



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – OBRAS HIDRÁULICAS

“CALIBRACIÓN DE LA CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA LA CUENCA
DEL RÍO PIAXTLA”

T E S I S
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MARIO ALBERTO RONZÓN SEVILLA

TUTOR PRINCIPAL
DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA
INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2013

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. GABRIEL ECHÁVEZ ALDAPE
Secretario: DR. OSCAR FUENTES MARILES
Vocal: DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA
1er. Suplente: M.I. VÍCTOR FRANCO
2do. Suplente: DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL

Lugar donde se realizó la tesis:

Guadalajara, Jalisco, México

TUTOR DE LA TESIS:

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

FIRMA

AGRADECIMIENTO:

A mis Padres

A mis Escuelas

A mis Instituciones de Trabajo

A Comisión Federal de Electricidad

ÍNDICE

- 1 OBJETIVO DE LA TESIS E INFORMACIÓN GENERAL**
- 2 AVENIDAS MÁXIMAS REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PIAXTLA**
- 3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS GASTOS MÁXIMOS**
- 4 DETERMINACIÓN DE LA CURVA “N_E” Y RETENCIÓN POTENCIAL “S_E” MEDIANTE LAS CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PIAXTLA**
- 5 DETERMINACIÓN DE LA CURVA “N_T” Y RETENCIÓN POTENCIAL “S_T” MEDIANTE TABLAS DE CURVAS N, PARA LA CUENCA TOTAL DEL RÍO PIAXTLA**
- 6 DETERMINACIÓN DE LA CURVA “N_E” Y RETENCIÓN POTENCIAL “S_E” MEDIANTE TABLAS, PARA LA CUENCA PIAXTLA 1 (CUENCA CHICA)**
- 7 GASTOS DE DISEÑO FINALES PARA LA CUENCA PIAXTLA 1 (CUENCA CHICA)**
- 8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**
- 9 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ANÁLISIS**

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Registros de avenidas máximas en la estación hidrométrica.....	12
Tabla 3.1 Registros de avenidas máximas período 1968-1988.....	13
Tabla 3.2 Gastos máximos interpolados y extrapolados	17
Tabla 4.1 Áreas de influencia de las estaciones climatológicas sobre la cuenca.....	19
Tabla 4.2 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Piaxtla	21
Tabla 4.3 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Jocuixtita.....	22
Tabla 4.4 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Las Truchas	23
Tabla 4.5 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. I. Zaragoza.....	24
Tabla 4.6 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Las Vegas	25
Tabla 4.7 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. San Dimas	26
Tabla 4.8 Lluvia máxima en 24 horas representativa de la cuenca del río Piaxtla.....	27
Tabla 4.9 Ajuste de la muestra de Lluvias Máximas Anuales con diferentes distribuciones de probabilidad, valores de error cuadrático	28
Tabla 4.10 Características principales de la cuenca del río Piaxtla	33
Tabla 4.11 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10 años	36
Tabla 4.12 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 100 años	37
Tabla 5.1 Edafología de la cuenca del río Piaxtla	39
Tabla 5.2 Usos del suelo y cubierta vegetal en la cuenca del río Piaxtla	40
Tabla 5.3 Cálculo de la curva N	41
Tabla 6.1 Edafología de la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)	44
Tabla 6.2 Usos del suelo y cubierta vegetal en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)	45
Tabla 6.3 Cálculo de la curva N	46
Tabla 7.1 Características principales de la cuenca del río Piaxtla 1 (Cuenca chica).....	48
Tabla 7.2 Cálculo de la pendiente	49
Tabla 7.3 Cálculo del tiempo de concentración mediante diferentes criterios	51
Tabla 7.4 Gasto de diseño finales para la cuenca del río Piaxtla 1 (Cuenca chica)	52
Tabla 7.5 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 2 años	53

Tabla 7.6 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 5 años	54
Tabla 7.7 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10 años	55
Tabla 7.8 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 20 años	56
Tabla 7.9 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 50 años	57
Tabla 7.10 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 100 años	58
Tabla 7.11 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 200 años	59
Tabla 7.12 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 500 años	60
Tabla 7.13 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 1000 años	61
Tabla 7.14 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 2000 años	62
Tabla 7.15 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 5000 años	63
Tabla 7.16 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10000 años	64

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1.1 Cuenca principal del Río Piaxtla y Subcuenca de interés o cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)	7
Plano 1.2 Región Hidrológica 10 (Sinaloa)	8
Plano 1.3 Subregión Hidrológica 10E (Ríos Elota, Piaxtla y San Lorenzo)	9
Plano 1.4 División Política de la cuenca del Río Piaxtla (Estados de Sinaloa y Durango).....	9
Plano 2.1 Localización de la estación hidrométrica Piaxtla.....	10
Plano 2.2 Localización de la estación hidrométrica Piaxtla, foto satelital	10
Plano 4.1 Polígonos de Thiessen para la cuenca del río Piaxtla.....	19
Plano 5.1 Tipos de suelo en la cuenca del río Piaxtla.....	39
Plano 5.2 Usos de suelo en la cuenca del río Piaxtla.....	40
Plano 6.1 Disposición de la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)	43
Plano 6.2 Tipos de suelo en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica).....	44
Plano 6.3 Usos de suelo en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)	45

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Avenidas máximas graficadas papel logarítmico.....	14
Gráfica 3.2 Gastos de diseño asociados a diferentes T_r y diferentes funciones de distribución	16
Gráfica 4.1 Lluvia máxima en el período 1968-1988.....	28
Gráfica 4.2 Lluvias máximas graficadas función Doble Gumbel.....	30
Gráfica 4.3 Lluvias máximas graficadas función Gumbel	32
Gráfica 7.1 Corte longitudinal del cauce principal del río Piaxtla 1 (Cuenca chica).....	50

Terminología:

N_E = Curva N obtenida mediante estadística

S_E = Retención potencial calculada por estadística

N_T = Curva N obtenida de tablas de escurrimiento

S_T = Retención potencial calculada mediante tablas de escurrimiento

1. OBJETIVO DE LA TESIS E INFORMACIÓN GENERAL

Dentro del programa para el cuidado del medio ambiente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene como objetivo el manejo de fuentes alternas para la generación de energía eléctrica, de manera limpia y eficiente, dentro de estas fuentes se encuentran, entre otras, las plantas hidroeléctricas cuyas características principales son precisamente la generación de electricidad de forma limpia, con daños mínimos o casi nulos al medio ambiente, es por ello que dentro de la búsqueda de este tipo de energía, se han determinado sitios de interés que satisfacen los requerimientos de la CFE, en los cuales se pueden construir plantas de hidrogenación para tal fin.

Ahora bien, la cuenca del **Río Piactla** cuenta con un gran potencial para la explotación de este tipo de recurso energético, de tal forma que se ha seleccionado esta cuenca para el desarrollo de la presente tesis de maestría.

El objetivo principal de la tesis es determinar la magnitud de las avenidas que se pudieran presentar en una subcuenca ubicada en la parte alta y que nombraremos **cuenca Piactla 1 (cuenca chica)**, la cual pertenece a la cuenca principal del **Río Piactla** (Ver Plano 1.1).

Para ello **se pretende calibrar la curva de escurrimiento N con respecto a los registros de gastos máximos de la estación hidrométrica Piactla** y de las características fisiográficas de la cuenca (tipo y usos de suelo) y posteriormente aplicar un criterio hidrológico para la generación de avenidas, que use precisamente como dato la curva de escurrimiento N.

Cabe señalar que esta cuenca cuenta con registros de hidrometría en la parte baja de la misma y los cuales serán aprovechados para evaluar la curva N, para posteriormente mediante cálculos inherentes al desarrollo de la tesis, trasladar la curva N calibrada a la zona de la montaña, es decir a la cuenca de interés, la cual carece totalmente de información hidrométrica.

En el plano 1.1 se presenta la cuenca principal del **río Piactla (área 5 265 km²)**, la ubicación de la estación hidrométrica y la subcuenca de interés o **cuenca Piactla 1 (cuenca chica área 506 Km²)**.

Plano 1.1 Cuenca principal del Río Piaxtla y Subcuenca de interés o cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)



Por otra parte, de acuerdo con la clasificación de la Comisión Nacional del Agua, la cuenca del río Piaxtla pertenece a la región 10 (Sinaloa) y a su vez a la subregión hidrológica 10E (Ríos Elota, Piaxtla y San Lorenzo), en los planos 1.2 y 1.3 se presenta la referida información.

Así mismo, esta cuenca comprende los estados de Sinaloa y Durango, razón por la cual, la estación hidrométrica queda incluida en el estado de Sinaloa, mientras que la **cuenca Piaxtla 1 (cuenca chica)** en el estado de Durango, esta información se muestra en el plano 1.4.

La corriente principal del río Piaxtla se genera en el estado de Durango, en la Sierra Madre Occidental; sigue una dirección suroeste y recibe numerosos afluentes que aumentan su caudal, siendo el de mayor importancia el río Verde que se le une, aproximadamente, 10 Km del poblado de San Ignacio, por su margen derecha. Desemboca al Océano Pacífico, aproximadamente, a 70 Km del puerto de Mazatlán.

En la cuenca existen numerosos accidentes orográficos entre los que se encuentran La sierra de las Ventanas con elevaciones que varían de 250 a 2 mil 292 metros sobre el nivel del mar, se desplaza en dirección norte-sur. En la vertiente oriental nacen algunos tributarios del río Verde o de Ajoya y en la vertiente sur el arroyo Colompo, afluente del río Piaxtla. Considerada como prolongación de la sierra de las Ventanas se desprende en forma adyacente, la sierra de Jocuixtita, la cual se interna en el estado de Durango con elevaciones comprendidas entre 350 y 2 mil 418 metros sobre el nivel del mar. En su vertiente sur y suroccidental, tienen origen algunos escurrimientos tributarios del río Verde o de Ajoya.

