



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Coras-Merino, P. M.; Arteaga-Ramírez, R.; Vázquez-Peña, M.
Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local, Tabasco, México
Terra Latinoamericana, vol. 23, núm. 1, enero-marzo, 2005, pp. 113-120
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311093001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE LLUVIAS MÁXIMAS CON FINES DE DRENAJE SUPERFICIAL LOCAL, TABASCO, MÉXICO

Analysis of Frequencies of Maximum Rainfalls for Local Surface Drainage, Tabasco, Mexico

P.M. Coras–Merino^{1‡}, R. Arteaga-Ramírez¹ y M. Vázquez-Peña¹

RESUMEN

En los problemas de drenaje de las zonas húmedas, la lluvia constituye el factor climático principal que, unido a las condiciones de suelo y topografía, provocan el encharcamiento de los terrenos agrícolas y, en muchos casos, la pérdida de las cosechas. El análisis de la lluvia es de vital importancia para el diseño de los sistemas de drenaje. Por tal motivo, el trabajo tiene como objetivo, evaluar dos métodos de cálculo de las lluvias máximas y obtener las lluvias de diseño considerando el tiempo de tolerancia de inundación de los cultivos de chile, frijol, sorgo y pasto. El estudio se realizó en el área de Huimanguillo, Tabasco, y las lluvias diarias se obtuvieron de la estación meteorológica con Clave 27018 con un registro de 13 años. Definidas las lluvias máximas consecutivas de uno hasta cinco días, se calcularon los períodos de retorno y, con la función de distribución de probabilidad de Gumbel, Tipo I, en su forma gráfica, se elaboraron las curvas lámina-duración-frecuencia y, estableciendo los tiempos de drenaje de los cultivos, se determinaron las lluvias de diseño. Se encontró que las lluvias máximas de uno hasta cinco días varían de un método a otro, obteniéndose diferencias porcentuales en 42% para los valores medios, y 31% y 27.6% para los valores máximos. La comparación de ambos métodos dio como resultado que para el caso de cinco años de período de retorno la ecuación fue $y = 1.19x$ con $r = 0.9973$ y $S = 8.23$ mm y para 10 años de período de retorno la ecuación fue $y = 1.06x$ con $r = 0.9969$ y $S = 10.44$ mm, lo que indica que es posible utilizar ambos métodos. Las lluvias de diseño obtenidas para el período de retorno de 10 años fueron chile: 73.7 mm, fríjol: 187.8 mm, sorgo: 236.4 mm y pasto: 302.9 mm.

Palabras clave: precipitación, lluvias de diseño, drenaje.

SUMMARY

In problems of drainage in wet regions, rain constitutes the principal climatic factor, which together with conditions of soil and topography, seriously affect agriculture. Analysis of rainfall is fundamental for the design of drainage systems. For this reason, this study was conducted to evaluate two methods of calculating maximum rainfalls and of obtaining design rainfall for four crops. The study was conducted in the area of Huimanguillo, Tabasco, Mexico. Daily rainfall was recorded at the meteorological station 27018, which has data recorded over 13 years. Maximum consecutive rainfalls were defined from one to five days, obtaining the periods and depth-duration-frequency curves from the distribution function of the Gumbel probability, Type 1, in its graphic form. Also, design rainfalls were determined. It was found that the maximum rainfalls of one to five days vary with the different methods, obtaining percent differences of 42% for mean precipitation values, and 31 and 27.6% for maximum precipitation values. The comparison of the two methods revealed that for the case of a return period of five years, the equation is $y = 1.19x$, with $r = 0.9973$ and $S = 8.23$ mm, while for a period of 10 years, the equation is $y = 1.06x$, with $r = 0.9969$ and $S = 10.44$ mm, indicating that it is possible to use both methods. The design rainfalls obtained by the ILRI method for the 10-year return period were chili pepper: 73.7 mm, beans: 187.8 mm, sorghum: 236.4 mm, and grass: 302.9 mm.

Index words: precipitation, design rain, drainage.

INTRODUCCIÓN

Gran parte de la lluvia que cae durante una tormenta es interceptada y retenida por la cubierta vegetal y las depresiones del terreno como

¹ Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.1 Carretera México-Texcoco, 56230 Chapingo, estado de México.

