The areas favoured by relatively long return periods are the Valle de El General, the Valle Central and a zone east of the Cordillera de Guanacaste with minimum return periods above 100.000 years for events of 300 mm or more a return period of 100 years.

The shortest recurrence intervals, again for a 300 mm event, we found near Quepos in the Pacific coast and in the Caribbean coast with less than 10 years and 30 years respectively.

Specially, the Caribbean slope of the Cordillera Central shows a high influence of orographic rainfall.

1. INTRODUCCION

Conocimientos y análisis de eventos hidroclimáticos extremos (en este estudio las lluvias máximas anuales caídas durante 24 horas) tienen suma importancia para diferentes aspectos de la geomorfología (por ejemplo: lechos de inundaciones,

terrazas, deslizamientos y avalanchas), la conservación de suelos (análisis de erosión y erosividad de las lluvias), en la planificación de obras de infraestructura y en la prevención de desastres por avalanchas e inundaciones.

Por su localización dentro de la ZCI lluvias con altas intensidades ocurren en Costa Rica con cierta frecuencia: El valor máximo diario encontrado hasta ahora es 657 mm en la estación Bartolo cerca de Quepos en la costa Pacífica y valores máximos mayores de 400 mm/24 horas poseen cierta frecuencia. También existen lluvias con altas intensidades con duraciones más cortas:

VAHRSON, CARTIN y PATTERSON (1988) analizan un evento con una intensidad de 120 mm en una hora y 229 mm en 5 horas, RAMIREZ y CASTRO (1978) mencionan un evento con 75 mm en 15 minutos.

Los resultados de estos eventos son muchas veces deslizamientos y avalanchas en las zonas montañosas e inundaciones en las llanuras (RICHTER 1987, VAHRSON, SABORIO y HERNANDO 1988).

En este trabajo analizamos a partir de los registros de 90 estaciones meteorológicas en Costa Rica los períodos de retorno de eventos de 100 mm, 200 mm y 300 mm diarios y su distribución espacial.

La magnitud de eventos máximos diarios según diferentes períodos de retorno y su distribución espacial analizó VAHRSON (1988).

Estudios parecidos ya existen p.e. para Estados Unidos (HERSHFIELD 1961) o para Inglaterra (RODDA 1967). Para Costa Rica analizaron RAMIREZ y CASTRO (1978) las isoyetas de los eventos máximos diarios con períodos de retorno de 2 y 100 años para el caso de la cuenca del Río Grande de Tárcoles, BATCHELDER y COEN (1955) analizaron las lluvias de Turrialba y Bataan, GOVAERE (1974) las isoyetas de un evento extremo en la cuenca del Río Grande de Térraba, GRANDOSO (1976 y 1979) los efectos directos e indirectos de huracanes sobre la precipitación de América Central y las inundaciones de 1970 en la cuenca Caribe de Costa Rica.

ALFARO (1981) analiza la frecuencia diaria y anual de las lluvias en Costa Rica, HIDALGO (1981) describe las condiciones sinópticas de lluvias intensas de un período de 10 años. VAHRSON y FALLAS (1988) evalúan la aplicabilidad de tres diferentes métodos para el análisis de eventos externos con el registro de la estación San José.

2. MATERIALES Y METODOS

En Costa Rica existen momentáneamente 458 estaciones pluviométricas, el registro más largo lo posee la estación San José con valores diarios desde 1888. De estas estaciones se eligieron 90 bajo los siguientes criterios:

- Registros sin anomalías. Ejemplo: muchas de las estaciones de las compañías bananeras mostraron una alta frecuencia de valores diarios de 101.6 mm, o sea, 4 pulgadas, estos registros se descartaron. Otras estaciones muestran un cambio brusco de los valores máximos, o sea, un cambio sólo explicable por errores del personal o insuficiencia del equipo.
- Estaciones en todo el país
- De dos estaciones cercanas se prefirió la del registro más largo.
- Registros no menores de 10 años.
- VAHRSON y FALLAS (1988) mostraron que la evaluación de registros de solamente 10 años todavía permite resultados confiables.

Sólo en 3 casos no se pudo mantener el criterio de una duración de 10 años, tratándose de estaciones en la región de Talamanca y en Barra del Colorado.

El cuadro 1 muestra la duración de los registros, las estaciones están marcadas en los mapas 1-3.