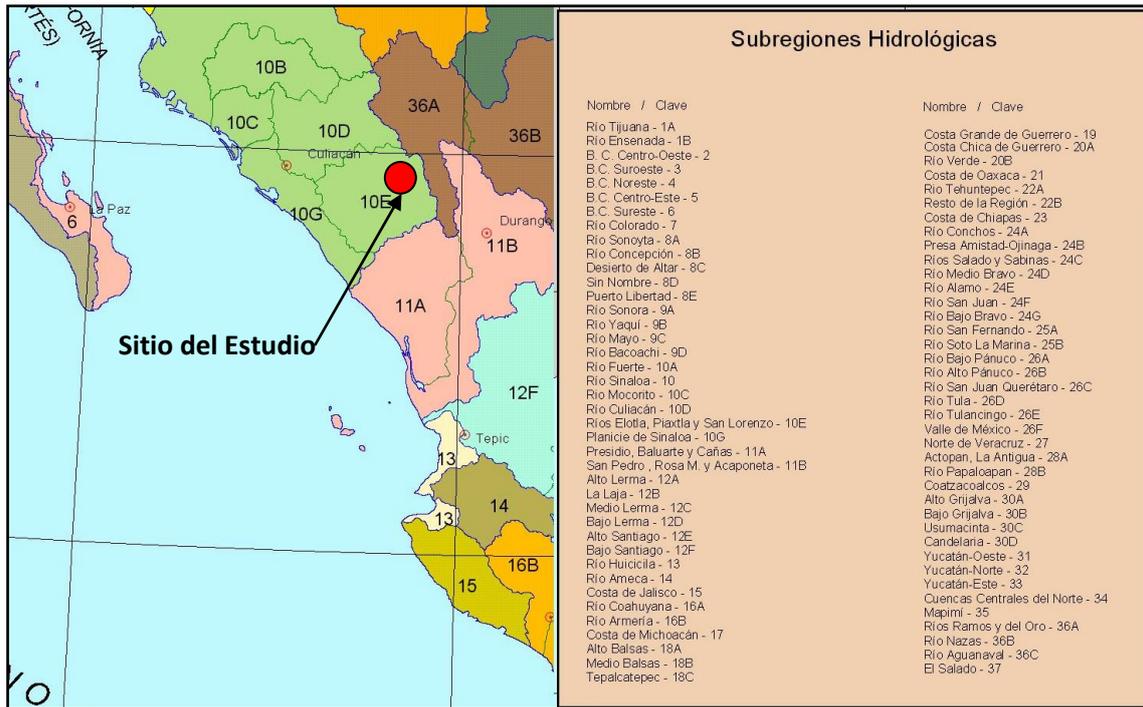
Sobre la porción sur oriental, se encuentra la sierra de Los Frailes con desplazamientos de suroeste al noroeste y ramificaciones considerables hacia el noroeste. Su altitud varía de los 300 a 2 mil 700 metros sobre el nivel del mar; en su vertiente noroccidental, se origina el arroyo El Espíritu, Tributario del río Piaxtla.

La sierra de Piaxtla es la de menor altura y una de las más próximas a la costa en el estado de Sinaloa. Su altitud va desde el nivel del mar hasta los 300 metros.

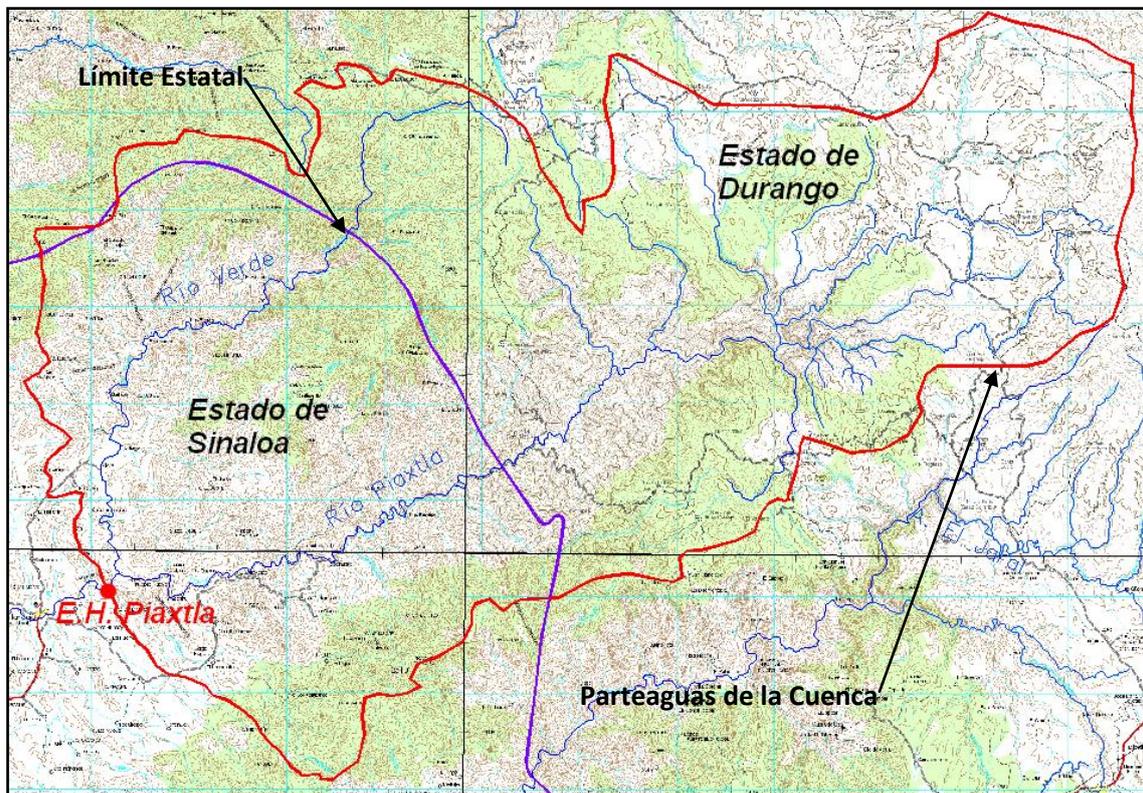
Plano 1.2 Región Hidrológica 10 (Sinaloa)



Plano 1.3 Subregión Hidrológica 10E (Ríos Elota, Piaxtla y San Lorenzo)



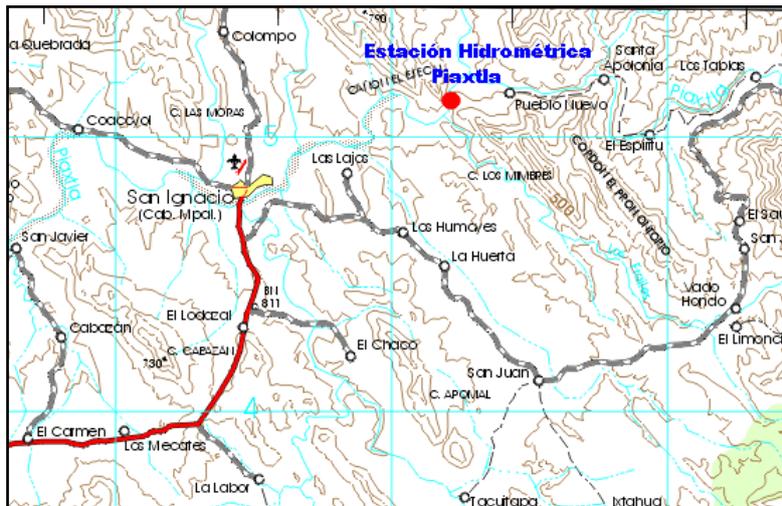
Plano 1.4 División Política de la cuenca del Río Piaxtla (Estados de Sinaloa y Durango)



2. AVENIDAS MÁXIMAS REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PIAXTLA

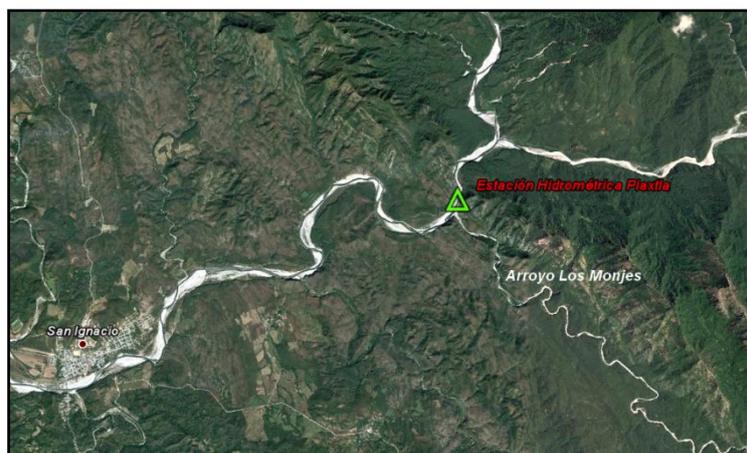
Como se comentó anteriormente, la cuenca esta monitoreada mediante la estación hidrométrica “Piaxtla”, la que es controlada por la Comisión Federal de Electricidad. Se localiza en el estado de Sinaloa, municipio de San Ignacio, sobre el río Piaxtla, aproximadamente 500 m aguas arriba de la confluencia del arroyo de Los Monjes, (ver planos 2.1 y 2.2).

Plano 2.1 Localización de la estación hidrométrica Piaxtla



Para llegar a ella, del Km 1 278 de la carretera México-Nogales, pasando el puente Coyotitlán, se parte por un camino asfaltado, transitable en todo tiempo, que conduce hasta el pueblo de San Ignacio. De este lugar al poblado denominado Las Lajas se llega por una brecha de terracería, posteriormente a pie o a caballo, una hora de camino. En estiaje se llega a la estación por el camino de una compañía minera. Existe un campo aéreo en Las Lajas y en el poblado de San Ignacio que pueden también utilizarse para llegar a la estación, el motivo de su instalación es conocer el régimen de la corriente para futuros aprovechamientos hidroeléctricos.

Plano 2.2 Localización de la estación hidrométrica Piaxtla, foto satelital



Las coordenadas de localización de la estación hidrométrica son las siguientes:

Latitud Norte	23° 57' 00"
Longitud Oeste	106° 20' 00"
Altura sobre el nivel del mar	154
Área drenada	5 265 km²

Ahora bien, la estación tiene registros de avenidas máximas en el período de 1958 a 2007, estos se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Registros de avenidas máximas en la estación hidrométrica

GASTOS MÁXIMOS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PIAXTLA			
AÑO	MES	DÍA	MÁXIMO
1958	SEPTIEMBRE	21	1344
1959	AGOSTO	28	510
1960	AGOSTO	18	444
1961	DICIEMBRE	11	821
1962	OCTUBRE	4	1276
1963	DICIEMBRE	13	2855
1964	OCTUBRE	1	652
1965	SEPTIEMBRE	27	614
1966	AGOSTO	11	631
1967	DICIEMBRE	16	937
1968	SEPTIEMBRE	13	6399
1969	OCTUBRE	12	799
1970	SEPTIEMBRE	28	765
1971	JULIO	24	503
1972	NOVIEMBRE	23	3527
1973	AGOSTO	15	640
1974	DICIEMBRE	26	2178
1975	SEPTIEMBRE	4	360
1976	OCTUBRE	29	901
1977	ENERO	1	950
1978	AGOSTO	15	684
1979	ENERO	25	867
1980	OCTUBRE	17	934
1981	OCTUBRE	12	1441
1982	DICIEMBRE	10	675
1983	OCTUBRE	19	1509
1984	DICIEMBRE	15	787
1985	ENERO	13	2328
1986	OCTUBRE	22	1308
1987	DICIEMBRE	26	332
1988	AGOSTO	18	381
1989	NOVIEMBRE	20	1061
1990	OCTUBRE	2	1881
1991	DICIEMBRE	12	764
1992	ENERO	17	1256
1993	SEPTIEMBRE	13	8674
1994	SEPTIEMBRE	4	320
1995	AGOSTO	4	206
1996	AGOSTO	28	368
1997	ABRIL	4	429
1998	SEPTIEMBRE	7	291
1999	SEPTIEMBRE	2	260
2000	OCTUBRE	21	1380
2001	AGOSTO	29	297
2002	AGOSTO	15	573
2003	SEPTIEMBRE	22	3007
2004	SEPTIEMBRE	2	665
2005	AGOSTO	15	251
2006	AGOSTO	26	611
2007	JULIO	29	470

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS GASTOS MÁXIMOS

En la cuenca del río Piaxtla existen varias estaciones climatológicas las cuales registran datos meteorológicos correspondientes a su respectiva porción de área de influencia dentro de la cuenca bajo estudio, sin embargo los períodos de observación o toma de registros de las estaciones climatológicas son desiguales, es decir tienen períodos de inicio diferentes, no obstante existe un período común entre ellas siendo este 1968 a 1988, por lo tanto para ser congruentes con los análisis de la estimación de la curva N, el registro de gastos máximos de la estación hidrométrica Piaxtla se redujo para un período de observación de 21 años (1968-1988), en la tabla 3.1 se muestra el período acotado para el análisis estadístico de gastos máximos.

