

INTENSIDADES CRITICAS DE LLUVIA PARA EL DISEÑO DE OBRAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN COSTA RICA ¹

Wilhelm-Günther Vahrson *
Pieter Dercksen **

ABSTRACT

Critical rainfall intensities for the design of soil conservation structures. The control and management of surface run-off is one of the most important topics in soil conservation. To this end, specific information of possible rain intensities, according to their return periods, are required. This information is essential to design efficient and economic conservation works. This article analyzes the maximum amounts of rains lasting from 5 minutes to 1 hour, for 10 year return periods. These periods correspond to the concentration times, or critical times of small conservation works. One hundred fifteen pluviografic stations were analyzed, applying Gumbel's method for extreme events. The results are show on a map of possible intensities of rains lasting 15 minutes, as well as in several formulae and one nomogram to derive the possible intensities for maximum rains lasting from 5 to 60 minutes.

INTRODUCCION

El conocimiento y el análisis de los eventos hidrocimatológicos extremos resulta indispensable para los diferentes aspectos de la conservación de suelos, como son el análisis de la erosión, la erosividad de las lluvias, el control y el manejo de la escorrentía superficial, y la planificación de obras de infraestructura en general.

Por su localización dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), las 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, sin embargo, valores máximos mayores de 400 mm/24

horas poseen una alta frecuencia; también existen lluvias de alta intensidad con duraciones más cortas. Por ejemplo, el autor tiene conocimiento de eventos con una intensidad de 120 mm en una hora y 229 mm en 5 horas; también, se ha mencionado un evento con 75 mm en 15 minutos.

Para el diseño de las obras de conservación de suelos se utilizan normalmente las intensidades máximas de la precipitación con un período de retorno de 10 años (Foster, 1988; FAO/SENACSA, 1989), correspondiendo a la vida útil prevista para estas obras. En Costa Rica muchas veces se trabaja con una intensidad de 100 mm/hora para lluvias de duración de 1 hora para todo el país, a pesar de que se puede demostrar la gran variabilidad espacial de las intensidades posibles. Al mismo tiempo no se toma en cuenta que los tiempos de concentración para estas obras pequeñas son menores de 1 hora y, por lo tanto, las intensidades correspondientes se aumentan. Esto puede llevar a la construcción de obras con capacidades inadecuadas, o que requieren de una inversión de

1/ Recibido para publicación el 6 de junio de 1990.

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

** Cooperación Técnica Internacional Holandesa. San José, Costa Rica.

mano de obra y de espacio exagerada y estructuras innecesarias o, si se subestima la necesidad, se construirán obras con capacidades insuficientes y como consecuencia, con alto riesgo de erosión y de pérdida de las obras, durante lluvias intensas (Sheng, 1981). Por lo tanto, se deben tomar en cuenta las intensidades máximas reales de las lluvias, según las diferentes regiones y para los diferentes tiempos de concentración.

En este trabajo se analizarán los eventos máximos de las lluvias intensas con un período de retorno de 10 años, para duraciones entre 5 minutos y 1 hora, y su distribución espacial a partir de los registros de 115 estaciones pluviográficas ubicadas en todo el país.

Los resultados de este trabajo permitirán una adaptación del diseño de sistemas de drenaje a las diferentes situaciones climatológicas y a los diferentes tiempos de concentración correspondientes a las áreas de captación de las obras de conservación.

MATERIALES Y METODOS

En Costa Rica existen, momentáneamente, alrededor de 115 estaciones pluviográficas (Cuadro 1), con registros suficientemente largos. La mayor densidad de estaciones se encuentra en las cuencas superiores de los ríos Reventazón, Grande de Térraba y Térraba y alrededor de la Laguna de Arenal.

De estas estaciones se evaluaron, para un mínimo de 10 años, los eventos máximos anuales para diferentes duraciones, analizando manualmente sus bandas pluviográficas. Vahrson y Fallas (1988) mostraron para los máximos diarios de la estación San José que la evaluación de registros de 10 años permite resultados confiables.

De los valores así determinados, se analizaron las series máximas anuales, eliminando eventuales valores fuera de las series (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982).

Los eventos máximos según períodos de retorno se evaluaron a partir de la distribución de Gumbel (1945), la cual, para el análisis de series extremas, tiene la forma siguiente:

$$(1) \quad X = \bar{x} + \frac{(y - \mu) * Sx}{sn}$$

donde:

X = evento máximo según cierto nivel de probabilidad

$\bar{x}$ = promedio de la serie de los eventos máximos anuales

Sx = desviación estándar de la serie de eventos máximos anuales

μ n = parámetro que depende de la duración del registro

sn = parámetro que depende de la duración del registro

y = variable deducida de Gumbel, dependiendo del nivel de probabilidad de excedencia deseado.

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 la cual generalmente se propone para el análisis de valores hidroclimáticos extremos (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982).