De las estaciones así determinadas se analizaron las series máximas anuales eliminando eventuales valores extremos (INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA 1982).

Los eventos máximos según períodos de retorno se evalúan según GUMBEL (1945): la distribución de GUMBEL para el análisis de series extremas tiene la siguiente forma:

$$P(X > x) = 1 - e^{-\left(\frac{G_n(x - \bar{x})}{S_x} + \mu n\right)} \quad (1)$$

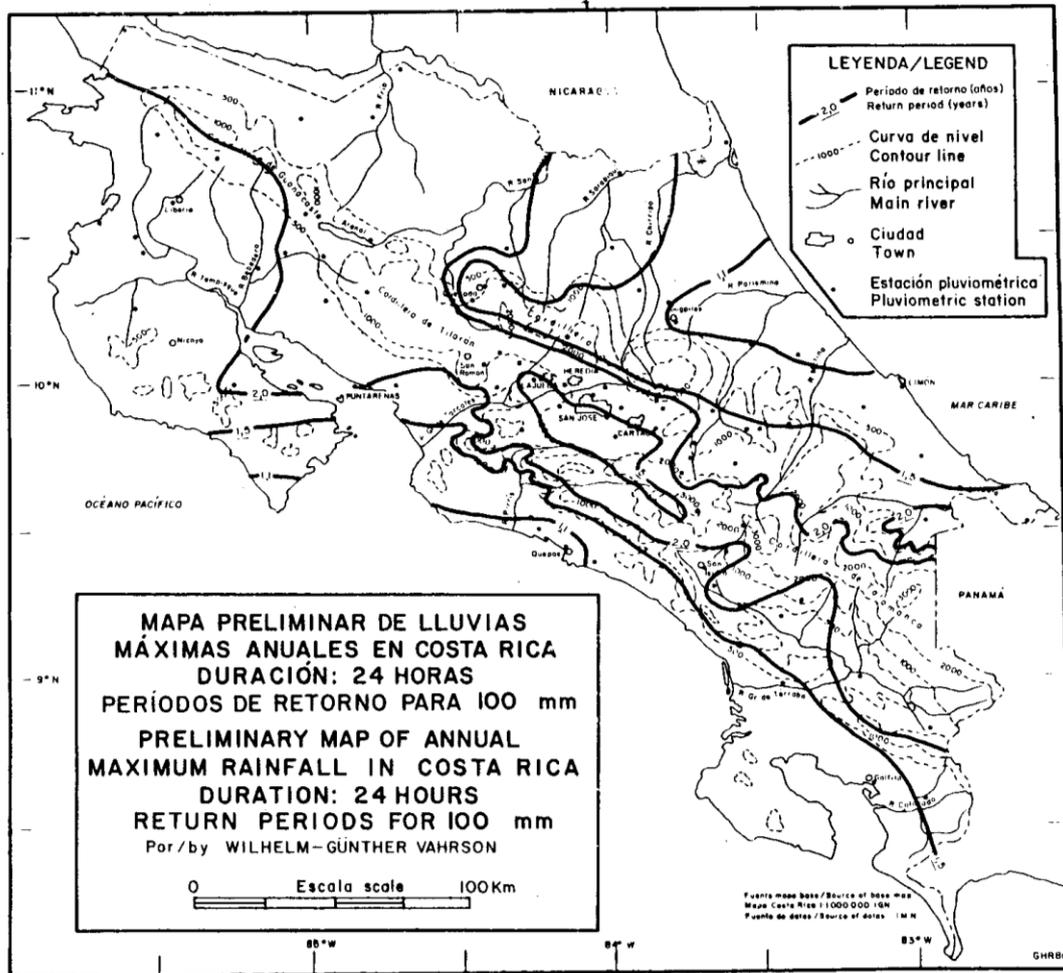
donde:

$P: (X > x)$ Probabilidad de excedencia de un evento x .

\bar{x} Promedio de la serie de los eventos máximos anuales.

S_x Desviación estándar de la serie de eventos máximos anuales.