Tabla 3.1 Registros de avenidas máximas período 1968-1988

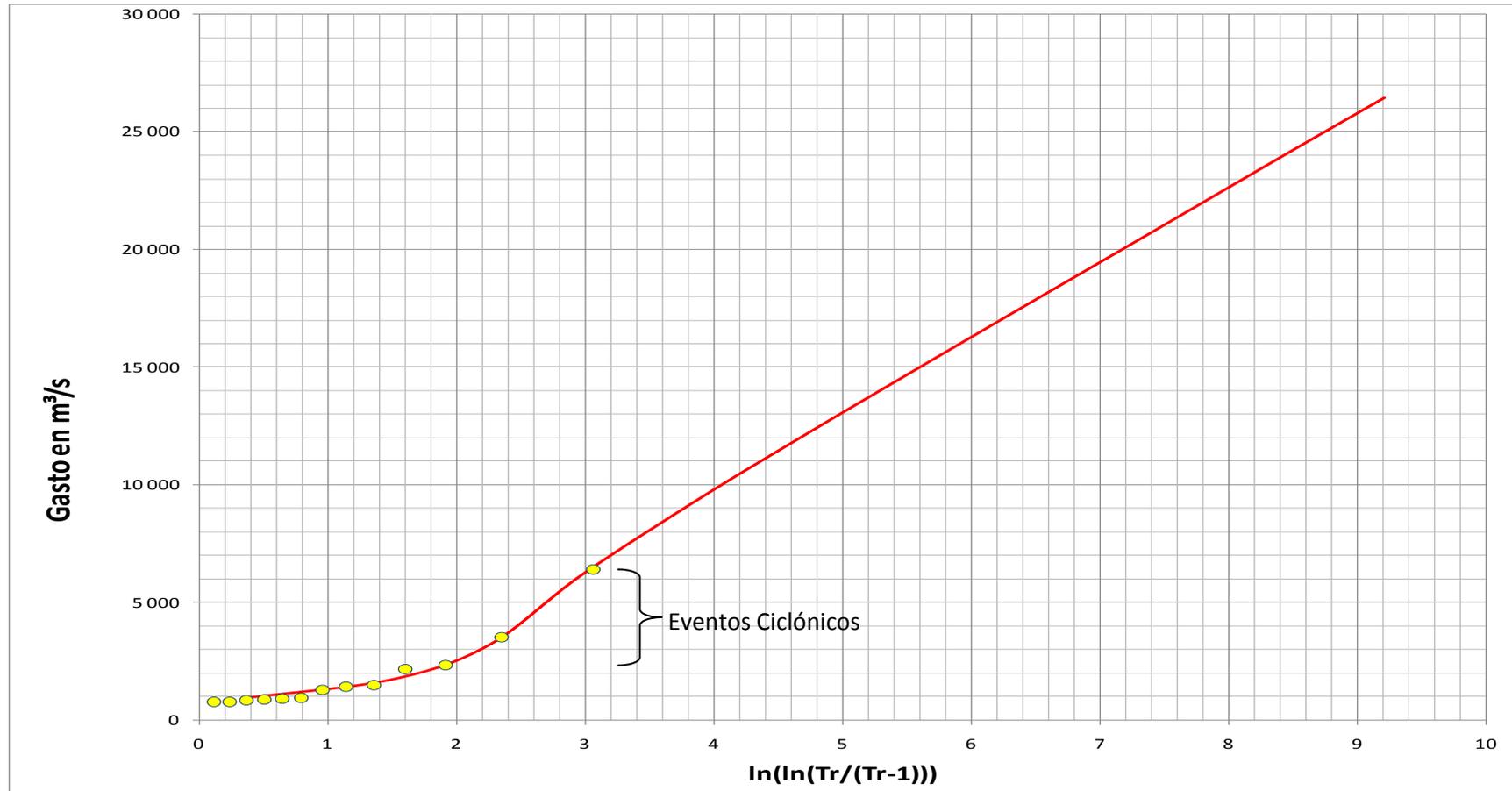
GASTOS MÁXIMOS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN HIDROMÉTRICA PIAXTLA (Período 1968-1988)			
AÑO	MES	DÍA	MÁXIMO
1968	SEPTIEMBRE	13	6399
1969	OCTUBRE	12	799
1970	SEPTIEMBRE	28	765
1971	JULIO	24	503
1972	NOVIEMBRE	23	3527
1973	AGOSTO	15	640
1974	DICIEMBRE	26	2178
1975	SEPTIEMBRE	4	360
1976	OCTUBRE	29	901
1977	ENERO	1	950
1978	AGOSTO	15	684
1979	ENERO	25	867
1980	OCTUBRE	17	934
1981	OCTUBRE	12	1441
1982	DICIEMBRE	10	675
1983	OCTUBRE	19	1509
1984	DICIEMBRE	15	787
1985	ENERO	13	2328
1986	OCTUBRE	22	1308
1987	DICIEMBRE	26	332
1988	AGOSTO	18	381

Posteriormente, la información de eventos de avenidas máximas anuales contenidos en la tabla 3.1, se ajustaron a diferentes funciones de distribución de probabilidad, a través del programa AX del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), eligiendo aquella función que presentó el mejor ajuste a la muestra de datos, que en este caso le correspondió a la función Doble Gumbel o Gumbel de dos poblaciones.

La distribución de Gumbel es comúnmente empleada con buenos resultados para valores extremos independientes de variables meteorológicas y se ajusta bastante bien a los valores máximos de gastos en diferentes intervalos de tiempo.

Los gastos máximos anuales graficados se presentan en la gráfica 3.1, en ella se muestran los valores de probabilidad de eventos ciclónicos y no ciclónicos.

Gráfica 3.1 Avenidas máximas graficadas (papel logarítmico)



Las Fechas en que se presentaron los eventos ciclónicos son:

Mes	Día	Año	Gasto (m ³ /s)
Septiembre	13	1968	6399
Noviembre	23	1973	3527
Enero	13	1985	2328
Diciembre	26	1974	2178

Cabe señalar que además de analizar la función Doble Gumbel, se calcularon las funciones de distribución, Exponencial, Momentos, Gamma, Momentos 3 parámetros, Gamma momentos 2 parámetros, Gumbel, Lognormal momentos 2 parámetros, Lognormal momentos 3 parámetros y Normal Momentos.

Los resultados de este análisis se presentan en papel Gumbel de la gráfica 3.2 y los datos de gastos máximos interpolados y extrapolados en la tabla 3.2.

Gráfica 3.2 Gastos de diseño asociados a diferentes T_r y diferentes funciones de distribución