[‡] Autor responsable (mpcoras@correo.chapingo.mx)

almacenamientos superficiales. A medida que continúa el proceso, la superficie del suelo se cubre de una capa delgada, conocida como detención superficial, y el flujo comienza a moverse por gravedad y puede ser descrito por la ecuación de continuidad derivada del principio de conservación de la masa, y la ecuación dinámica (Yap, 1974).

Las características físicas de las lluvias: la cantidad, intensidad, duración, distribución y la velocidad terminal, están interrelacionadas entre sí. Sin embargo, la intensidad es la característica física de la lluvia más discutida y relevante (Hudson, 1981).

Villón (2001) definió la intensidad como la relación entre la cantidad de agua precipitada (P) y el tiempo (t) en que ésta cayó. Se expresa en lámina de agua precipitada por unidad de tiempo (mm h^{-1}). Esta característica de la lluvia y los factores pendiente del terreno, cobertura vegetal se utilizan para los cálculos de las dimensiones de canales de desagüe y en las obras de conservación de suelo.

La duración y la intensidad son importantes porque la escorrentía ocurre sólo después de exceder un cierto límite, es decir, cuando la intensidad de un chubasco excede la tasa de infiltración, o la intensidad y la duración de un chubasco exceden a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo (Aparicio, 1994).

Para la estimación de la escorrentía se recomiendan los métodos directos, a partir de la intensidad de la lluvia, pero en la mayoría de las áreas agrícolas sólo se cuenta con registros pluviométricos para el análisis de la lluvia en estas regiones y se utilizan métodos indirectos basados en la cantidad de lluvia caída.

El Soil Conservation Service (SCS, 1972) y Martínez (1986), en el análisis de las precipitaciones máximas, que en general se caracterizan por su alta intensidad y corta duración, se debe considerar su frecuencia, el período de duración y el valor de la lluvia acumulada. Estos tres factores se relacionan mediante curvas llamadas de frecuencia-duración-altura de lluvia.

La frecuencia de las lluvias es la repetitividad de eventos de características similares en intensidad y duración (CP, 1991). Cuanto más elevada sea una precipitación, se presentará con una menor frecuencia. En los proyectos de drenaje, se aceptan pérdidas en la producción agrícola total o parcial una vez cada cinco ó 10 años (ILRI, 1978). Para el diseño de drenaje superficial, se recomiendan períodos de retorno (Tr) de 10 años (Pizarro, 1985).

La lluvia de diseño se selecciona de acuerdo con la sensibilidad a la inundación del cultivo y se le denomina tiempo de drenaje (td), que viene a ser el tiempo en horas que el cultivo puede tolerar condiciones de inundación sin disminuir significativamente su rendimiento agrícola (FIRA, 1985).

Las zonas agrícolas de Tabasco son afectadas anualmente por inundaciones y niveles freáticos elevados, como consecuencia de fenómenos atmosféricos (precipitaciones frecuentes y de alta intensidad) y condiciones físicas de la zona, como: suelos con poca o nula pendiente y, en general, con drenaje natural no suficiente para evacuar los excesos de agua; originando con ellos inseguridad e inestabilidad en el desarrollo agrícola de la zona.

La presente investigación se realizó en el estado de Tabasco motivado por el interés de mejorar la productividad en los cultivos de chile, fríjol, sorgo y pasto, planteándose los objetivos: a) Comparar las metodologías de obtención de las lluvias de diseño propuestas por el SCS (1972) y el International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI, 1978), es decir, el análisis de la lluvia máxima ocurrida durante todo el año y la lluvia máxima ocurrida en el período crítico, respectivamente. b) Encontrar las lluvias máximas con duración de uno, dos, tres, cuatro y cinco días consecutivos. c) Determinar las curvas profundidad-duración-frecuencia de lluvias máximas utilizando la función distribución de probabilidad de Gumbel Tipo I, procedimiento gráfico. d) Encontrar la lluvia acumulada consecutiva que no afecte la producción de los cultivos en estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del Área de Estudio

El estudio se realizó en las áreas agrícolas ubicadas en el municipio Huimanguillo, Tabasco. Se utilizó la información de la estación meteorológica con Clave 27018, localizada en $17^{\circ} 52' N$ y $93^{\circ} 28' O$, con una altitud promedio de 193 m y un registro histórico de 13 años, que se obtuvo de la base de datos ERIC, Versión 2.0 (IMTA, 1995). Para la selección del registro histórico se hizo una revisión de las precipitaciones hasta el 2002 y se optó por el período 1961-1974 por encontrarse los valores de lluvias diarios, confiables y consistentes, además, para ser congruentes con las exigencias de las

metodologías utilizadas para determinar las curvas lámina-duración-frecuencia. Para el caso del año 1971, no se reportaron mediciones de precipitaciones, por lo que se eliminó ese período. En esta zona, el clima se clasifica como cálido húmedo y lluvioso en verano y otoño (INEGI, 1999).