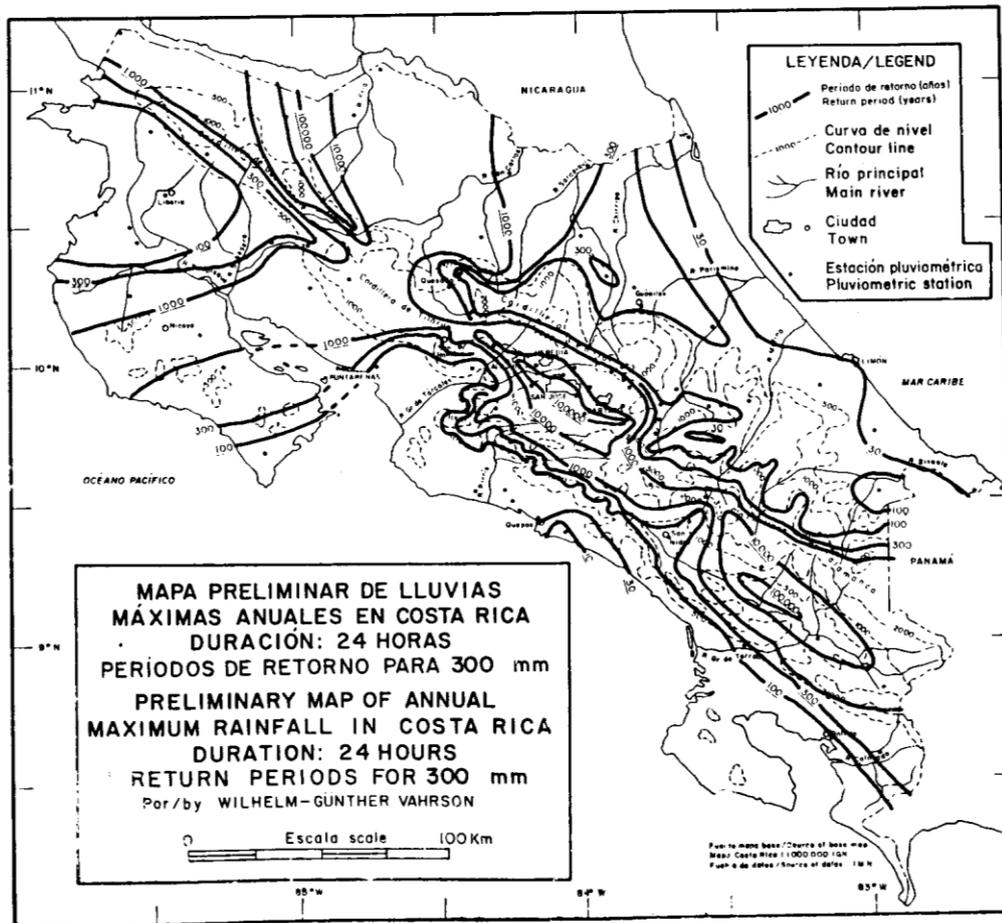
$\mu n, G_n$ Parámetros que dependen de la duración del registro y variable reducida de Gumbel.



Mapa 1
Isolíneas de iguales períodos de retorno para un evento de 100 mm

CUADRO N° 1
DISTRIBUCION DE LAS DURACIONES
DE LOS REGISTROS EVALUADOS

Años	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50
Estaciones	3	32	20	23	11	1



Mapa 2
Isolíneas de iguales períodos de retorno para un evento de 200 mm

Resolviendo (1) por x se obtiene la siguiente expresión:

$$x = \bar{x} + \frac{Sx(y - \mu)}{Gn} \quad (2)$$

O sea, el valor de un evento extremo x depende del promedio y la desviación estándar de una serie, de la duración del registro para los diferentes niveles de probabilidad deseados.

El período de retorno se puede calcular a partir de la probabilidad mediante la siguiente expresión:

$$T(x) = 1/P(x) \quad (3)$$

donde

$T(x)$ período de retorno (años) de un evento x con la probabilidad $P(x)$

La distribución de GUMBEL es igual a la distribución de eventos extremos tipo I de FISHER y TIPPET, VAHRSON y FALLAS (1988) obtuvieron con la distribución de GUMBEL mejores resultados en el caso de la evaluación del registro de la estación San José que con la distribución Log-Pearson III que se propone generalmente para el análisis de valores hidrológicos extremos (INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA 1982).