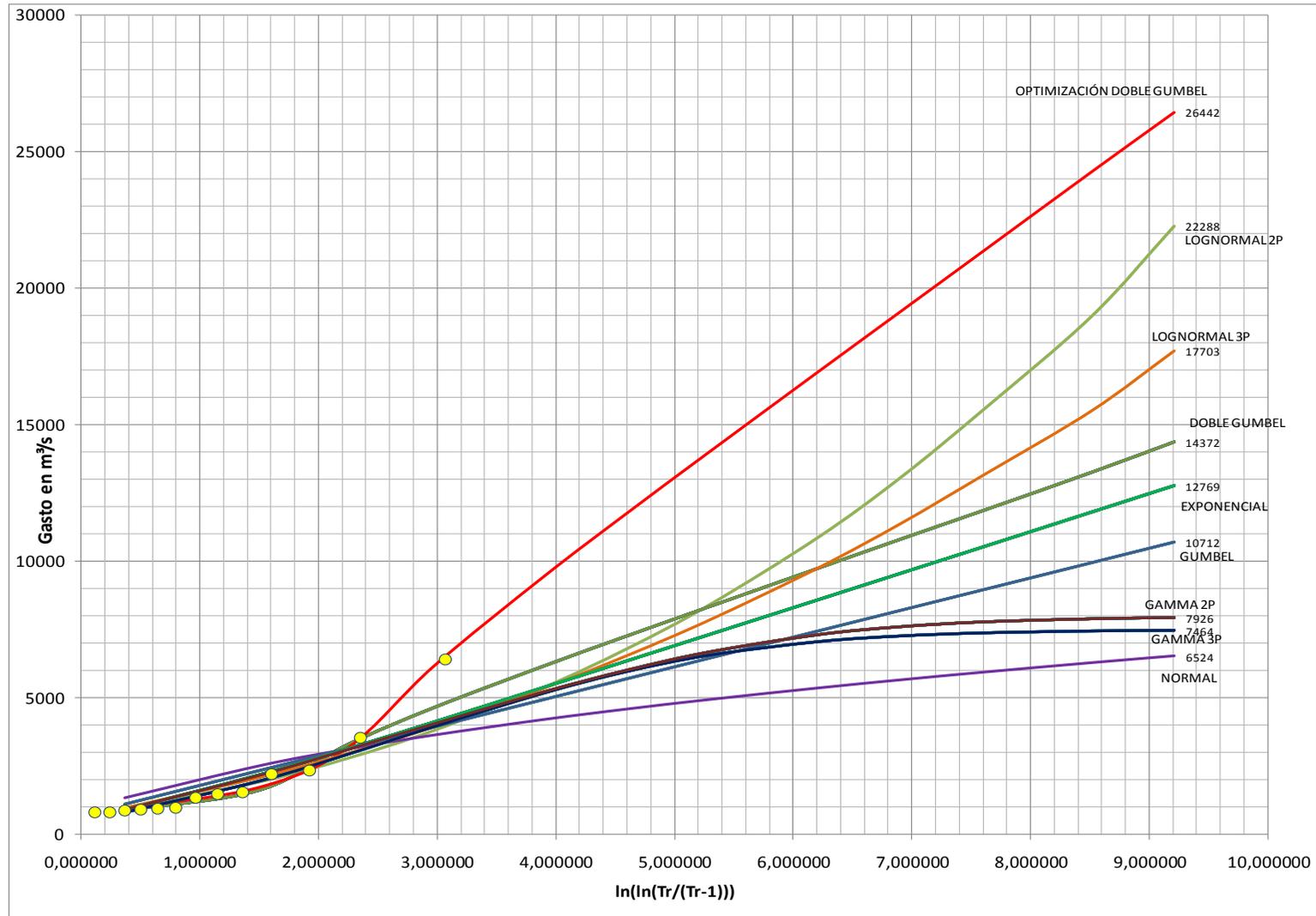


Tabla 3.2 Gastos máximos interpolados y extrapolados

Tr (años)	DOBLE GUMBEL	EXPONENCIAL MOMENTOS	GAMMA MOMENTOS 3 P	GAMMA MOMENTOS 2 P	GUMBEL MOMENTOS	LOGNORMAL MOMENTOS 2 P	LOGNORMAL MOMENTOS 3 P	NORMAL MOMENTOS	OPTIMIZACIÓN DE LA DOBLE GUMBEL
2	855	919	903	807	1118	936	970	1346	945
5	1601	2194	2159	1951	2347	1918	2079	2514	1730
10	3288	3158	3109	2939	3161	2791	2969	3127	3187
20	4628	4123	4042	3940	3942	3804	3936	3634	6162
50	6160	5398	5212	5176	4953	5391	5355	4205	9461
100	7258	6362	6004	5961	5710	6803	6547	4585	11771
200	8335	7326	6671	6557	6465	8415	7851	4932	14020
500	9747	8601	7303	7050	7461	10893	9764	5354	16955
1000	10809	9566	7592	7257	8213	13082	11385	5649	19157
2000	11855	10530	7768	7369	8966	15555	13149	5928	21360
5000	13260	11805	7882	7440	9960	18995	15516	6275	24274
10000	14372	12769	7926	7464	10712	22288	17703	6524	26442

De la tabla anterior se observa que el gasto para el Tr de 10 000 años correspondiente a la función Doble Gumbel (optimizada) es el mayor con respecto a las otras funciones, sin embargo esta situación no es relevante ya que para calcular la curva N, para la cuenca total del río Piaxtla, se tomó la decisión de calibrarla con el periodo de retorno de 10 años, período que se encuentra precisamente dentro del rango de registros de gastos máximos anuales.

Es importante señalar que los gastos generados para el Tr de 10 años mediante los diferentes criterios señalados (Exponencial, Gamma, LogNormal, etc.), son muy semejantes entre sí, situación favorable para la calibración de la curva N.

El período de retorno de 100 años se usó únicamente en forma comparativa.

Por lo tanto, los gastos a los que se tiene que calibrar la curva N, mediante la aplicación de métodos indirectos para deducir los caudales son:

Optimización Función Doble Gumbel	
Tr (años)	Gasto (m ³ /s)
10	3187
100	11771

Finalmente y de manera comparativa se procesó el mismo análisis descrito anteriormente, pero ahora con el registro completo de datos de caudales máximos registrados en la estación hidrométrica, es decir el período 1958-2007, sin acotar el registro de observación.

Al igual que en el caso anterior, la mejor función de ajuste correspondió a la Gumbel de dos poblaciones.

Estos son los resultados a los que se llegó:

Optimización Función Doble Gumbel	
Tr (años)	Gasto (m ³ /s)
10	2411
100	10528

Como se puede observar, los valores de los gastos máximos correspondientes a los períodos de retorno son próximos entre sí, al considerar un registro acotado y el registro de datos completo, sin embargo se decidió continuar con los cálculos considerando el período corto (1968-1988), precisamente para ser congruentes con el período de observación de las lluvias máximas en 24 horas.

No hay que olvidar que los gastos interpolados y extrapolados son en el sitio de la estación hidrométrica.

4. DETERMINACIÓN DE LA CURVA “N_E” Y RETENCIÓN POTENCIAL “S_E” MEDIANTE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA DEL RÍO PIAXTLA.

Ahora bien, en este capítulo se deducirán las avenidas en el sitio de la estación hidrométrica mediante la relación lluvia-escurrecimiento, suponiendo que no existe ninguna estación hidrométrica que registre avenidas máximas anuales en ese sitio.

Mediante el criterio hidrológico del I-Pai-Wu, y mediante prueba y error en la calibración de la curva N_E es decir, proponiendo diferentes valores de N_E hasta hacer coincidir los deducidos en el capítulo 3, así como considerando las características fisiográficas de la cuenca, se pretende obtener las avenidas para los Tr de 10 y 100 años.

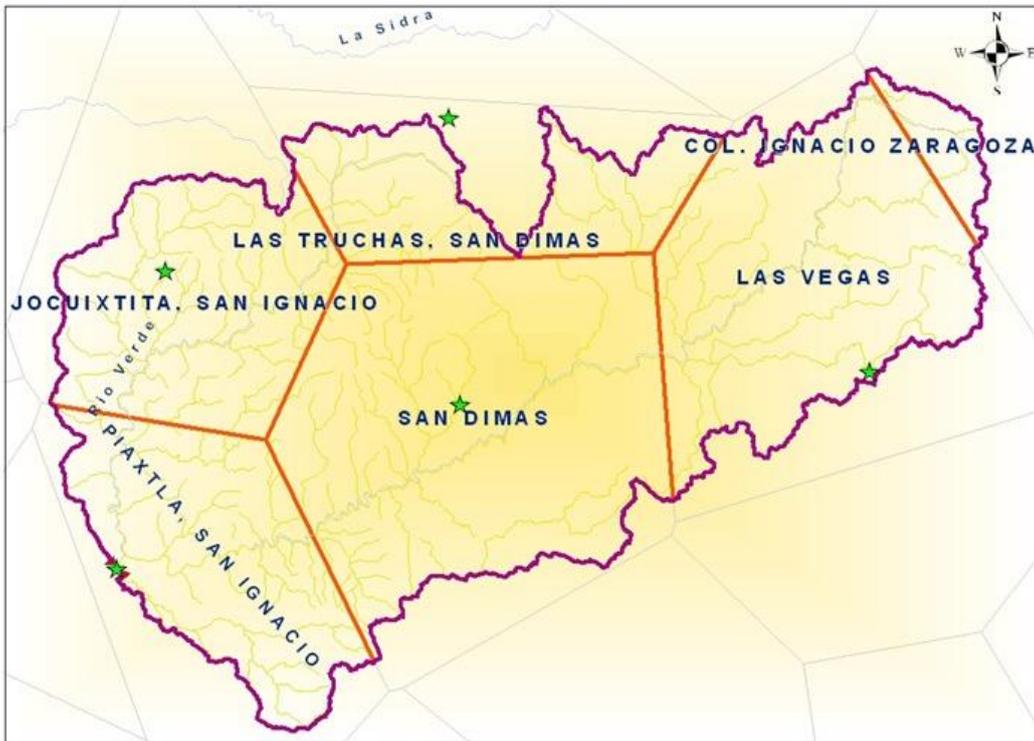
Una vez que se ha establecido el valor N_E, se deduce el valor de la infiltración máxima S_E, mediante la ecuación:

$$SE = \frac{2540 - (25.4 * NE)}{NE}$$

Por lo tanto, se procedió a determinar las características principales de la cuenca total del río Piaxtla como son; área, pendiente, longitud del cauce principal, lluvia máxima en 24 horas, etc., variables hidrológicas que requiere el modelo sintético del I-Pai-Wu.

Por otra parte, al aplicar los polígonos de Thiessen se encontraron 6 estaciones climatológicas que tienen influencia directa sobre la superficie de la cuenca, siendo estas; Piaxtla, Jocuixtita, Las Truchas, Zaragoza, Las Vegas y San Dimas. Esta información se muestra en el plano 4.1.

Plano 4.1 Polígonos de Thiessen para la cuenca del río Piaxtla.



Las superficies correspondientes a las áreas de influencia de cada estación climatológica son las que se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Áreas de influencia de las estaciones climatológicas sobre la cuenca.

Estación Climatológica	Superficie (km ²)
• Piactla	814.5
• Jocuixtita	857.1
• Las Truchas	569.6
• Zaragoza	117.0
• Las Vegas	1209.7
• San Dimas	1697.0
Área total de la cuenca (km ²)	5265.0

Posteriormente, para contar con una muestra representativa de la cuenca del río Piaxtla con respecto a los eventos máximos de lluvia (tablas 4.2 a la 4.7), los registros de tormentas máximas en 24 horas de cada una de las estaciones mencionadas, se “pesaron” con respecto a su área de influencia, es decir que al multiplicar el factor de “peso” de cada estación climatológica por la lluvia, se obtuvo el valor parcial de dicha tormenta máxima, en la siguiente tabla se muestra un ejemplo de lo comentado.

Ejemplo para el mes de enero del registro de lluvias máximas para el año 1968

(Estación Piaxtla).

Estación	Área parcial de la cuenca (Km ²)	Factor (Adimensional)	Lluvia parcial ponderada
Piaxtla	814.5	$\frac{(\text{Área parcial}) 814.5}{(\text{Área Total}) 5265} = 0.15471$	$0.15471 \times 24.3 = 3.8 \text{ mm}$

Lluvia máxima registrada, en 24 horas sin afectar, en la estación Piaxtla

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PIAXTLA													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	24.3	31.1	18.6	1.6	0.2	7.1	25.6	28.6	195.1	6.3	60.1	20.1	195.1

Lluvia ponderada en 24 horas en la estación Piaxtla

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PIAXTLA													
Datos de precipitación máxima (Ponderada) en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	3.8	4.8	2.9	0.3	0.0	1.1	4.0	4.4	30.2	1.0	9.3	3.1	30.2

En la tabla siguiente se muestran los factores de “peso” de cada estación.

Estación climatológica	Área en la cuenca en km ²	Factor de “peso”
Piaxtla	814.5	0.154710
Jocuitita	857.1	0.162794
Las Truchas	569.6	0.108189
Zaragoza	117.0	0.022224
Las Vegas	1209.7	0.229767
San Dimas	1697.0	0.322316
Suma=	5265	1.00

Finalmente, para llegar a los resultados de la tabla 4.8, se sumó mes a mes los datos de la lluvia ponderada (máxima en 24 horas) de cada una de las estaciones que tienen influencia en la

cuenca y de esta forma contar con la lluvia máxima representativa para la cuenca total, cuyos resultados precisamente se muestran en la tabla 4.8 y esquemáticamente en la Gráfica 4.1.