El suelo es de origen aluvial, encontrándose los Gleysoles, Vertisoles, Cambisoles, Fluvisoles y los Acrisoles, con velocidades de infiltración bajas, que varían entre 7.62 y 10.16 mm h⁻¹ y texturas arcillosas que dificultan el movimiento del agua en el perfil de suelo; además, las pendientes en el área de estudio son menores que 2%, lo que provoca acumulación de agua en la superficie del suelo.

Metodología de Cálculo

Se evaluó el método propuesta por el Soil Conservation Service (SCS, 1972) que selecciona la lluvia máxima consecutiva de uno hasta cinco días a partir del análisis de la lluvia caída durante cada año de la serie pluviométrica. Para lluvias de un día, se tomaron los valores máximos registrados de lluvia en un día en todo el año. Para el caso de dos a cinco días se utilizó el procedimiento de los totales móviles que no es mas que ir sumando consecutivamente los valores de lluvias para cada duración y escoger el máximo valor de lluvia calculado. El método propuesta por el ILRI (1978), se basa en la selección de la lluvia máxima anterior seleccionando el período crítico (mes más lluvioso) anual de la serie histórica, aplicándose los totales móviles para el mes más lluvioso. Después de seleccionados los valores de lluvias máximas, ambas metodologías siguen los mismos procedimientos y son los que se describen a continuación:

- Ordenar los (n) datos de precipitación (P) en orden decreciente.
- Asignar un número de orden (r) en la serie a cada valor (P_r, r = 1,2,3,...,n), siendo P₁ el valor más elevado, P_n el más bajo.
- Dividir el número de orden (r) entre el número total de observaciones más 1 para obtener la frecuencia de excedencia del modo siguiente:

$$F(P > P_r) = \frac{r}{n + 1} \quad (1)$$

- Calcular la frecuencia de no excedencia

$$F(P \leq P_r) = 1 - F(P > P_r) = 1 - \frac{r}{n + 1} \quad (2)$$

- Calcular el período de retorno (Tr) en años:

$$Tr = \frac{1}{F(P > P_r)} \quad (3)$$

Una vez calculado el Tr, se calcula la función de distribución de probabilidad de Gumbel Tipo I, en su forma gráfica y, para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- Calcular la desviación típica de la distribución de Gumbel (α) como:

$$a = \frac{S_n}{S_p} \quad (4)$$

Donde: S_n es la desviación típica de las variables reducidas, que depende sólo de n (en este estudio fue 0.9926) y S_p es la desviación típica de los n máximos de P_r.

- Calcular la moda de la distribución de Gumbel (u):

$$u = \bar{P}_n - \frac{\bar{y}_n}{a} \quad (5)$$

Donde: \bar{P}_n es la media aritmética de los n máximos de P_r y \bar{y}_n es la media aritmética de n variables reducidas y que depende sólo de n (en este caso fue 0.5058), α es la desviación típica de la distribución de Gumbel.

- Sustituir los valores estimados anteriormente en la ecuación:

$$y = a(P - u) \quad (6)$$

- Donde: y es la variable reducida y P la lluvia, en mm.
- Representar como mínimo dos pares de valores (y, P) sobre el papel de probabilidad de Gumbel y unirlos para obtener la recta.
- Determinar los valores de lluvia para los períodos de retorno deseados.

Los procedimientos descritos se repiten para cada duración de la lluvia (uno hasta cinco días) y los resultados obtenidos de la función de distribución de

probabilidad Gumbel Tipo I se grafican para obtener la curva lámina-duración-frecuencia.