Para las diferentes estaciones se calcularon entonces los períodos de retorno para eventos de 100 mm, 200 mm y 300 mm y se determinaron las isóneas de iguales duraciones para un evento dado en una hoja topográfica escala 1:1.000.000. La interpolación se hizo tomando en cuenta límites climáticos naturales como montañas.

3. ASPECTOS DEL REGIMEN PLUVIAL DE COSTA RICA

Las lluvias en Costa Rica tienen dos regímenes principales, divididos por las cordilleras con diferentes distribuciones anuales y diarias.

La vertiente Caribe y la vertiente Pacífica

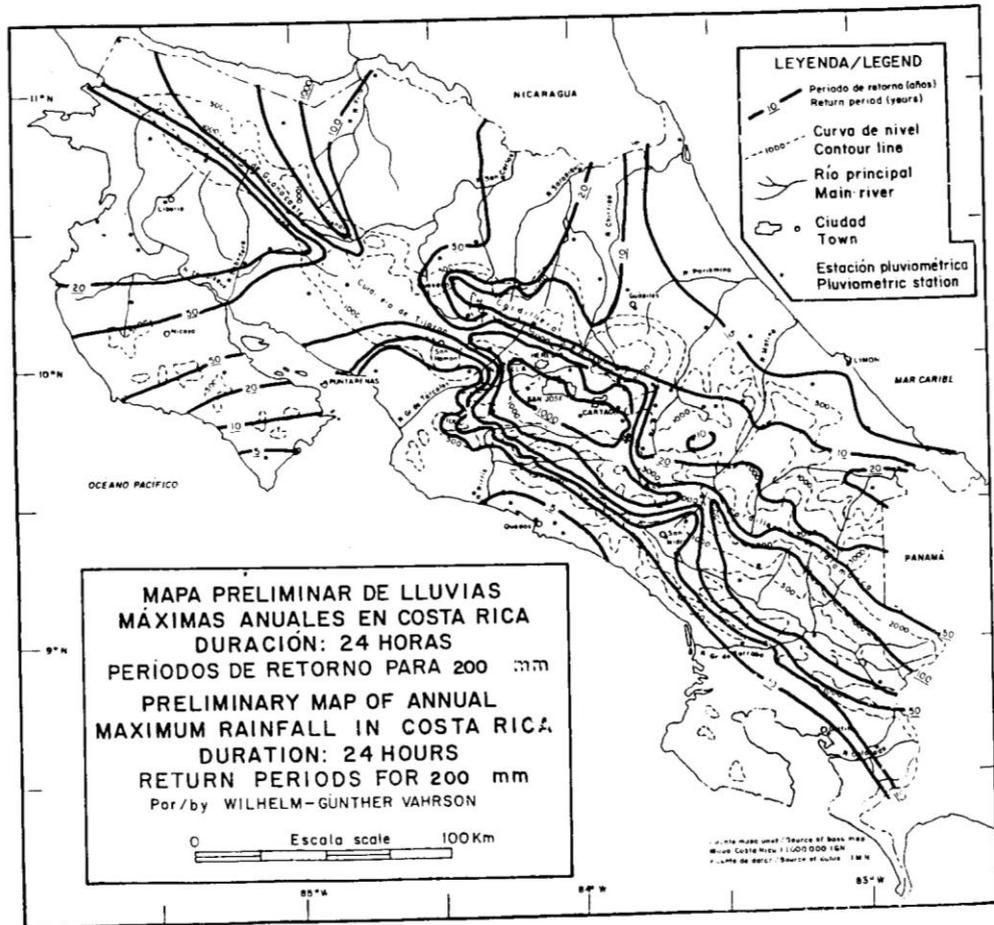
La vertiente Pacífica posee una época seca (diciembre-abril) y una época lluviosa (mayo-noviembre) con una reducción de la precipitación en julio y agosto bien definida. Las lluvias caen principalmente en la tarde y en la noche.

En la vertiente Caribe no existe una época seca, las lluvias normalmente son menores a las 100 mm mensuales.

En las zonas costeras no existe una distribución diaria de las lluvias, aunque las frecuencias de las lluvias son mayores durante las noches y mañanas (ALFARO 1981).

En el interior caen las lluvias de mayo a noviembre generalmente durante las tardes y noches, de diciembre a abril durante todo el día, con frecuencias mayores de lluvias nocturnas, se trata en primer lugar de lluvias convectivas y orográficas.