Tabla 4.2 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Piaxtla

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA PIAXTLA													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	24,3	31,1	18,6	1,6	0,2	7,1	25,6	28,6	195,1	6,3	60,1	20,1	195,1
1969	4,8	5,6	0,0	0,0	1,7	4,8	19,6	40,3	30,7	62,4	1,9	21,0	62,4
1970	19,1	11,1	1,3	0,0	2,0	14,2	68,7	27,4	46,1	0,7	2,0	0,3	68,7
1971	1,0	0,0	0,0	0,0	0,1	83,8	80,0	40,4	41,4	56,4	0,0	4,3	83,8
1972	22,2	0,4	0,0	0,0	0,0	29,0	67,5	52,9	29,7	170,0	112,3	93,9	170,0
1973	6,0	33,2	2,7	0,0	0,0	5,8	46,7	121,6	62,9	15,3	0,0	0,0	121,6
1974	0,2	0,0	2,0	0,0	12,6	57,5	47,5	52,5	55,5	33,4	12,8	61,7	61,7
1975	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	26,2	125,5	0,0	0,3	54,2	38,0	52,0	125,5
1976	1,0	0,6	0,0	0,0	30,8	10,5	22,0	0,0	2,5	0,0	7,0	43,4	43,4
1977	73,4	3,1	7,1	0,0	69,6	73,5	23,7	74,5	0,3	54,2	38,0	52,0	74,5
1978	0,0	0,0	30,8	10,5	22,0	0,0	2,5	0,0	7,0	43,4	73,4	69,6	73,4
1979	73,5	23,7	4,0	0,0	0,0	0,3	54,2	38,0	52,0	0,0	0,0	30,8	73,5
1980	10,5	22,0	0,0	2,5	0,0	7,0	43,4	73,4	69,6	73,5	23,7	4,0	73,5
1981	31,5	0,0	5,6	1,3	0,0	20,5	66,5	52,5	56,7	107,5	0,0	6,0	107,5
1982	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,2	64,0	61,2	42,0	35,2	36,7	51,0	64,0
1983	22,0	15,0	103,3	10,0	13,0	0,0	53,5	62,0	49,5	82,4	12,8	31,0	103,3
1984	42,0	0,0	0,0	1,2	31,1	32,4	57,3	34,6	47,1	6,6	37,2	45,0	57,3
1985	27,2	0,6	0,0	0,0	0,0	41,0	53,4	54,0	54,5	85,0	2,5	13,0	85,0
1986	1,0	13,3	0,0	0,8	0,0	21,2	93,6	55,9	34,0	60,6	0,1	18,6	93,6
1987	8,6	8,0	0,0	2,9	5,5	0,0	56,7	35,2	28,0	3,7	6,0	17,2	56,7
1988	0,0	0,0	2,7	0,1	0,0	16,7	69,5	67,5	76,6	0,0	0,0	20,0	76,6

Tabla 4.3 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Jocuixtita

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA JOCUIXTITA													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	23,0	34,0	21,0	5,1	0,9	12,5	25,5	34,2	169,0	8,7	43,4	15,8	169,0
1969	6,2	10,2	0,0	0,0	6,4	8,9	19,8	21,9	22,7	46,4	4,3	20,4	46,4
1970	25,1	18,5	3,7	0,0	2,3	12,3	55,3	20,7	30,5	3,4	10,3	1,4	55,3
1971	0,7	2,2	0,0	0,2	0,2	38,0	43,8	21,2	16,5	37,2	0,0	6,8	43,8
1972	30,6	1,2	0,0	0,0	0,0	62,0	32,0	43,0	34,5	115,0	160,0	60,2	160,0
1973	10,0	40,9	6,5	2,4	3,0	36,0	40,5	70,5	65,5	13,5	0,0	22,0	70,5
1974	1,0	0,0	10,0	0,0	20,2	30,0	45,2	60,0	84,5	60,5	19,5	80,9	84,5
1975	5,0	3,0	0,0	0,0	0,0	28,0	48,5	54,0	55,0	27,0	15,0	2,5	55,0
1976	2,0	3,0	0,0	0,5	1,0	53,5	40,0	34,0	75,5	80,0	23,0	23,6	80,0
1977	23,0	12,0	25,0	0,0	17,7	74,0	29,0	29,5	50,0	17,8	8,5	0,0	74,0
1978	0,0	23,5	0,0	1,9	5,5	27,0	34,0	42,0	37,5	23,0	13,0	40,0	42,0
1979	21,0	21,0	4,0	0,0	6,0	7,9	25,1	34,0	26,0	0,0	0,0	15,0	34,0
1980	12,0	8,0	2,0	12,0	0,0	25,0	23,0	53,0	34,0	80,0	66,0	20,0	80,0
1981	40,0	7,0	20,0	10,0	0,0	34,0	51,0	43,0	50,0	50,0	0,0	6,0	51,0
1982	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	21,6	40,0	53,0	7,5	70,0	84,0	84,0
1983	28,0	4,0	76,0	24,0	20,0	30,0	24,0	56,0	42,0	82,0	15,0	22,0	82,0
1984	34,1	0,0	0,6	0,5	10,5	22,8	45,4	22,7	29,8	7,9	37,8	52,8	52,8
1985	40,0	2,0	5,5	0,0	0,0	80,0	66,0	34,0	26,0	200,0	4,0	10,0	200,0
1986	0,0	11,0	0,0	9,0	0,0	19,6	70,0	50,0	34,0	68,0	0,0	46,0	70,0
1987	13,0	6,0	0,0	9,0	20,0	51,0	60,0	21,0	40,0	10,0	0,0	15,0	60,0
1988	0,0	3,0	0,0	3,0	0,0	3,0	22,8	59,5	42,5	5,3	0,0	21,1	59,5

Tabla 4.4 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Las Truchas

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LAS TRUCHAS													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	63,0	26,0	36,0	16,0	4,0	54,0	39,0	31,0	125,0	15,0	37,0	40,0	125,0
1969	10,0	19,0	0,0	0,0	27,0	32,0	34,0	30,0	34,0	64,0	18,0	80,0	80,0
1970	77,0	56,0	18,0	0,0	2,0	30,0	33,0	35,0	47,0	0,0	1,0	0,0	77,0
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,0	41,0	45,0	30,0	30,0	0,0	21,0	45,0
1972	78,0	4,0	2,0	0,0	22,0	25,0	25,0	34,0	43,0	72,0	151,0	48,0	151,0
1973	31,0	52,0	5,0	7,0	3,0	34,0	34,0	61,0	28,0	7,0	0,0	14,0	61,0
1974	1,0	0,0	15,0	4,0	35,0	25,0	43,0	25,0	55,0	16,0	17,0	98,0	98,0
1975	12,0	9,0	0,0	0,0	3,0	56,0	21,0	32,0	33,0	29,0	3,0	23,0	56,0
1976	18,0	5,0	14,0	8,0	15,0	44,0	43,0	25,0	26,0	88,0	25,0	62,0	88,0
1977	42,0	0,0	22,0	2,0	9,0	35,0	49,0	27,0	40,0	27,0	13,0	0,0	49,0
1978	18,0	49,0	0,0	6,0	30,0	25,0	39,0	34,0	26,0	16,0	22,0	29,0	49,0
1979	103,0	47,0	0,0	4,0	4,0	30,0	30,0	24,0	10,0	0,0	0,0	83,0	103,0
1980	18,0	48,0	18,0	10,0	2,0	44,0	26,0	47,0	23,0	53,0	61,0	43,0	61,0
1981	38,0	11,0	36,0	37,0	22,0	30,0	62,0	38,0	35,0	41,5	8,0	22,0	62,0
1982	24,0	1,0	0,0	8,0	2,5	27,0	29,0	35,0	14,0	15,0	98,0	64,0	98,0
1983	19,4	4,2	50,0	16,0	19,0	14,0	22,0	28,0	27,0	56,0	14,0	29,0	56,0
1984	23,0	0,0	3,0	1,5	33,0	33,0	67,0	26,0	22,0	32,0	65,0	70,0	70,0
1985	81,0	7,0	6,0	12,0	11,0	55,0	17,0	42,5	20,2	173,0	3,1	7,7	173,0
1986	0,2	8,4	0,0	7,1	0,0	20,0	54,8	46,6	26,1	68,0	0,0	46,0	68,0
1987	13,0	6,0	0,0	9,0	15,3	39,1	46,3	16,2	37,2	7,7	1,4	12,0	46,3
1988	0,0	2,3	0,7	2,4	0,0	3,9	31,2	57,6	50,3	4,1	0,0	19,9	57,6
Promedio	31,9	16,9	10,7	7,1	12,3	33,4	37,4	35,2	35,8	38,8	25,6	38,6	79,7
Máximo	103,0	56,0	50,0	37,0	35,0	56,0	67,0	61,0	125,0	173,0	151,0	98,0	173,0
Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	17,0	16,2	10,0	0,0	0,0	0,0	45,0

Tabla 4.5 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. I. Zaragoza

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA IGNACIO ZARAGOZA													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	21,5	14,9	42,2	7,2	6,7	17,7	23,6	22,4	68,8	13,0	24,0	29,1	68,8
1969	9,2	16,7	2,1	0,0	6,6	14,5	20,0	21,9	26,4	16,3	16,8	23,3	26,4
1970	25,5	26,0	5,0	0,0	0,0	19,0	15,3	65,5	48,7	26,0	0,0	0,0	65,5
1971	14,5	0,0	0,0	0,0	11,5	51,0	26,5	16,0	11,3	15,0	0,0	5,0	51,0
1972	25,0	0,0	0,0	0,0	30,0	32,0	12,0	39,0	17,0	7,0	40,0	0,0	40,0
1973	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	32,0	21,0	34,0	20,0	7,5	0,0	2,0	34,0
1974	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	40,0	20,0	17,5	3,0	4,5	45,5	45,5
1975	1,5	2,5	0,0	0,0	0,0	29,0	52,0	24,0	6,0	35,5	0,0	6,5	52,0
1976	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	52,5	43,0	14,5	41,5	16,0	16,5	11,0	52,5
1977	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,5	22,0	24,5	11,5	27,0	0,0	0,0	30,5
1978	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	12,5	36,0	22,0	30,0	33,0	7,5	7,5	36,0
1979	37,0	14,0	0,0	2,0	0,0	19,0	20,5	27,0	14,0	0,0	3,5	4,0	37,0
1980	8,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,0	39,0	24,5	19,0	24,5	16,5	2,0	39,0
1981	12,5	0,0	8,0	15,5	0,0	9,5	33,0	36,0	38,0	16,5	10,5	15,0	38,0
1982	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	27,0	19,0	7,0	11,5	45,0	17,0	45,0
1983	11,5	7,5	19,0	0,0	23,0	9,0	24,0	20,0	39,5	29,0	10,0	6,8	39,5
1984	30,8	0,0	0,0	1,3	7,4	16,4	29,4	13,6	12,0	7,5	13,6	15,1	30,8
1985	55,7	3,6	1,2	0,8	9,4	19,4	19,6	18,4	6,5	19,5	0,3	17,5	55,7
1986	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	21,0	32,0	23,0	43,0	21,0	2,5	26,0	43,0
1987	5,0	17,0	0,0	0,0	0,0	9,7	18,6	14,9	17,5	4,0	0,0	0,0	18,6
1988	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	11,0	22,0	18,0	18,0	10,2	6,1	19,7	22,0