Para las diferentes estaciones, se calcularon los eventos máximos para un período de retorno de 10 años y duraciones de 5, 10, 15, 30 y 60 min.

La información base (de las intensidades de duración de 15 min) se mapeó en escala 1:1000000. La interpolación se hizo tomando en cuenta límites climáticos naturales como montañas, poniendo énfasis especial en la curva de nivel de 2000 msnm.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las estaciones analizadas y los valores de las intensidades máximas de lluvias con un período de retorno de 10 años y duraciones de 5, 10, 15, 30 y 60 min se presentan en el Cuadro 1. Entre los valores de 15 min y los máximos de 5, 10, 30 y 60 min se determinó por medio de una regresión no lineal, un factor de conversión (F) que sirve para estimar las intensidades máximas de estas duraciones a partir de las intensidades de 15 min. Los valores del factor F y los coeficientes de correlación respectivos se presentan en el Cuadro 2. La relación entre los eventos de 15 min de duración y los eventos de 5, 10, 30 y 60 min de duración se muestra en la Figura 1.

Con el Cuadro 2 se puede entonces determinar las intensidades máximas de las duraciones

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas de Costa Rica analizadas, con su número de referencia en el mapa (Num), su número oficial (Número), su latitud, longitud y elevación y las intensidades de lluvia para 5, 10, 15, 30 y 60 minutos.

Num	Número	Estación	Lat N	Lon O	Elev (msnm)	I-5	I-10	I-15	I-30	I-60
						(mm)				
1	69505.	Vara Blanca	10°10'	84°09'	1804	250,8	171,6	137,6	87,4	57,7
2	69524.	Caño Negro	10°24'	84°46'	720	171,6	171,6	148,4	118,0	102,8
3	69828.	Zarcero-Palmira	10°13'	84°23'	2010	146,4	109,2	94,8	77,2	48,4
4	69535.	San Carlos-CRM	10°21'	84°24'	600	274,8	178,2	153,2	108,4	77,7
5	69539.	Cariblanco	10°16'	84°11'	830	252,0	188,4	162,0	111,8	77,9
6	69543.	Río Cote	10°35'	84°54'	695	301,2	209,4	190,4	149,2	166,7
7	69551.	Guatuso	10°41'	84°49'	50	258,0	177,0	152,8	140,0	87,6
8	69576.	Bijagua	10°44'	85°03'	410	240,0	159,0	144,8	128,0	75,3
9	69577.	Boca Tapada	10°41'	84°13'	60	229,2	162,0	145,6	110,4	61,4
10	69585.	Nueva Tronadora	10°30'	84°55'	580	268,8	201,0	155,2	133,0	80,7
11	71002.	La Mola	10°21'	83°46'	70	208,8	169,8	159,2	119,4	77,3
12	72101.	Nicoya	10°09'	85°27'	120	248,4	174,6	182,4	123,2	65,6
13	72106.	Santa Rosa	10°50'	85°37'	315	217,2	162,0	136,4	92,6	71,3
14	72114.	Playa Panamá	10°35'	85°40'	3	260,4	191,4	162,0	102,8	78,3
15	73003.	Com. Cartago	9°52'	83°55'	1440	228,0	176,4	163,6	120,0	74,1
16	73010.	Turrialba	9°53'	83°38'	602	144,0	118,8	106,8	84,8	60,0