Las precipitaciones anuales poseen un rango de aproximadamente 1.400 mm (algunas zonas de Guanacaste y Cartago) hasta 7.700 mm (estación T-6, aproximadamente 25 km NE de Cartago). O sea, existe una diferencia de aproximadamente 6.300 mm en una distancia de 25 km.



Mapa 3
Isolíneas de iguales períodos de retorno para un evento de 300 mm

Según COEN (1955) las condiciones para lluvias intensas con una duración mayor de 9 horas (temporales) son las siguientes:

- Un huracán en el Caribe con una ruta entre 72 y 85 Lat. OE.
- Un disturbio tropical entre 5 y 15 Long.

HIDALGO (1980) cita como condiciones para lluvias intensas las siguientes situaciones:

- Influencia de «easterly waves» que producen lluvias intensas en el Caribe de Costa Rica. Especialmente en el invierno los «nortes», masas de aire frío causan precipitaciones fuertes.

- Huracanes. Sólo muy pocos huracanes llegan directamente a Costa Rica. Pero la baja en el Caribe causa una inversión de los vientos alisios normalmente dominantes con la consecuencia de fuertes lluvias orográficas en la vertiente Pacífica.
- Lluvias orográficas en el Caribe por el aumento de los vientos alisios, especialmente por ondas del este (troughs). Estas ondas tienen efectos parecidos a los de frentes en las zonas templadas.
- Posición de la ZCI. Dependiendo de su posición e intensidad la ZCI puede causar lluvias intensas en todas las partes del país, pero especialmente en el Pacífico Sur.
- Un cambio de la posición del alto de Bermudas o una intensificación puede aumentar los vientos alisios, con la consecuencia de fuertes lluvias orográficas en el Caribe.

4. LOS PERIODOS DE RETORNO

Para eventos mayores o iguales a 100 mm diarios los períodos de retorno más cortos se encuentran en el Pacífico cerca de Quepos y en la parte sur de la Península de Nicoya, y en la cuenca Caribe en un triángulo al norte de Limón con valores entre 1 y 1.1 años, o sea, que estos eventos se repiten anualmente. La región con los períodos de retorno más largos corresponde a una parte del Valle Central con períodos de retorno que sobrepasan 5 años.

En el resto del país ocurren entonces eventos de 100 mm diarios con una frecuencia entre 1.1 y 5 años, o sea, son muy frecuentes (mapa 1).

El caso de un evento de 200 mm muestra el mapa 2.

Otra vez son las zonas con menores períodos de retorno y por ende mayores frecuencias en el Pacífico en una zona cerca de Quepos y en el Sur de Nicoya con valores menores de 5 años. Las zonas más favorecidas con períodos de retorno relativamente largos son el Valle Central y una franja al oeste de la Cordillera de Guanacaste con valores mayores a 1.000 años, o sea, con probabilidades de un evento máximo anual igual o mayor a 200 mm en 24 horas menores de 0,1%.

Otra zona con una frecuencia baja es el Valle de El General donde sobrepasan los períodos de retorno los 100 años.

En la zona Norte se puede observar cómo aumenta el período de retorno conforme aumenta la distancia al mar Caribe, expresión de la predominancia de los temporales originados por los vientos alisios: cerca del mar la probabilidad de un evento de 200 mm es alta, con mayor distancia se ve reducida.

CUADRO N° 2
EVENTOS MAXIMOS SEGUN PERIODOS
DE RETORNO PARA ESTACIONES EN
COSTA RICA DE VAHRSON 1988

<i>Ubicación</i>	<i>Eventos máximos (mm) según período de retorno (años)</i>										
	<i>lat.</i>	<i>long.</i>	<i>tot.</i>	<i>x</i>	<i>5</i>	<i>100</i>	<i>50</i>	<i>25</i>	<i>10</i>	<i>05</i>	<i>02</i>
Limón	10.00	83.03	3.531	159	55	355	321	287	241	205	150
Guápiles	10.13	86.46	4.484	152	37	295	270	246	212	186	148
Turrialba	09.53	83.38	2.604	118	51	302	271	239	196	162	110
San José	08.56	84.05	1.889	78	21	148	136	124	107	94	75
Atenas	09.59	84.23	1.863	103	77	376	329	282	218	168	91
Puntarenas	09.58	84.50	1.598	106	38	247	228	198	166	140	101
Nicoya	10.09	85.27	2.253	109	27	207	190	173	150	132	105
San Isidro	09.22	83.42	2.935	112	51	292	261	230	188	155	104
Palmar S.	08.57	83.28	3.705	138	38	273	250	226	195	170	133
Bartolo	09.28	84.06	3.779	183	67	445	400	355	295	247	174

tot. = lluvias anuales
x = promedio de la serie
s = desviación estándar de la serie