Tabla 4.6 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. Las Vegas

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA LAS VEGAS													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	28,2	17,3	34,4	10,1	7,0	25,2	24,6	30,1	81,6	11,5	30,0	32,1	81,6
1969	13,6	8,1	6,0	0,0	6,4	33,7	27,6	31,2	15,8	6,5	24,8	30,2	33,7
1970	34,7	38,4	14,1	0,0	0,0	23,1	45,0	23,0	44,2	0,0	0,0	0,0	45,0
1971	6,8	0,0	0,0	0,0	20,2	56,2	18,2	25,2	38,9	36,2	0,0	8,6	56,2
1972	60,0	7,1	4,4	0,0	26,2	21,6	18,5	25,2	28,0	15,3	71,5	42,2	71,5
1973	24,2	24,2	0,0	0,0	2,6	20,2	35,5	40,4	19,2	7,0	0,0	6,3	40,4
1974	0,0	0,0	7,8	2,7	12,6	10,6	19,2	14,6	19,2	0,6	16,3	76,5	76,5
1975	5,1	10,5	0,0	0,0	14,3	20,3	40,2	40,2	18,5	40,7	0,0	5,1	40,7
1976	15,5	1,2	0,0	29,5	6,3	57,7	28,8	12,1	18,6	53,5	24,7	17,8	57,7
1977	28,5	0,0	0,0	0,0	2,7	44,7	25,5	20,0	28,5	29,4	1,5	0,0	44,7
1978	4,5	14,9	7,9	0,4	2,8	15,6	19,1	16,0	22,4	11,5	10,0	15,0	22,4
1979	49,7	27,8	0,0	6,8	0,6	23,0	17,7	37,4	20,0	0,0	0,0	20,0	49,7
1980	16,5	21,5	2,1	7,5	0,0	5,4	14,6	27,5	25,0	42,0	52,2	4,5	52,2
1981	15,0	9,0	20,0	9,2	1,7	17,2	24,0	20,0	32,0	27,0	0,0	4,5	32,0
1982	14,5	0,0	0,0	4,0	0,0	24,0	22,0	20,0	25,0	5,7	42,7	33,0	42,7
1983	6,0	11,5	12,0	18,0	27,7	7,0	22,0	33,0	35,0	68,0	7,4	14,8	68,0
1984	31,6	0,0	0,0	1,1	9,6	22,9	25,0	20,2	15,9	7,2	12,5	15,5	31,6
1985	48,4	5,2	1,2	1,5	13,0	17,4	22,0	23,1	9,4	32,7	0,3	19,7	48,4
1986	0,0	15,2	0,0	4,7	11,5	15,6	25,0	14,9	25,1	46,3	1,3	18,7	46,3
1987	8,4	16,1	0,0	3,4	9,7	12,9	17,4	17,6	15,0	2,9	7,9	15,3	17,6
1988	5,9	0,2	7,1	13,3	2,1	23,9	19,7	33,3	23,9	14,7	6,1	27,4	33,3

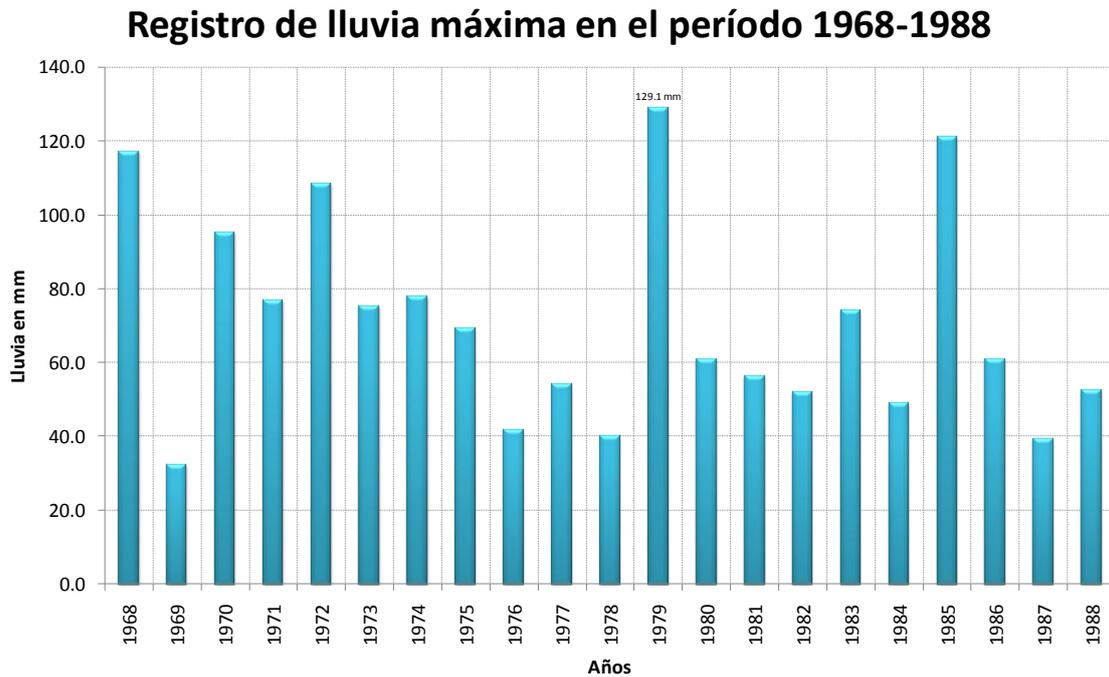
Tabla 4.7 Registros mensuales y anuales de lluvia máxima en 24 horas, E.C. San Dimas

ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA SAN DIMAS													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	17,1	9,6	50,2	3,7	0,0	40,4	41,2	40,0	80,0	20,0	60,2	19,4	80,0
1969	5,5	5,1	0,0	0,0	3,7	9,1	20,8	16,0	49,0	7,4	2,0	15,5	49,0
1970	0,0	20,0	7,5	0,0	12,0	32,0	190,0	19,6	45,0	0,0	0,0	0,0	190,0
1971	4,0	10,5	0,0	0,0	1,0	120,0	56,0	35,0	49,2	54,2	0,0	17,0	120,0
1972	47,0	4,0	0,0	0,0	6,5	55,0	41,0	40,0	27,0	30,5	97,0	47,0	97,0
1973	12,3	32,0	0,5	12,0	0,0	30,2	90,0	88,0	35,2	24,5	0,0	0,0	90,0
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	23,0	60,0	20,0	9,0	1,0	80,0	80,0
1975	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	91,0	84,5	40,2	9,0	0,0	0,0	91,0
1976	4,5	0,0	9,5	0,0	0,0	20,0	56,0	30,0	42,0	20,0	12,0	32,0	56,0
1977	85,5	6,0	0,0	0,0	25,0	21,0	50,2	70,1	34,0	30,0	7,0	0,0	85,5
1978	8,1	37,0	30,0	1,5	5,0	21,0	30,0	25,1	75,0	26,0	12,5	13,0	75,0
1979	282,1	29,0	0,0	0,0	2,0	44,4	77,0	33,0	28,0	0,0	0,0	31,0	282,1
1980	16,0	23,0	0,1	4,4	0,0	21,5	24,5	71,0	29,0	64,0	30,0	13,0	71,0
1981	37,0	0,0	18,2	5,5	3,5	41,2	59,2	46,2	85,0	34,0	0,8	7,1	85,0
1982	17,0	0,0	0,0	1,0	0,0	24,0	72,0	55,0	36,0	9,5	41,0	33,5	72,0
1983	33,0	47,0	115,0	12,9	20,0	17,5	25,0	39,0	61,0	57,0	20,0	32,0	115,0
1984	70,0	0,0	0,0	0,0	6,0	43,5	28,5	40,0	20,0	0,0	32,0	67,4	70,0
1985	62,0	4,1	9,8	13,0	0,0	39,0	38,9	20,2	26,8	151,4	2,3	5,8	151,4
1986	0,4	6,4	0,0	5,6	0,0	20,2	45,6	43,8	19,8	68,0	0,0	46,0	68,0
1987	13,0	6,0	0,0	9,0	11,6	29,6	35,3	14,7	34,9	5,8	2,6	10,3	35,3
1988	0,0	1,7	1,2	1,8	0,0	7,0	40,4	56,1	56,7	3,1	0,0	18,9	56,7

Tabla 4.8 Lluvia máxima en 24 horas representativa de la cuenca del río Piaxtla.