Para comparar los resultados obtenidos por ambas metodologías, se graficaron los valores de lluvias con períodos de retorno de cinco y 10 años y se ajustaron a una línea recta de la forma $y = ax$, obteniéndose los coeficientes de correlación (r) y el error estándar (S), así como la pendiente de la recta que da la variación en cuanto a la selección de las lluvias máximas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de la Lluvia

Como se muestra en la Figura 1, hay dos períodos bien definidos, uno húmedo que ocurre desde junio hasta octubre cuando precipita 70% de la lluvia promedio anual (1357 mm) y, otro, seco desde noviembre hasta mayo con 30% (568 mm). En esta figura se observa que el mes más lluvioso es septiembre con 315.8 mm, seguido de octubre con 307.9 mm, mientras que el mes más seco corresponde a abril con 46.2 mm.

Evaluación de las Metodologías de Cálculo

Metodología propuesta por el SCS (1972). En el Cuadro 1, se presentan las lluvias máximas consecutivas de uno a cinco días para cada año, así como el período de retorno y la media de cada duración. Las diferencias porcentuales encontradas entre las lluvias máximas consecutivas fueron: 42% para las precipitaciones promedio, 31% en precipitaciones máximas y 30% en mínimas.

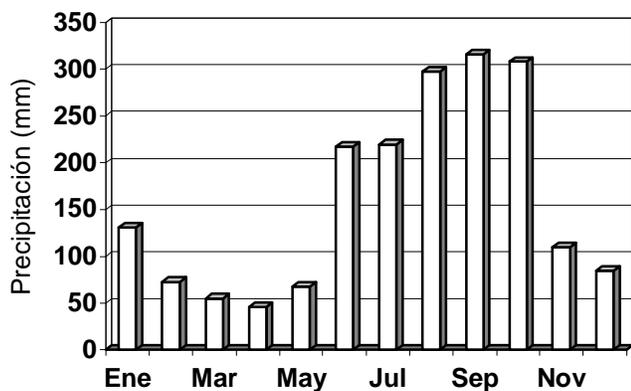


Figura 1. Comportamiento de la lluvia promedio mensual.

Las precipitaciones máximas, medias y mínimas tienden a incrementarse al agrupar los días consecutivos, dicha tendencia se encontró en el estudio realizado en la Estación Agua Blanca, Venezuela (Foremaiz, citado por Rojas, 1976).

Las precipitaciones máximas para un día tienen una gran variabilidad entre los años, ocurriendo cuatro de los 13 eventos de lluvias máximas diarias en el período seco, obteniéndose valores que varían entre 190.0 mm en enero de 1962 y 78.5 mm en julio de 1965. El valor máximo alcanzado es de 229.5 mm en septiembre de 1970.

Sin embargo, las precipitaciones máximas consecutivas para dos y tres días ocurrieron en septiembre de 1966 con valores de 225.0 y 315.0 mm, respectivamente, mientras que para duraciones de cuatro y cinco días las lluvias cayeron en agosto de 1962 con valores de 323.0 y 330.5 mm, respectivamente.

En el Cuadro 2 y en la Figura 2, se muestran las lluvias máximas (mm) de uno a cinco días consecutivos, obtenidas del procedimiento gráfico en el papel de probabilidad Gumbel Tipo I.

En el Cuadro 2, se observa que las variaciones de las precipitaciones máximas de un día para los períodos de retorno en estudio fueron de 33 mm entre cinco y 10 años, 23 mm para 10 y 20 años y de 56 mm entre cinco y 20 años. Para cinco días consecutivos, se encontraron diferencias de 53, 23 y 76 mm para cinco y 10 años, 10 y 20 años, y cinco y 20 años, respectivamente. Por lo tanto, al incrementar los períodos de retorno, se reducen las diferencias entre precipitaciones máximas consecutivas.

Metodología propuesta por el ILRI (1978). En el Cuadro 3, se presentan las lluvias máximas consecutivas de uno a cinco días del mes más crítico: septiembre, para la serie pluviométrica 1961-1974. Además, se muestran los valores promedio para cada duración y el período de retorno anual.

Al comparar las lluvias máximas para duraciones de uno a cinco días, se obtuvo una variación de 27.6%, siendo las diferencias porcentuales para los valores medios y mínimos de 41.7 y 51.8%, respectivamente. Las lluvias máximas y medias medidas tienen un porcentaje de variación muy similar en ambas metodologías, valores entre los que se encuentran los períodos de retorno recomendados para el diseño de los sistemas de drenaje. (Pizarro, 1985; Martínez, 1986).