Esta tendencia se ve alterada donde las montañas causan lluvias orográficas. La isolnéa de 10 años, por ejemplo, se ve desviada de su rumbo al sur donde llega a la Cordillera Central. Lo mismo se observa en los casos de las isolnéas de 20 años y de 50 años.

Eventos diarios de 300 mm o más con evento máximo anual (mapa 3) ocurren con la mayor frecuencia al sur de Quepos, aquí el período de retorno es menor de 10 años, por lo tanto sucede un evento igual o mayor a los 300 mm diarios con una probabilidad mayor de 10%.

En el Caribe estos eventos ocurren con períodos de retorno menores de 30 años al norte y al sur de Limón, o sea, existe una inversión del comportamiento analizado en el mapa 1.

Otra zona de alta frecuencia de estos eventos aparece en la Cordillera de

Talamanca a una altitud entre 1.000 m y 2.000 m con períodos de retomo menores de 30 años. La extensión de esta zona puede ser mayor todavía, debido a la escasa información pluviométrica de esta zona de Costa Rica, no fue posible mapearla exactamente.

Las zonas más favorecidas corresponden otra vez como en los casos anteriores a una franja al oeste de la Cordillera de Guanacaste, al Valle Central y al Valle de El General, o sea, a lugares protegidos por montañas y por ende una menor incidencia de lluvias orográficas provenientes de los mares como es el caso del Valle Central y del Valle de El General, o con protección en un lado por una cordillera y una alta distancia al mar como sucede al oeste de la Cordillera de Guanacaste. En estas zonas los períodos de retomo sobrepasan los 100.000 años, o sea, las probabilidades son sumamente bajas.

Los períodos de retomo muy largos indican simplemente la baja probabilidad de eventos de esta intensidad, sin embargo, no es posible hacer extrapolaciones para

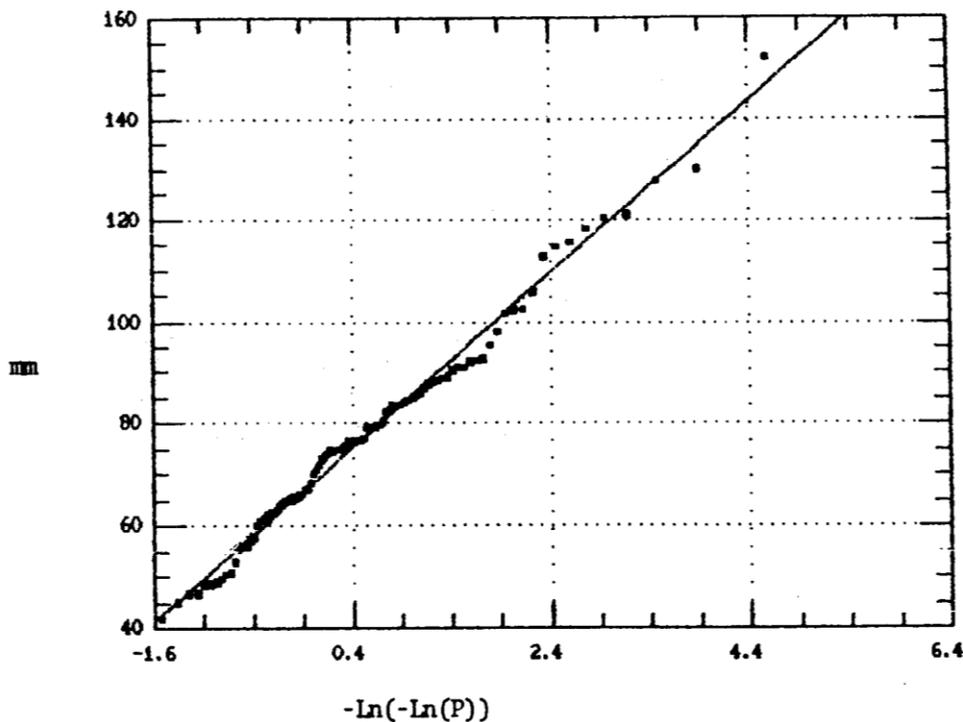


Figura 1
Precipitación acumulada de la tormenta del 2 de julio de 1987
Estación El Humo
De VAHRSON, CARTIN Y PATTERSON 1988