17	73011.	S. Durán	9°56'	83°53'	2337	158,4	103,8	88,0	67,0	49,7
18	73013.	Los Diamantes	10°13'	83°46'	249	265,2	175,8	160,0	124,2	92,1
19	73022.	Pacayas	9°55'	83°49'	1735	140,4	108,0	96,4	72,6	50,0
20	73026.	Tapantí	9°46'	83°50'	1203	129,6	97,2	82,8	65,4	52,0
21	73027.	Cañón	9°41'	83°54'	2460	135,6	100,8	94,0	73,8	41,8
22	73028.	El Humo	9°48'	83°43'	680	170,4	133,8	114,8	95,0	72,6
23	73029.	El Llano	9°46'	83°52'	1572	152,4	109,2	94,0	74,0	53,5
24	73030.	Cordoncillal	9°45'	83°47'	1240	235,2	201,0	177,6	149,2	116,7
25	73033.	Villa Mills	9°34'	83°43'	3000	87,6	68,4	54,4	58,8	31,9
26	73034.	Belén	9°44'	83°53'	2020	280,8	205,8	166,8	109,4	64,7
27	73036.	T-Seis	9°43'	83°46'	2000	170,4	135,6	118,0	107,8	83,3
28	73037.	Destierro	9°42'	83°45'	2020	142,8	132,0	122,8	102,8	86,1
29	73038.	Ojo de Agua	9°37'	83°49'	2960	141,6	112,8	89,6	62,6	43,9
30	73039.	Tres de Junio	9°40'	83°51'	2630	124,8	84,0	70,8	51,0	34,5
31	73040.	Berma	9°40'	83°49'	2480	214,8	150,6	120,4	76,0	49,5
32	73041.	La Cangreja	9°48'	83°58'	1830	141,6	132,0	112,0	84,4	51,1
33	73042.	Muñeco	9°48'	83°55'	1410	180,0	136,8	108,8	69,0	41,6
34	73043.	C. Muerte Falda	9°36'	83°43'	2690	142,8	115,8	91,2	59,4	34,2
35	73044.	La Suiza	9°51'	83°37'	620	151,2	124,2	118,0	110,0	75,2
36	73045.	Taus	9°46'	83°43'	900	183,6	136,2	130,8	106,8	88,2
37	73046.	Cachí (Plantel)	9°49'	83°48'	1018	178,8	146,4	119,6	84,0	64,3
38	73047.	Tucurrique	9°51'	83°45'	770	139,2	134,4	120,4	89,6	63,9
39	73051.	Dos Amigos	9°42'	83°47'	1470	250,8	165,0	148,0	102,0	90,3
40	73053.	Valverde	9°44'	83°47'	1580	322,8	214,2	195,2	144,2	97,9
41	73055.	La Amistad	9°59'	83°34'	560	244,8	169,2	156,0	136,0	86,4
42	73057.	Tábano	9°44'	83°42'	1360	174,0	138,0	131,6	113,2	87,5
43	73059.	Laguna	9°58'	83°52'	3140	109,2	75,0	69,6	53,8	40,5
44	73063.	El Gato	9°42'	83°42'	1600	-	235,2	188,0	134,2	94,0
45	73074.	San Antonio	9°58'	83°43'	1190	183,6	139,2	125,2	111,0	80,3
46	73075.	Cerro Gemelos	9°42'	83°48'	1840	240,0	175,2	143,6	101,8	69,6
47	73078.	Coliblanco	9°57'	83°48'	2200	157,2	138,6	131,2	94,2	53,2
48	73079.	Oriente	9°47'	83°43'	623	205,2	159,6	133,6	121,2	104,3
49	73080.	C. Muerte Rep.	9°34'	83°46'	3365	187,2	120,0	95,2	58,8	38,4
50	73081.	Volcán Irazú	9°59'	83°51'	3400	122,4	92,4	80,8	54,2	38,6
51	73082.	Cobal	10°15'	83°40'	55	218,4	165,6	143,6	118,6	85,7
52	73089.	Tapantí Presa	9°42'	83°46'	1921	248,4	169,8	137,6	118,6	92,5
53	73091.	Hda. El Carmen	10°12'	83°29'	15	210,0	144,6	134,8	106,2	83,2
54	73096.	Palomo/Sauce	10°00'	83°39'	740	177,6	145,8	121,6	88,0	55,7
55	74003.	Santa Cruz	10°16'	85°35'	54	255,6	194,4	163,6	128,4	83,4
56	74006.	La Guinea	10°25'	85°28'	40	264,0	190,2	168,4	127,4	92,1