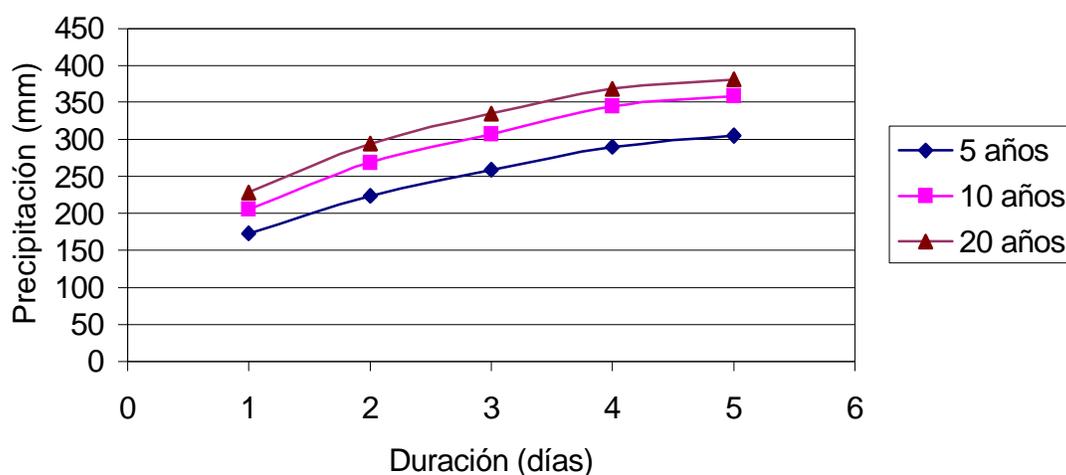
Cuadro 1. Lluvias máximas de uno a cinco días consecutivos y períodos de retorno (Tr). Método del Soil Conservation Service (SCS, 1972).

Año	1 día	Año	2 días	Año	3 días	Año	4 días	Año	5 días	Tr
	mm		mm		mm		mm		mm	
1970	229.5	1966	255.0	1966	315.0	1962	323.0	1973	330.5	14.0
1962	190.0	1970	254.0	1970	254.0	1966	317.0	1962	323.0	7.0
1969	173.0	1969	221.3	1974	248.5	1973	283.0	1966	317.0	4.7
1967	149.5	1962	213.0	1969	246.6	1969	281.6	1969	286.6	3.5
1966	138.0	1973	182.0	1973	240.0	1974	257.5	1970	261.4	2.8
1972	127.5	1974	181.5	1962	219.0	1970	256.5	1974	257.5	2.3
1974	126.5	1972	181.0	1972	181.5	1972	199.5	1961	213.5	2.0
1973	107.0	1967	151.9	1961	158.5	1961	175.0	1972	199.5	1.7
1961	106.0	1961	140.5	1967	151.9	1967	154.4	1967	164.0	1.5
1964	99.0	1964	118.0	1968	131.5	1964	140.3	1965	161.5	1.4
1968	88.0	1965	110.0	1964	131.0	1965	138.5	1964	148.3	1.3
1963	82.5	1963	97.0	1965	116.5	1968	131.5	1968	140.5	1.2
1965	78.5	1968	88.0	1963	101.0	1963	110.0	1963	112.0	1.1
Media	130.4		168.7		191.9		212.9		224.2	

Cuadro 2. Lluvias máximas para cada duración y período de retorno. Método del Soil Conservation Service (SCS, 1972).

Tr	1 día	Dif (%)	2 días	Dif (%)	3 días	Dif (%)	4 días	Dif (%)	5 días	Dif (%)
	mm		mm		mm		mm		mm	
5	172.7		223.5		259.1		289.6		304.8	
10	205.7	16.04 (33)	269.2	16.98 (45.7)	307.3	15.70 (48.2)	345.44	16.18 (55.84)	358.14	14.89 (55.34)
20	228.6	10.00 (22.9)	294.6	8.62 (25.4)	335.28	8.33 (27.98)	368.3	6.21 (22.86)	381.0	6.00 (22.86)

Tr = período de retorno; Dif = diferencia en porcentaje.

**Figura 2. Curvas lámina-duración-frecuencia. Método del Soil Conservation Service (SCS, 1972).**

Cuadro 3. Lluvias máximas de duración 1, 2, 3, 4 y 5 días consecutivos para el mes crítico; Septiembre.