CUADRO N° 3
PERIODOS DE RETORNO DE LLUVIAS MAXIMAS CAIDAS
DE VAHRSON 1988

<i>Estación</i>	<i>Máximo</i>	<i>Registro</i>	<i>Período de retorno</i>
Limón	488 mm	43 a	1.588 a
Guápiles	279 mm	21 a	63 a
Turrialba	288 mm	36 a	74 a
San José	153 mm	97 a	132 a
Atenas	405 mm	42 a	152 a
Puntarenas	199 mm	30 a	26 a
Nicoya	167 mm	20 a	20 a
San Isidro	334 mm	43 a	259 a
Palmar Sur	217 mm	37 a	19 a
Bartolo	657 mm	17 a	2.698 a

CUADRO N° 4
RELACION ENTRE LOS VALORES EXTREMOS CALCULADOS
A PARTIR DE SERIES PARCIALES Y SERIES DE EVENTOS
EXTREMOS PARA LA ESTACION SAN JOSE (DE VAHRSON Y FALLAS
1988) Y PARA ESTADOS UNIDOS (DE LEOPLD Y DUNNE 1978)

<i>Período de ret.</i>	<i>San José</i>	<i>EE.UU.</i>
100 a	1.006	1
50 a	1.010	1
25 a	1.017	1
10 a	1.031	1.01
5 a	1.051	1.04
2 a	1.120	1.13

tiempos tan largos como son 10.000 años o 100.000 años, porque los mismos cambios climáticos (edades de hielo, etc.) tienen ciclos más cortos.

El cuadro 2 muestra los eventos máximos según diferentes períodos de retorno para algunas estaciones en Costa Rica, o sea, está utilizando el sistema contrario: para probabilidades dadas se calcularon los eventos máximos correspondientes.

Las cantidades de las lluvias máximas realmente caídas y los períodos de retorno de algunas estaciones se pueden observar en el cuadro 3. Hace falta mencionar que en los casos de Limón y Bartolo estos valores no se incluyeron en el análisis de las series máximas tratándose de valores extremos.

5. Restricciones

La evaluación de eventos diarios, o sea, de lluvias caídas dentro de un intervalo artificialmente definido de 24 horas (en Costa Rica se hacen las lecturas pluviométricas generalmente a las 7:00 de la mañana) lleva necesariamente a una subestimación de eventos reales de 24 horas: si, por ejemplo, un evento de lluvias comienza a las 19:00 horas y termina a las 19:00 horas del día siguiente, simplemente por el momento de la lectura y por los intervalos predefinidos estaría distribuida la cantidad en dos días.

Luego, las lluvias están concentradas generalmente en las tardes y noches y la cantidad diaria no cae entonces en 24 horas sino en un lapso de tiempo más corto. Un ejemplo para este fenómeno es la figura 1 que muestra el evento máximo diario de 1987 de la estación El Humo, cuando 229 mm cayeron durante 5 horas.

Esta falta se resuelve actualmente en un proyecto apoyado por la FAO, el Instituto Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional de Emergencia, en el cual se analiza la información pluviográfica disponible para eventos máximos con duraciones cortas.

Como otra restricción se debe mencionar que la red de estaciones meteorológicas a veces no posee la densidad necesaria para un estudio más detallado.

En este estudio se analiza la intensidad puntual de las lluvias máximas. Estas intensidades puntuales no representan necesariamente las intensidades de precipitaciones con extensiones grandes, que son las que pueden causar las inundaciones en las llanuras de cuencas grandes.

En cuencas pequeñas donde se puede esperar una distribución de las lluvias relativamente homogénea y bien representada por pocas estaciones se puede utilizar esta información, calculando p.e. el caudal a partir de las intensidades de las lluvias.

Lo mismo vale para el análisis de pérdida de suelos, sea por erosión o por avalanchas.