Cuadro 1 - Cont.

Num	Número	Estación	Lat N	Lon O	Elev (msnm)	I-5	I-10	I-15	I-30	I-60
						(mm)				
57	74019.	Guachipelín	10°45'	85°23'	520	186,0	146,4	137,6	121,6	92,7
58	74020.	Liberia (Ll. G.)	10°36'	85°32'	85	402,0	271,8	223,2	166,2	103,0
59	75002.	Siquirres	10°06'	83°31'	70	225,6	164,4	143,6	117,4	84,0
60	75003.	Platanillo	9°49'	83°34'	889	229,2	145,2	122,8	88,2	61,2
61	75004.	Pacuare	9°49'	83°31'	800	130,8	94,8	80,8	61,0	42,6
62	75005.	Pacuar	9°55'	83°34'	710	207,6	124,2	117,6	91,6	74,6
63	75007.	Rocas Blancas	9°45'	83°30'	825	235,2	159,0	141,6	108,0	73,9
64	75008.	Cuencas	9°44'	83°36'	1835	196,8	141,6	121,6	100,2	66,2
65	75022.	F. Mirador	10°02'	83°28'	440	243,6	192,6	178,8	121,0	86,8
66	76002.	Tilarán	10°28'	84°58'	562	270,0	228,0	243,2	158,0	96,2
67	76008.	Taboga	10°21'	85°09'	40	235,2	167,4	136,4	103,6	75,9
68	76026.	Bagaces	10°32'	85°15'	80	217,2	185,4	147,2	117,2	95,4
69	76034.	Fortuna-Bag.	10°41'	85°12'	430	204,0	153,0	128,8	113,6	91,2
70	77001.	Bataán	10°05'	83°20'	15	224,4	161,4	118,4	107,4	82,2
71	77002.	La Lola	10°06'	83°23'	40	217,2	155,4	141,6	110,8	83,1
72	78002.	Monteverde	10°18'	84°48'	1460	237,6	161,4	136,4	89,4	65,6
73	78003.	Puntarenas	9°58'	84°50'	3	241,2	177,0	189,6	138,6	99,0
74	79005.	Moravia D. Chirr.	9°50'	83°27'	1200	192,0	153,0	128,0	101,0	70,3
75	79007.	Boston	10°00'	83°15'	16	182,4	133,2	116,4	107,8	81,1
76	80005.	Nagatac	10°04'	84°33'	450	186,0	162,6	139,6	130,6	97,5
77	80007.	Macacona	10°00'	84°38'	240	357,6	204,0	177,2	138,4	90,3
78	81003.	Limón	10°00'	83°03'	5	241,2	162,6	130,4	108,0	79,2
79	83003.	Asunción	9°54'	83°10'	130	301,2	184,2	159,2	111,8	93,8
80	84001.	San José	9°56'	84°05'	1172	280,8	192,0	173,2	115,0	87,6
81	84021.	J. Santamaría	10°00'	84°12'	932	266,4	177,0	156,0	105,8	76,6
82	84023.	La Central (FB)	10°01'	84°16'	840	222,0	174,6	150,0	113,6	75,8
83	84030.	Laguna Fraij.	10°05'	84°11'	1500	207,6	161,4	148,8	115,4	79,8
84	84034.	La Garita (Emb.)	9°57'	84°21'	460	274,8	212,4	172,4	125,8	76,7
85	84040.	Alto Ochomogo	9°54'	83°57'	1546	247,2	149,4	123,6	86,0	56,4
86	84046.	S. Josecito Her.	10°02'	84°00'	1450	212,4	166,8	132,8	108,4	68,2
87	84063.	Volcán Poás	10°11'	84°14'	2564	268,8	183,6	145,6	102,6	57,8
88	84074.	Pavas	9°58'	84°08'	997	226,8	173,4	136,8	108,6	78,2
89	84075.	Coopencaranjo	10°07'	84°23'	1100	219,6	177,0	154,0	122,8	74,0
90	84097.	Bajo Laguna	9°51'	84°31'	40	186,0	160,8	144,8	98,0	89,6
91	87006.	Sixola	9°30'	82°37'	11	200,4	148,8	133,6	93,8	68,1
92	87010.	Amubri	9°31'	82°57'	70	232,8	196,2	162,4	135,0	105,9
93	88001.	Puriscal	9°51'	84°19'	1102	288,0	187,8	140,0	105,0	80,3
94	88015.	Playón	9°38'	84°17'	65	219,6	150,0	138,4	115,2	93,7
95	88023.	Copey de Dota	9°39'	83°55'	1880	158,4	119,4	102,8	68,8	72,0
96	94005.	Providencia	9°31'	83°52'	1490	182,4	144,6	118,0	85,6	52,6
97	98002.	Palmar Sur	8°57'	83°28'	16	264,0	193,8	162,4	137,6	101,5
98	95006.	Volcán de B. A.	9°13'	83°27'	418	246,0	187,8	156,8	117,0	74,5
99	98007.	San Vito	8°50'	82°59'	890	122,4	121,2	112,4	92,4	69,5
100	98010.	Cedral	9°22'	83°33'	1450	266,4	235,8	208,0	137,6	92,3
101	98011.	Bolivia	9°11'	83°38'	950	146,4	129,0	112,8	97,8	71,4
102	98012.	Potrero Grande	9°01'	83°11'	183	214,8	137,4	122,0	108,2	78,4
103	98013	Río Negro	8°53'	82°52'	955	242,4	175,8	156,8	118,6	80,4
104	98014.	Helechales	9°04'	83°04'	1050	205,2	182,4	169,6	131,8	90,6
105	98018.	Ujarrás	9°14'	83°18'	525	378,0	166,8	128,0	113,6	85,0
106	98022.	La Piñera	9°08'	83°20'	350	262,8	193,8	158,8	127,6	97,6
107	98031.	Buena Vista	9°30'	83°40'	1310	196,8	137,4	117,2	88,8	62,1
108	98032.	Alto San Juan	9°20'	83°44'	1040	248,4	156,6	136,0	83,2	63,0
109	98033.	San Jerónimo	9°21'	83°30'	1140	310,8	181,8	149,6	121,6	76,3
110	98034.	Guácimo/Tablas	8°56'	83°07'	360	220,8	168,6	150,0	119,0	85,4
111	98035.	Limoncito	8°51'	83°00'	820	313,2	198,6	166,0	116,6	81,6
112	98036.	Maíz de Boruca	9°01'	83°25'	520	213,6	141,6	123,2	98,4	78,3
113	98037.	Cajón de Boruca	8°57'	83°20'	80	232,8	159,6	132,8	110,2	81,2
114	98043.	Las Mellizas	8°52'	82°47'	1420	285,6	172,2	145,6	121,8	81,2
115	98066.	Fila Savegre	9°26'	83°49'	1280	232,8	167,4	144,4	113,0	84,5