Año	1 día	Año	2 días	Año	3 días	Año	4 días	Año	5 días	Tr
	mm		mm		mm		mm		mm	
1970	229.5	1966	255.0	1966	315.0	1966	317.0	1966	317.0	14.0
1969	173.3	1970	254.0	1970	254.0	1969	281.6	1969	286.6	7.0
1966	138.0	1969	221.3	1974	248.0	1974	257.0	1970	261.4	4.7
1974	126.0	1974	181.0	1969	246.6	1970	256.5	1974	257.0	3.5
1964	85.5	1964	90.5	1967	124.0	1967	136.3	1967	149.8	2.8
1962	66.0	1967	84.0	1962	120.0	1962	120.0	1962	120.0	2.3
1963	55.0	1962	70.0	1964	94.5	1961	101.0	1961	101.6	2.0
1967	48.5	1963	64.5	1961	83.0	1964	98.0	1964	101.0	1.7
1961	45.0	1961	63.5	1963	73.0	1963	76.5	1963	80.5	1.5
1965	43.0	1965	43.0	1965	47.5	1965	47.5	1965	50.0	1.4
1968	26.5	1968	32.5	1973	40.0	1973	42.0	1973	50.0	1.3
1972	26.5	1973	32.0	1968	39.0	1968	41.0	1972	42.0	1.2
1973	20.0	1972	29.0	1972	29.5	1972	40.5	1968	41.5	1.1
Media	83.3		109.2		130.5		139.6		142.9	

Tr = período de retorno.

Las lluvias máximas diarias tienen una variación de 209.5 mm, siendo el valor mayor de 229.5 mm precipitada en 1970. Para el caso de duraciones de dos hasta cinco días, éstas alcanzaron valores máximos de 255.0, 315.0, 317.0 y 317.0 mm, las cuales ocurrieron en 1966.

Al igual que para el método del SCS (1972), se calcularon las lluvias máximas para duraciones desde uno hasta cinco días. En el Cuadro 4 y en la Figura 3, se muestran los valores obtenidos según la distribución de probabilidad de Gumbel Tipo I, en su forma gráfica. Además, se muestran las diferencias porcentuales entre los períodos de retorno para cada duración de la lluvia.

Al analizar el Cuadro 4, se observa que las lluvias máximas para un día varían en 54 mm entre el período de retorno cinco y 10 años, siendo de 30 mm para 10 y 20 años y de 84 mm para cinco y 20 años. Para duración igual a cinco días, las variaciones entre Tr de cinco y 10 años son de 78 mm, para 10 y 20 años son de 41 mm, y para cinco y 20 años la diferencia entre las lluvias máximas es de 119 mm. Como se observa, las diferencias porcentuales entre los períodos de retorno disminuyen para cada duración, al igual que

ocurre para cada Tr entre uno y cinco días consecutivos.

Comparación entre las metodologías. En las Figuras 4 y 5, se presenta la comparación de los métodos de SCS (1972) y ILRI (1978) para los períodos de retorno cinco y 10 años. En el caso de Tr igual a cinco años se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.9973 y error estándar de 8.23 mm, lo que demuestra el buen ajuste de los datos a la ecuación de la recta modelada ($y = ax$), siendo el intercepto con el eje y igual a 0 y la pendiente 1.194. Esto demuestra que los valores obtenidos por ambas metodologías se distribuyen muy próximos a la recta $y = x$ que sería la condición ideal.

Para Tr igual a 10 años, el coeficiente de correlación es de 0.9969 y el error estándar de 10.44 mm, aunque se incrementó este último parámetro estadístico con respecto al obtenido para período de retorno de cinco años; se considera que existe un buen ajuste con el modelo lineal, obteniéndose una pendiente de 1.061, lo que refleja su proximidad a la unidad.

Aunque los valores de lluvias máximas obtenidos para cada duración y período de retorno varían entre las metodologías, puede asumirse el uso del mes más

Cuadro 4. Lluvias máximas para duraciones de uno a cinco días y períodos de retornos de cinco, 10 y 20 años, a partir de la función de distribución de probabilidades de Gumbel Tipo I.

Tr	1 día	Dif	2 días	Dif	3 días	Dif	4 días	Dif	5 días	Dif
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
5	138.7		193.0		226.8		240.3		247.1	
10	193.0	28.16	260.6	25.92	304.8	25.58	318.3	24.50	325.1	23.98
20	223.5	13.64	300.0	13.12	348.0	12.41	360.7	11.76	365.8	11.11

Tr = período de retorno; Dif = diferencia en porcentaje.