PRECIPITACIÓN MÁXIMA PONDERADA PARA LA CUENCA TOTAL													
Datos de precipitación máxima en mm.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1968	26,8	20,5	35,2	6,5	2,4	28,2	31,8	33,7	117,3	13,4	47,2	24,3	117,3
1969	7,9	8,5	1,4	0,0	7,0	16,7	23,4	25,9	32,1	28,4	9,6	27,7	32,1
1970	23,9	26,6	8,5	0,0	4,8	23,5	95,1	24,4	42,9	1,2	2,1	0,3	95,1
1971	3,5	3,7	0,0	0,0	5,3	76,8	46,8	32,0	37,4	44,1	0,0	11,6	76,8
1972	46,3	3,6	1,2	0,0	11,2	40,7	36,1	38,4	30,4	66,3	108,3	54,4	108,3
1973	15,4	33,6	2,2	5,0	1,4	25,5	55,1	75,3	39,6	15,0	0,0	6,6	75,3
1974	0,3	0,0	5,4	1,1	11,9	29,0	32,1	43,7	39,5	19,9	11,2	77,7	77,7
1975	5,9	4,0	0,0	0,0	3,6	20,9	69,3	49,3	29,9	29,0	8,6	12,3	69,3
1976	7,4	1,4	4,6	7,7	8,0	36,0	40,2	21,0	34,2	41,6	17,4	31,9	41,6
1977	54,2	4,4	7,5	0,2	23,3	44,9	36,2	47,0	30,3	31,2	11,3	8,0	54,2
1978	5,6	24,7	16,2	3,1	9,8	17,7	25,0	22,8	40,0	23,9	22,3	28,2	40,0
1979	129,1	28,2	1,3	2,0	2,2	24,6	45,1	33,8	27,3	0,0	0,1	30,9	129,1
1980	14,7	22,4	2,8	6,6	0,2	18,1	25,4	54,8	34,3	61,0	43,0	13,8	61,0
1981	31,1	4,4	18,7	10,1	3,9	29,4	50,6	39,5	56,3	46,8	1,4	7,9	56,3
1982	15,2	0,1	0,0	2,1	0,3	22,6	45,4	42,5	34,1	12,9	51,7	47,2	51,7
1983	22,3	21,4	74,0	15,5	20,6	13,9	28,2	42,3	46,0	66,8	14,3	25,4	74,0
1984	45,0	0,0	0,4	0,7	14,4	31,9	39,1	29,7	24,9	7,6	32,4	48,7	48,7
1985	51,8	3,8	5,0	5,8	4,4	42,3	38,9	30,7	25,8	121,2	2,2	11,3	121,2
1986	0,3	10,4	0,0	5,2	2,6	19,2	53,0	39,9	26,7	60,8	0,4	35,0	60,8
1987	11,1	8,9	0,0	6,6	11,7	25,2	39,4	19,7	29,9	5,7	3,7	13,2	39,4
1988	1,4	1,3	2,5	4,6	0,5	11,5	35,9	52,5	48,4	5,9	1,5	21,5	52,5

Gráfica 4.1 Lluvia máxima en el período 1968-1988.



Posteriormente, la información de las precipitaciones máximas en 24 horas contenidas en la tabla 4.8 (datos de la última columna), se ajustaron a diferentes funciones de distribución de probabilidad, a través del programa Ax del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), eligiendo aquella función que presentó el mejor ajuste a la muestra de datos que en este caso fue la función Doble Gumbel o de dos poblaciones, los análisis se presentan en la tabla 4.9.

Tabla 4.9 Ajuste de la muestra de Lluvias Máximas Anuales con diferentes distribuciones de probabilidad, valores de error cuadrático

Función	Momentos		Máxima verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	8.2		8.2	
Lognormal	6.7	6.6	6.9	7.3
Gumbel	6.5		7.4	
Exponencial	7.9		31.5	
Gamma	6.4	6.4	7.0	5.9
Doble Gumbel	3.8			

De la función Doble Gumbel, se realizaron extrapolaciones para diferentes períodos de retorno y por supuesto para 10 y 100 años cuyos resultados son 120.87 y 143.06 mm de lluvia, respectivamente.

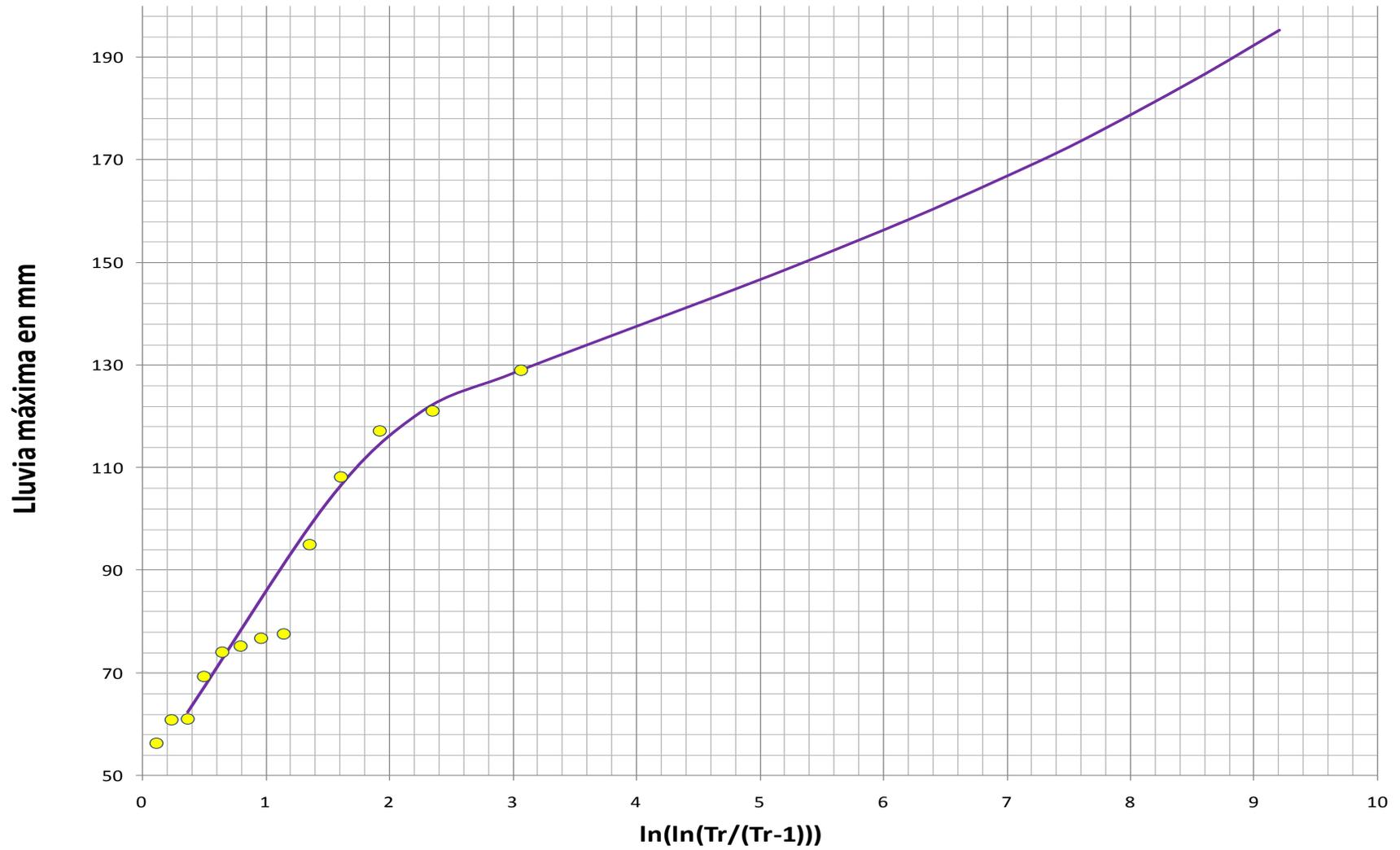
Ahora bien, al graficar los datos de las lluvias extrapoladas y graficarlas en papel logarítmico se observó que tiene un comportamiento extraño, el cual no corresponde a la idea de la función Doble Gumbel, de acuerdo con la cual la pendiente de la segunda población debería ser mayor.

El dibujo de ajuste se presenta en la Gráfica 4.2.

Doble Gumbel

Período de retorno en años (Tr)	Lluvia máxima (mm)
2	62.48
5	103.44
10	120.87
20	128.22
50	136.75
100	143.06
200	149.52
500	158.54
1000	165.91
2000	173.76
5000	185.62
10000	195.39

Gráfica 4.2 Lluvias máximas graficadas (papel logarítmico)



Ante tal situación, dentro de la serie de funciones analizadas se eligió la función Gumbel como representativa para la cuenca, ya que esta función de distribución también presenta un buen ajuste a la muestra de datos.

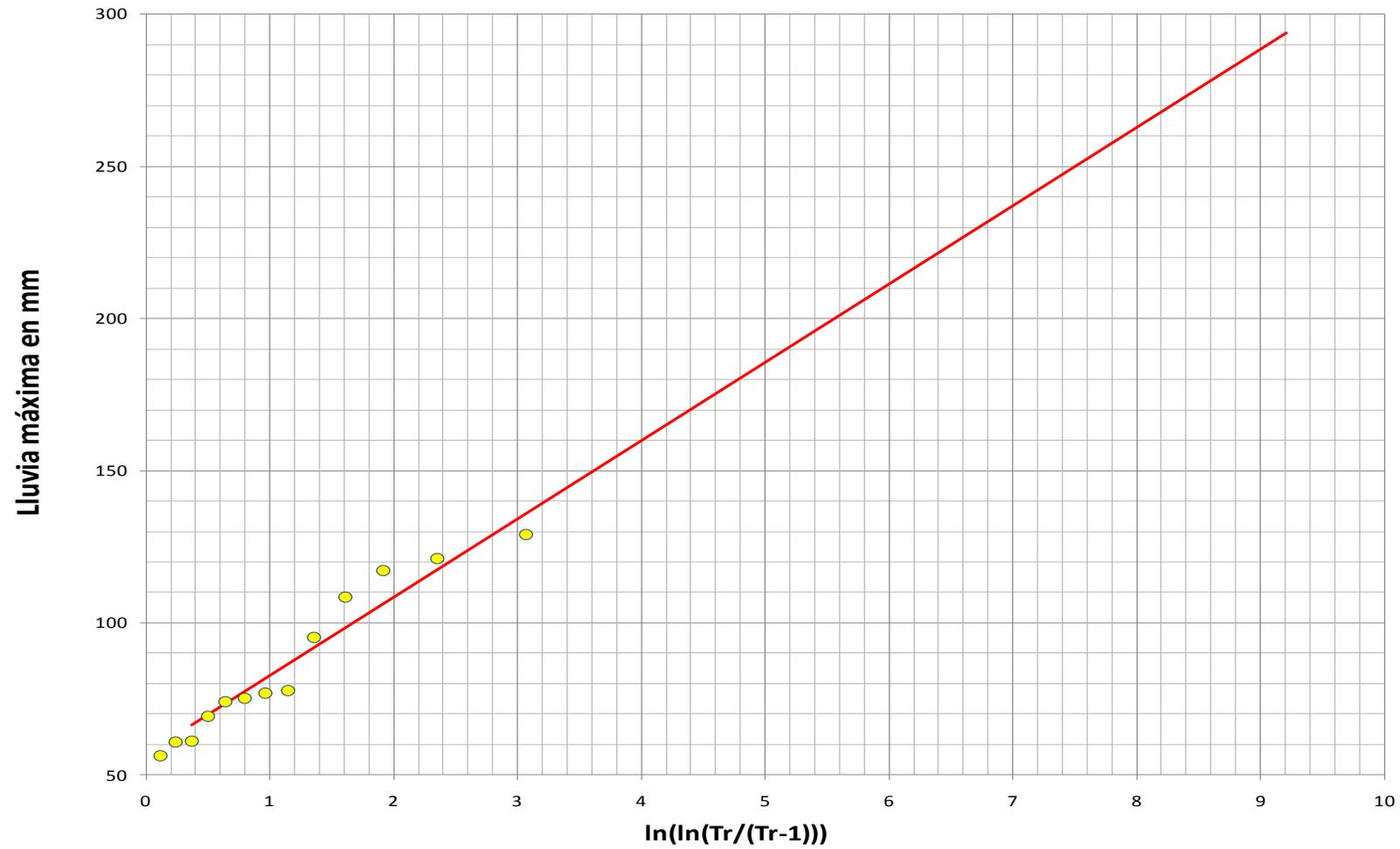
Los valores de las lluvias máximas en 24 horas relacionados a su respectivo período de retorno son las que se muestran a continuación.