Relación: Intensidades de 15 min versus Intensidades de 5, 10, 30 y 60 min

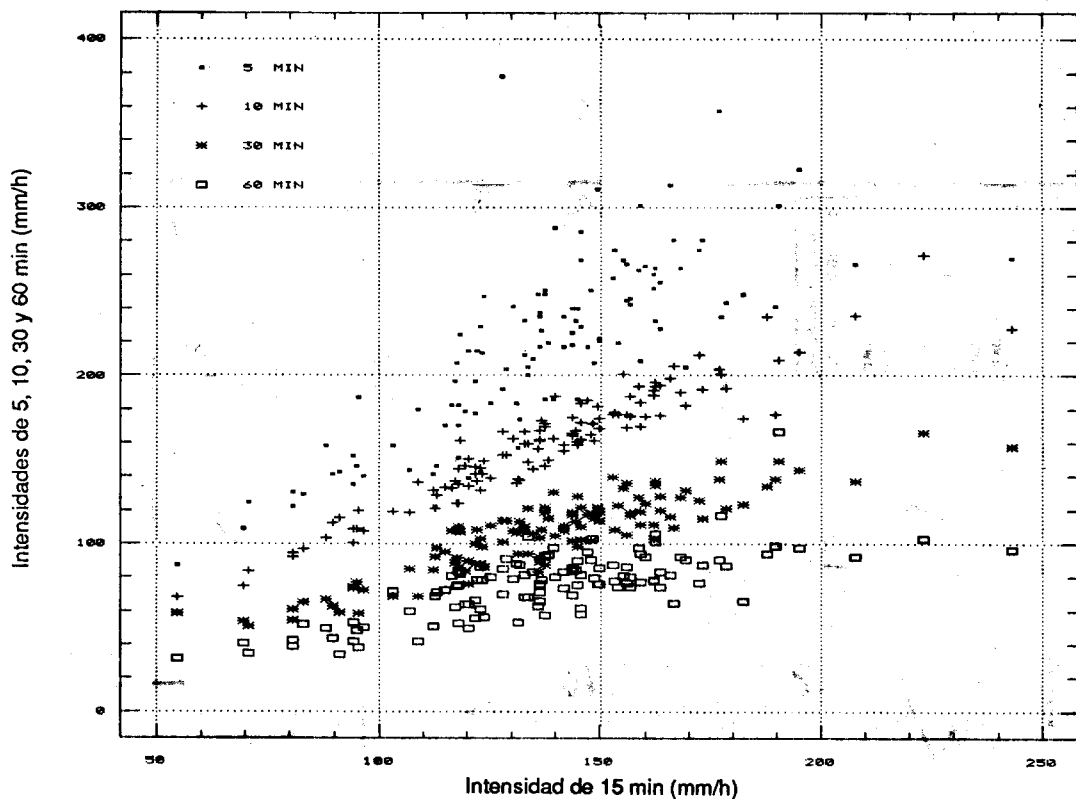


Fig. 1. Relación entre las intensidades de lluvia de 15 min y las de 5, 10, 30 y 60 minutos para 115 estaciones meteorológicas de Costa Rica.

Cuadro 2. Factores de conversión determinados para las diferentes duraciones.

Duración	5 min	10 min	15 min	30 min	60min
Factor	1,58	1,15	1	0,79	0,54
r	0,78	0,94	1	0,89	0,72

$$(2) \quad I_{TC} = \left(0,5 + \frac{8,22}{2,6 + T_c} \right) * I_{15}$$

donde:

I_{TC} = Intensidad buscada (mm/hora) para el tiempo de concentración T_c

T_c = Tiempo de concentración (min)

I_{15} = Intensidad del evento de 15 min de duración (mm/hora)

indicadas, a partir de la información de las intensidades máximas de duración de 15 min.

Para tiempos de concentración que no corresponden a las duraciones evaluadas se determinó, de nuevo, por medio de una correlación no lineal, una función (2) que determina la intensidad máxima a partir de la duración del tiempo crítico y de la intensidad durante 15 min. Aquí se obtuvo un coeficiente de correlación muy alto ($r = 0,99$).

Para los valores de las zonas definidas en el mapa (Figura 2) se puede utilizar también la Figura 3 que expone, en forma de un nomograma, las intensidades calculadas mediante la fórmula (2) para tiempos de concentración entre 5 y 60 min y para las intensidades máximas mapeadas para duraciones de 15 min.