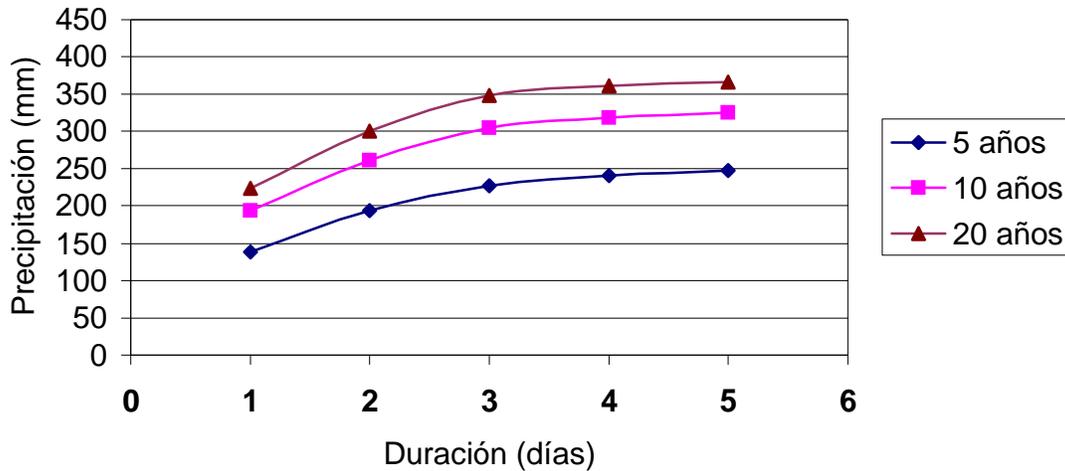


Figura 3. Curvas lámina-duración-frecuencia. Método del ILRI (1978).

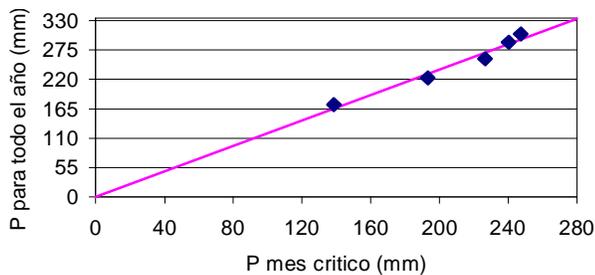


Figura 4. Valores de lluvias máximas para las duraciones de uno a cinco días y período de retorno de cinco años y modelo ajustado para ambas metodologías.

crítico como vía para determinar la lluvia de diseño, por ser el período cuando realmente se requiere del funcionamiento óptimo del sistema de drenaje superficial. Cuando se analiza el año completo, para la selección de la lluvia máxima se incorporan a los cálculos valores que ocurren en los períodos secos, debido a condiciones atmosféricas adversas, que no son típicas de los mismos, por lo que será menor su frecuencia de ocurrencia.

En consecuencia, cuanto más elevada sea la lluvia de diseño, implica un proyecto más costoso, tanto menor es el riesgo de perder la producción agrícola. Sin embargo, hay un cierto punto en el que el costo para garantizar mayor seguridad excede a los beneficios derivados de una reducción adicional en el número de pérdidas de cosecha.

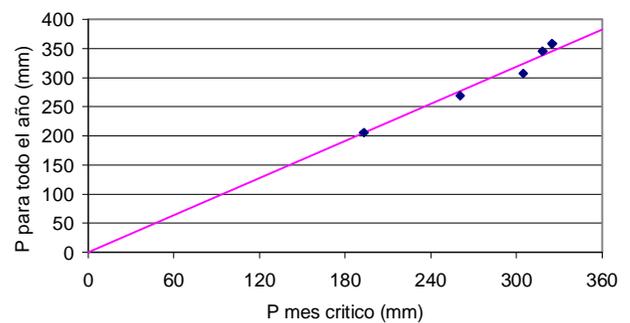


Figura 5. Valores de lluvias máximas para las duraciones de uno a cinco días y período de retorno de 10 años y modelo ajustado para ambas metodologías.