Utilizando las series de los valores máximos anuales se pierde necesariamente la información sobre el segundo o los siguientes valores, que todavía pueden tener una gran importancia como eventos extremos. VAHRSON y FALLAS (1988) determinaron para la estación San José la relación entre los valores extremos a partir de series parciales y máximas (cuadro 4).

Los resultados muestran, que estos valores son casi iguales para períodos de retorno largos, o sea, para los eventos que pueden causar desastres.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, M. 1981: **ALGUNOS ASPECTOS DE LA PRECIPITACION EN COSTA RICA**. Tesis de grado, Universidad de Costa Rica.
- Batchelder, C.H. y Coen, E. 1955: **TEN YEARS OF RAINFALL AT TURRIALBA AND BATAAN, COSTA RICA**. Abaca research report 35, Turrialba, Costa Rica.
- Dunne, T. y Leopold, L.B. 1978: **WATER IN ENVIRONMENTAL PLANNING**. London, Methuen.
- Govaere, J.L. 1984: **MAPA DE ISOYETAS DE LA TORMENTA DEL 28-29 DE AGOSTO DE 1973, CUENCA DEL RIO GRANDE DE TERRABA**. Revista Geográfica de América Central 1, 21-25.
- Grandoso, H. 1976: **INTENSE PRECIPITATIONS AND FLOODS IN TROPICAL AREAS OF LATIN AMERICA**. Proceedings of an training seminar in Salvador. WMO, Genf.
- Grandoso, H. 1980: **ESTUDIO METEOROLOGICO DE LAS INUNDACIONES DE DICIEMBRE 1970 EN COSTA RICA**. Instituto Meteorológico Nacional, Nota de investigación N° 1. Costa Rica, San José.
- Gumbel, E. J. 1945: **FLOODS ESTIMATED BY THE PROBABILITY METHOD**. Engineering news record 134. Pp. 833-837.
- Herrera, W. 1988: **SIETE VARIANTES DEL BALANCE HIDRICO APLICADOS A COSTA RICA**. Tesis de grado, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia.
- Hershfield, 1961: **RAINFALL FREQUENCY ATLAS OF THE UNITED STATES**. U.S. Weather Bureau, Technical Paper 40.
- Hidalgo, H. 1980: **HEAVY RAINFALL IN COSTA RICA**. Thesis. Birmingham University, Birmingham.
- Interagency Advisory Committee on Water data 1982: **GUIDELINES FOR DETERMINING FLOOD FLOW FREQUENCIES**. Buletin 17b of the Hydrology Subcommitee.
- Ramírez, P. y Castro, V. 1978: **EVALUACION CUANTITATIVA DEL RIESGO DE DESASTRE POR CICLONES TROPICALES EN LA CUENCA DEL RIO GRANDE DE TARCOLES, COSTA RICA, AMERICA CENTRAL**. Mimeografía.
- Richter, M. 1987: **DIE STARKREGEN UND MASSENUMLAGERUNGEN DES JULI UNWETTERS IM TESSIN UND VELTLIN**. Erdkunde 41, 4, 261-274.

- Riehl, H. 1954: **TROPICAL METEOROLOGY**. New York. RODDA, J.C. 1967: A country wide study of intense rainfall in the United Kingdom. *Journal of Hydrology* 5, 58-69.
- Vahrson, W.-G. 1988: **MAXIMALE TAGESNIEDERSCHLÄGE IN COSTA RICA**. En imprenta.
- Vahrson, W.-G., Cartín, N. y Patterson, O. 1987: **LAS INUNDACIONES DEL 2 DE JULIO 1987, EL CASO DE LA CUENCA DEL RIO HUMITO**. En prensa.
- Vahrson, W.-G. y Fallas, J. 1988: **EVALUACION PRELIMINAR DE TRES METODOS PARA ESTIMAR PERIODOS DE RETORNO PARA LLUVIAS MAXIMAS DE 24 HORAS PARA LA ESTACION SAN JOSE, COSTA RICA**. Instituto Meteorológico Nacional, Nota de investigación N° 7. San José, Costa Rica.
- Vahrson, W.-G., Saborío, F. y Hernando, L. 1988: **AVALANCHAS EN LA CORDILLERA CENTRAL, EL CASO DEL RIO CIRUELAS**. En preparación.