Primero se busca el tiempo de concentración correspondiente en el eje "x", después se sube hasta la curva que corresponde a la zona de

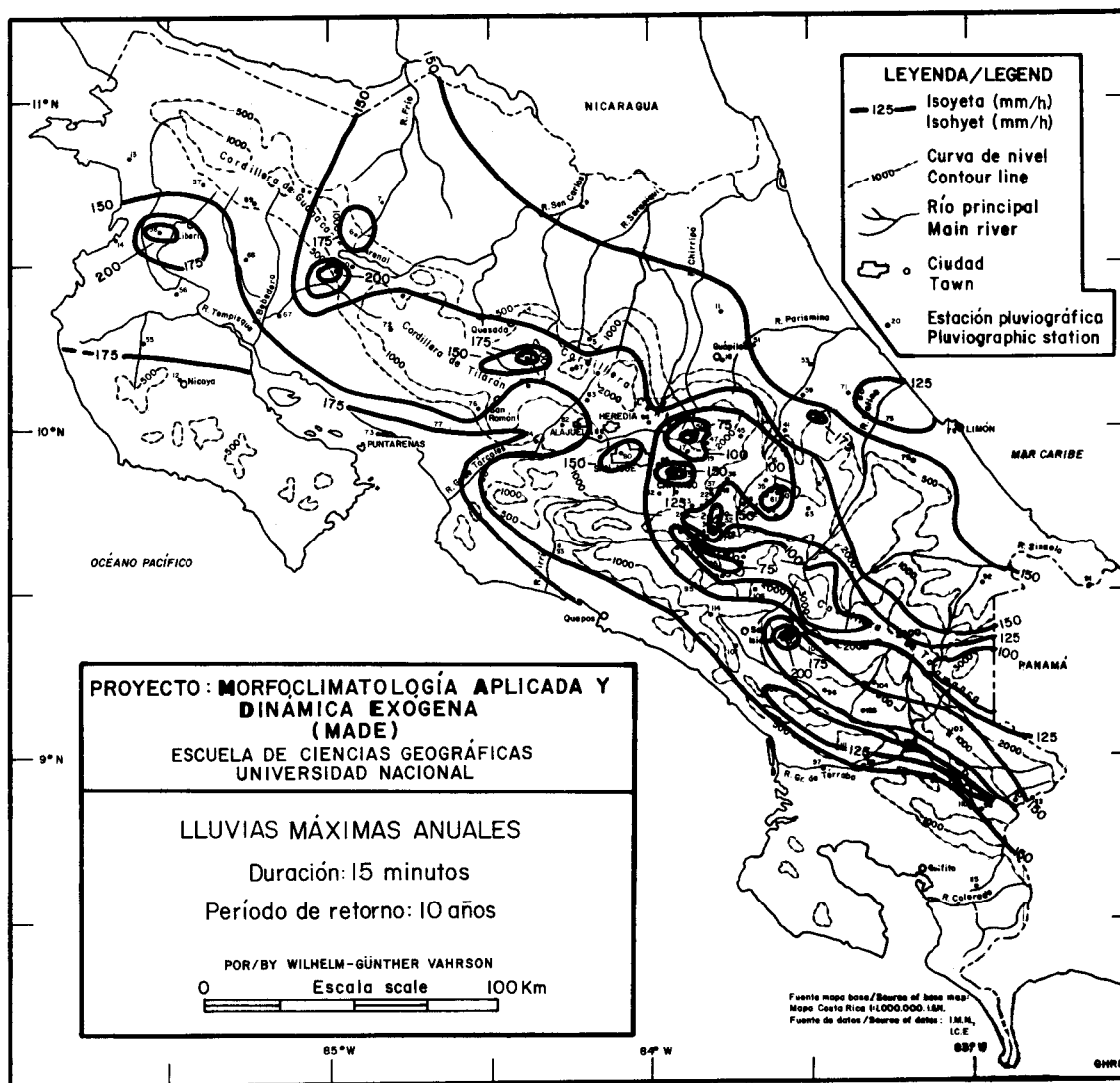


Fig. 2. Mapa de distribución geográfica de las lluvias máximas anuales, de 15 min de duración.

**NOMOGRAMA PARA EL CALCULO
DE INTENSIDADES MAXIMAS PARA
TIEMPOS DE CONCENTRACION DE 5 A 60 MIN**

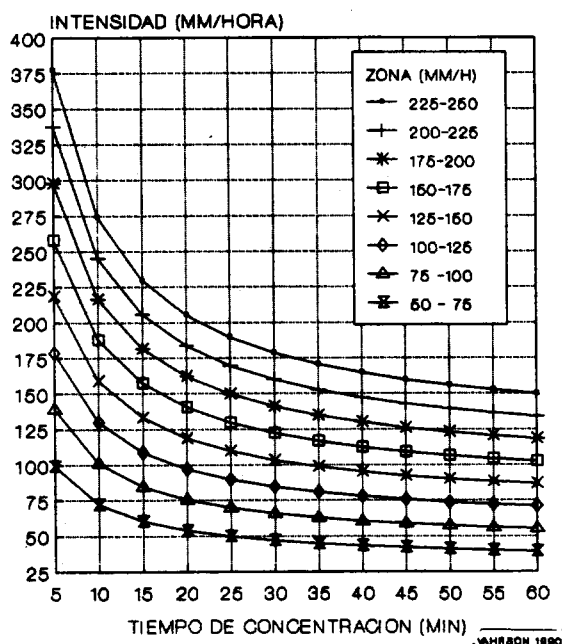


Fig. 3. Nomograma para el cálculo de intensidades máximas para tiempos de concentración de 5 a 60 min.

interés y se determina en el eje "y" la intensidad correspondiente.