Determinación de la Lluvia de Diseño para los Cultivos

En la Figura 6, se muestra la curva lámina-duración-frecuencia para el período de retorno de 10 años, para lo cual se siguió el criterio del método planteado por el ILRI (1978). Este modelo explica mejor el comportamiento de las lluvias máximas de tipo potencial:

$$P = a(1 - e^{-bD})$$

Donde: P es la precipitación máxima en mm; D es la duración de la lluvia en días; y a, b son constantes adimensionales.

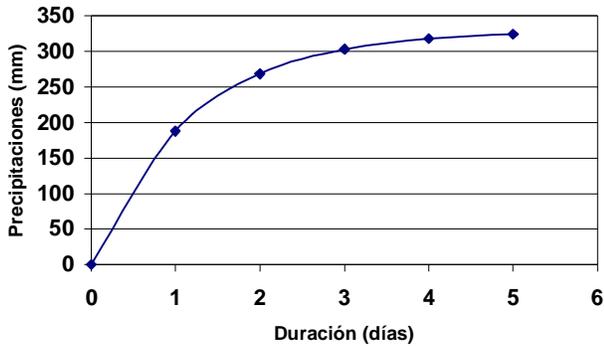


Figura 6. Curva lámina-duración-frecuencia ajustada (Tr = 10 años).

Las constantes determinadas para el modelo fueron $a = 328.8573$ y $b = 0.8463$ con un coeficiente de correlación de 0.9994 y un error estándar de 4.799 mm, lo que indica que el modelo explica satisfactoriamente el comportamiento de las lluvias máximas para la región caso de estudio.

Los tiempos que los cultivos pueden estar inundados, sin disminuir significativamente sus rendimientos, son: chile (8 h), fríjol (24 h), sorgo (36 h) y pasto (72 h), según FIRA (1985). Considerando los tiempos de drenaje y las curvas de lámina-duración-frecuencia de la Figura 6, se obtuvieron las lluvias de diseño para chile 73.7 mm, frijol 187.8 mm, sorgo 236.4 mm y pasto 302.9 mm.

CONCLUSIONES

- El método ILRI encontró que el mes más lluvioso fue septiembre de los 13 años de registro diario de lluvias.
- Las lluvias máximas consecutivas para uno a cinco días fueron: 209.5, 255, 315, 317 y 317 mm, respectivamente.
- Considerando los tiempos de drenaje y las curvas de lámina-duración-frecuencia, se determinaron las

lluvias críticas que no afectan el rendimiento de los cultivos, las cuales fueron para chile: 73.3 mm, fríjol: 187.8 mm, sorgo: 236.4 mm y pasto: 302.9 mm.

LITERATURA CITADA

- Aparicio-Mijares, F. 1994. Fundamentos de hidrología superficial. Limusa. México, D.F.
- CP (Colegio de Postgraduados). 1991. Manual de conservación de suelo y agua. Tercera edición. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Chapingo, México.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 1985. Riego y Drenaje. Serie de Agricultura. Volumen 2. Instructivos técnicos de apoyo para la formulación de proyectos de financiamiento y asistencia técnica. Subdirección de Evaluación de Proyectos y Asistencia, División de Agricultura. México, D.F.
- Hudson, N.W. 1981. Soil conservation. 2nd ed. Cornell University Press. Ithaca, NY.
- ILRI (International Institute for Land Reclamation and Improvement). 1978. Principios y aplicaciones del drenaje. Tomo III. Estudios e investigaciones. Wageningen, The Netherlands.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 1995. Extractor rápido de información climatológica. ERIC Versión 2.0. Jiutepec, Morelos, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1999. Anuario estadístico de Tabasco. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Martínez-Beltrán, J. 1986. Drenaje agrícola. Vol. I. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. 2a edición. Editorial Agrícola Española. Madrid, España.
- Rojas, M. 1976. Drenaje superficial de tierras agrícolas. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Caracas, Venezuela.
- SCS (Soil Conservation Service). 1972. National Engineering Handbook. Hydrology Section 4, Chapter 4-10, 19. US Department of Agriculture. Washington, DC.
- Villón-Béjar, M. 2001. Hidrología estadística. Serie en Ingeniería Agrícola. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Yap-Salinas, H. 1974. Efectos del nivel freático en la producción de cultivos. Departamento de Recursos de Agua y Tierra. Universidad Nacional Agraria "La Molina". Lima, Perú.