El mapa 1 muestra las intensidades máximas del evento de 15 min para todo el país.

Las intensidades máximas determinadas para el evento de 15 min de duración oscilan entre 54,4 mm/hora como mínimo para la estación 25, Villa Mills, y 243 mm/hora para la estación 66, Tilarán, como valor máximo. Después siguen las estaciones Liberia y Cedral con más de 200 mm/hora durante 15 min, mientras por el otro lado se destacan las estaciones Tres de Junio con 70,8 mm/hora, Pacuare y Volcán Irazú con 80,8 mm/hora, con valores todavía muy bajos.

La relación entre altitud e intensidad puede apreciarse en la Figura 4. No existe una relación muy bien definida, sin embargo, todas las estaciones con elevaciones mayores a los 2600 msnm presentan valores relativamente bajos o sea menores de 100 mm/hora y, con una sola excepción, todas las estaciones con elevaciones superiores a los 1600 msnm, presentan valores menores de los 150 mm/hora.

Sólo una pequeña parte del territorio posee intensidades menores o iguales a 100 mm/hora, mientras que grandes zonas se ven afectadas por intensidades entre 125 mm/hora y 175 mm/hora para tiempos de concentración de 15 min. Como áreas con intensidades mayores se destacan el sur de Nicoya, el contorno de Puntarenas y áreas más pequeñas cerca de Liberia, Tilarán, San Isidro del General y otras.

Esto indica que para el diseño de la mayoría de las obras de conservación se subestimaron las intensidades reales de la precipitación.

Como restricción más importante de este trabajo se debe mencionar que la distribución espacial de las estaciones analizadas y mapeadas es bastante heterogénea y por lo tanto grandes zonas de Costa Rica no cuentan con información confiable. Para estas zonas, en primer lugar la Península de Osa, el sur de Guanacaste, las Llanuras de San Carlos, las Llanuras de Tortuguero y la Cordillera de Talamanca se estimó las intensidades a partir de interpolaciones y extrapolaciones, utilizando también la relación entre elevaciones e intensidades, expresada en la Figura 4.

La fórmula (2) y la Figura 3 son generalizaciones de la realidad y pueden causar sobreestimaciones en unas ocasiones y subestimaciones en otras.

En conclusión, las intensidades de las lluvias máximas determinadas en este estudio sobrepasan en alto grado la intensidad de 100 mm/hora, utilizada hasta el momento para el diseño de obras de conservación. Estas intensidades reales dependen de la región y del tiempo de concentración de la obra. Por lo tanto, se considera que los resultados de este estudio permiten un diseño más adecuado de las diferentes obras de conservación, tomando en cuenta los valores reales de las intensidades de las lluvias.

RESUMEN

El control y el manejo de la escorrentía superficial es una de las tareas más importantes en el área de la conservación de suelos. Para este fin se requiere de información específica de las intensidades posibles de las lluvias según sus períodos de retorno. Esta información es indispensable para diseñar obras de conservación eficientes y económicas.

El presente artículo analiza las cantidades máximas de lluvias con duraciones de 5 minutos a 1 hora, para períodos de retorno de 10 años. Estas

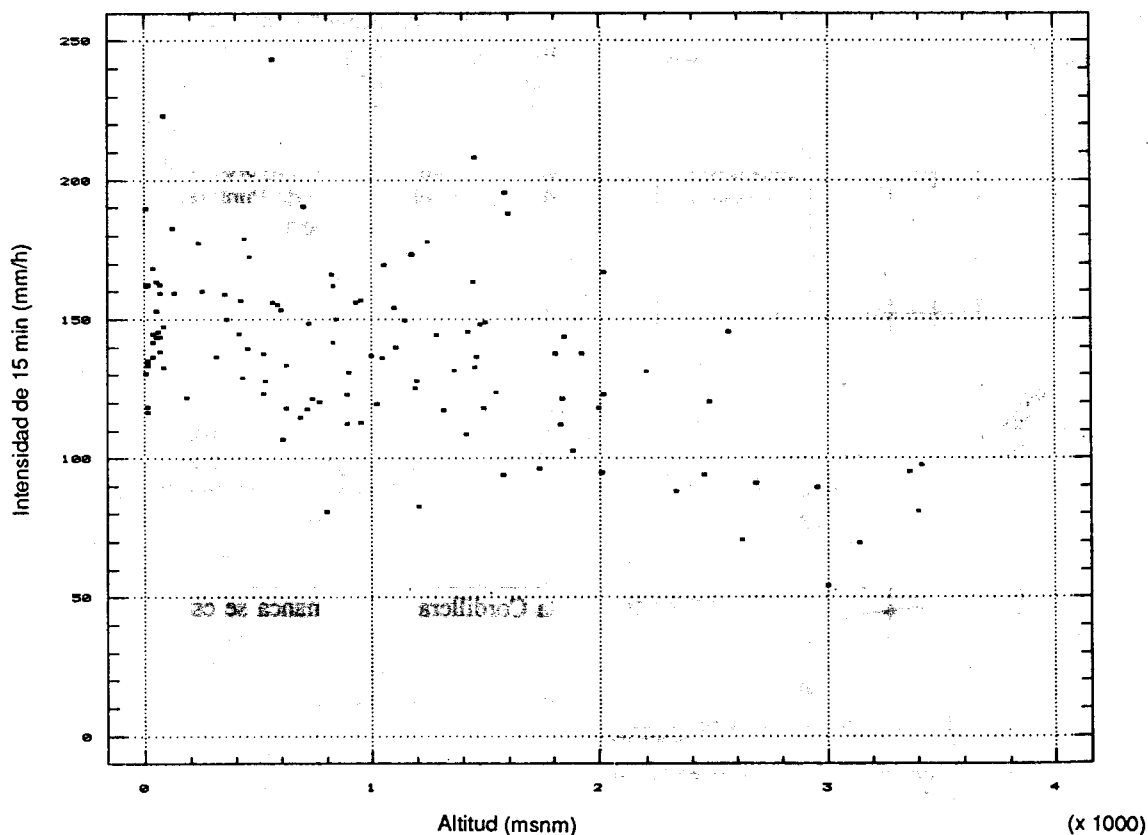


Fig. 4. Relación entre la altitud y las intensidades de lluvia de 15 minutos para 115 estaciones meteorológicas de Costa Rica.

duraciones corresponden a los tiempos de concentración o tiempos críticos de pequeñas obras de conservación. Se analizó 115 estaciones pluviográficas, aplicando el método de Gumbel para eventos extremos.

Los resultados se exponen en un mapa de las intensidades posibles para lluvias con duración de 15 minutos así como varias fórmulas y un nomograma para derivar las intensidades posibles para lluvias máximas con duraciones entre 5 y 60 minutos.

AGRADECIMIENTO

A I. Arauz, R. Chacón, M. Romero y S. Sánchez por la lectura de las bandas pluviográficas, G. Hernando por la cartografía, al Instituto Meteorológico Nacional y al Instituto Costarricense de Electricidad por las bandas pluviográficas, a la

FAO y el Servicio Nacional de Conservación de Suelos y Aguas por el financiamiento parcial.

LITERATURA CITADA

- DUNNE, T.; LEOPOLD, L.B. 1978. Water in environmental planning. New York, Freeman and Co. 818 p.
- FOSTER, A.B. 1988. Métodos aprobados en conservación de suelos. México, D.F., Trillas. 411 p.
- GUMBEL, E.J. 1945. Floods estimated by the probability method. Engineering News Record 134. p. 833-837.
- HERSHFIELD, D. M. 1961. Rainfall frequency atlas of the United States. U.S. Weather Bureau, Technical Paper no. 40.
- INTERAGENCY ADVISORY COMMITTEE ON WATER DATA. 1982. Guidelines for determining flood flow frequencies. Hydrology Subcommittee, Bulletin no. 17b.

- LAL, R.; RUSSEL, E.W. 1981. Tropical agricultural hydrology. Watershed management and land use. New York, Wiley & Sons. 482 p.
- FAO/SENACSA. 1989. Manual de conservación de suelos. San José, Costa Rica. 361 p. (mimeografiado)
- MORA, S. 1988. Los deslizamientos del 2 de julio 1987 en el cerro Duán (Cachí, El Humo y Pejibaye); sus causas y consecuencias. *In* Seminario de Geotécnia 4.
- RICHTER, M. 1987. Die Starkregen und Massenumlagerungen des Juli-Unwetters im Tessin und Veltlin. *Erdkunde* 41(4):261-274.
- RODDA, J.C. 1967. A country wide study of intense rainfall in the United Kingdom. *Journal of Hydrology* 5:58-69.
- SHENG, T.C. 1981. The need for soil conservation structures for steep cultivated slopes in the humid tropics. *In* Tropical agricultural hydrology. Ed. by R. Lal and E.W. Russel. New York, Wiley and Sons. p. 358-372.
- VAHRSON, W.G.; FALLAS, J. 1988. Evaluación preliminar de tres métodos para estimar períodos de retorno para lluvias máximas de 24 horas para la estación San José, Costa Rica. San José, Costa Rica, Instituto Meteorológico Nacional. (Nota de investigación no. 7)