Gumbel

Período de retorno en años (Tr)	Lluvia máxima (mm)
2	66.51
5	95.65
10	114.94
20	133.44
50	157.39
100	175.34
200	193.22
500	216.82
1000	234.65
2000	252.47
5000	276.03
10000	293.85

Al igual que en el caso anterior, los datos mostrados se graficaron en papel logarítmico los cuales se presentan en la gráfica 4.3.

Gráfica 4.3 Lluvias máximas graficadas de la función Gumbel (papel logarítmico)



Por lo tanto, los valores de la lluvia máxima en 24 horas, correspondiente a los períodos de retorno de **10 y 100 años son 114.94 y 175.34 mm** respectivamente.

Ahora bien, las características fisiográficas de la cuenca del río Piaxtla se obtuvieron de planos de Inegi escala 1:50 000, siendo estas las que se muestran en la tabla 4.10.

Tabla 4.10 Características principales de la cuenca del río Piaxtla

Características	Valor	Unidad
Área de la cuenca	5265	Km ²
Perímetro	623.1	Km
Desnivel total del río	2620	M
Coeficiente de rugosidad Manning	0.03	Adim.
Longitud total del río	188.675	Km
Pendiente Taylor-Schwarz	0.4681	%
Porcentaje de la zona boscosa	45	%

Con los datos de la Tabla 4.10 se procedió utilizar el modelo sintético de generación de avenidas I-Pai-Wu, el cual emplea precisamente las variables comentadas.

El método de I-Pai Wu fue deducido en pequeñas cuencas de Indiana, USA y permite obtener el hidrograma de la avenida que se estima para un determinado período de retorno. El método se basa en el modelo lineal propuesto por Nash para derivar los hidrogramas unitarios instantáneos, las ecuaciones son las siguientes:

$$Q_p = 0.278 \frac{A * P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

$$n = \frac{4 t_p}{K1}$$

$$f(n, t_p) = ((n - 1)^n * (e)^{1-n}) / \Gamma(n)$$

Donde:

f (n,t_p) = función de n y t_p.

Γ(n) = función Gamma de n.

$$tp = 0.93(A)^{1.085}(L)^{-1.233}(S)^{-0.668}$$

$$K1 = 0.73(A)^{0.937}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

En donde:

Qp = gasto de pico de la avenida, en m³/seg.

A = área de la cuenca, en Km².

L = longitud del cauce principal, en km.

S = pendiente promedio del cauce principal, en porcentaje y calculada en base a la fórmula de Taylor y Schwarz.

Pe = precipitación en exceso para la tormenta de diseño, en milímetros; Se calcula en base al numeración de la curva de escurrimiento, para la condición MEDIA de humedad en la cuenca y según el método del U.S. Soil Conservation Service.

$$Pe = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right) 2}{P + \left(\frac{20320}{N}\right) - 203.2}$$

tp = tiempo de pico, en horas. Es función de las características de la cuenca.

n = número de recipientes lineales que simulan la cuenca (parámetro) adicionalmente.

K1 = coeficiente de almacenaje, se puede relacionar con las características de la cuenca.

Al aplicar el método, mediante el empleo de un software que utiliza el modelo mencionado y mediante aproximaciones haciendo variar la curva N (prueba y error) se determinó que la curva N cuyos gastos se asemejan a los obtenidos mediante hidrometría (gastos máximos anuales) es N_E = 58.45, produciendo los gastos siguientes.

Resultados mediante lluvia-escurrimiento

Tr años	Gasto en m ³ /s
10	3186
100	8000

Resultados mediante hidrometría

Tr (años)	Gasto (m ³ /s)
10	3187
100	11771

Al efectuar la comparación con los análisis realizados de los registros de avenidas máximas, se observó que el caudal de 3186 m³/s correspondiente al período de retorno de 10 años, es muy semejante al obtenido por hidrometría (3187 m³/s), sin embargo para el Tr de 100 años existe

diferencia de gastos, ya que por hidrometría se obtuvo 11771 m³/s mientras que por relación lluvia escurrimiento el valor es de 8000 m³/s, no obstante esta situación se acepta ya que como se comentó con anterioridad, el Tr de 100 años es únicamente con fines comparativos.

En las tablas 4.11 y 4.12 se muestran los resultados del análisis comentado, en las que únicamente se hizo variar el valor de N y por supuesto los valores de las lluvias de acuerdo al período de retorno analizado.

Tabla 4.11 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10 años

1) DATOS

A =	5265 Km ²
L =	188.68 Km
S =	0.4681 %
N _h =	58.45 Adim.
Tr _{1h} =	55.06 mm
Tr _{24h} =	114.94 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.0195}(L)^{-1.233}(S)^{-0.668}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.0667}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

t _p =	26.32958288
K ₁ =	3.030012295

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 10 años

$$(P_d)_{Tr} = 117.44 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20320}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	25.0694187
------------------	------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	34
-----	----

$$f(n, t_p) = ((n - 1)^{n-2} * (e)^{1-n}) / \gamma(n)$$

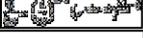
f(n, t _p) =	2.285964394
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A * P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	3185.76	m ³ /s
------------------	---------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p		Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	2.633	0.000	0.00
3	0.2	5.266	0.000	0.00
4	0.3	7.899	0.000	0.00
5	0.4	10.532	0.000	0.09
6	0.5	13.165	0.002	5.43
7	0.6	15.798	0.026	82.20
8	0.7	18.431	0.154	490.87
9	0.8	21.064	0.466	1484.32
10	0.9	23.697	0.838	2669.24
11	1	26.330	1.000	3185.76
12	1.1	28.963	0.857	2728.98
13	1.2	31.595	0.558	1777.67
14	1.3	34.228	0.289	920.08
15	1.4	36.861	0.123	391.52
16	1.5	39.494	0.044	140.72
17	1.6	42.127	0.014	43.67
18	1.7	44.760	0.004	11.91
19	1.8	47.393	0.001	2.90
20	1.9	50.026	0.000	0.64
21	2	52.659	0.000	0.13
22	2.1	55.292	0.000	0.02
23	2.2	57.925	0.000	0.00
24	2.3	60.558	0.000	0.00
25	2.4	63.191	0.000	0.00
26	2.5	65.824	0.000	0.00
27	2.6	68.457	0.000	0.00
28	2.7	71.090	0.000	0.00
29	2.8	73.723	0.000	0.00
30	2.9	76.356	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

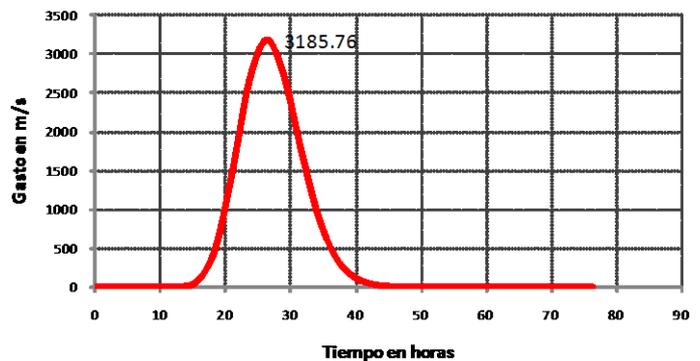


Tabla 4.12 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 100 años

1) DATOS

A = 5265 Km²
 L = 188.68 Km
 S = 0.4681 %
 N_{ii} = 58.45 Adim.
 Tr_{1h} = 83.99 mm
 Tr_{24h} = 175.34 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(L)^{1.015} (L)^{-1.233} (S)^{-0.658}$$

$$K_1 = 0.73(L)^{0.957} (L)^{-1.474} (S)^{-1.473}$$

t _p =	26.32958288
K ₁ =	3.030012295

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 100 años

(P_d)_{Tr} = 179.14 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20320}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	62.95735209
------------------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	34
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-2} (n)^{1-n}}{\gamma(n)}$$

f(n, t _p) =	2.285964394
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

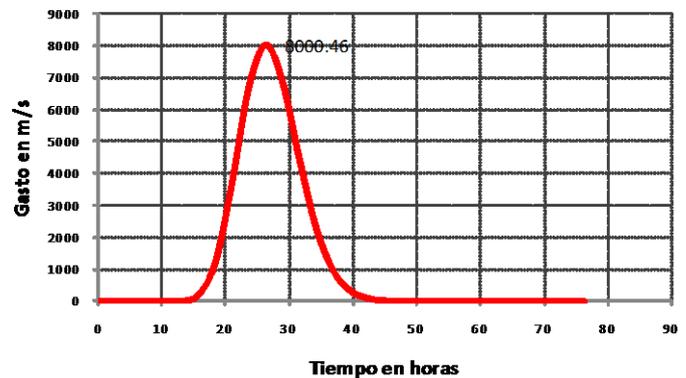
$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	8000.46	m ³ /s
------------------	---------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(\frac{t}{t_p}\right)^{n-2} \left(\frac{t}{t_p}\right)^{1-n}$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	2.633	0.000	0.00
3	0.2	5.266	0.000	0.00
4	0.3	7.899	0.000	0.00
5	0.4	10.532	0.000	0.23
6	0.5	13.165	0.002	13.65
7	0.6	15.798	0.026	206.44
8	0.7	18.431	0.154	1232.72
9	0.8	21.064	0.466	3727.59
10	0.9	23.697	0.838	6703.32
11	1	26.330	1.000	8000.46
12	1.1	28.963	0.857	6853.33
13	1.2	31.595	0.558	4464.29
14	1.3	34.228	0.289	2310.63
15	1.4	36.861	0.123	983.22
16	1.5	39.494	0.044	353.40
17	1.6	42.127	0.014	109.66
18	1.7	44.760	0.004	29.90
19	1.8	47.393	0.001	7.27
20	1.9	50.026	0.000	1.60
21	2	52.659	0.000	0.32
22	2.1	55.292	0.000	0.06
23	2.2	57.925	0.000	0.01
24	2.3	60.558	0.000	0.00
25	2.4	63.191	0.000	0.00
26	2.5	65.824	0.000	0.00
27	2.6	68.457	0.000	0.00
28	2.7	71.090	0.000	0.00
29	2.8	73.723	0.000	0.00
30	2.9	76.356	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu



Posteriormente, a la curva N_E propuesta ($N = 58.45$), se aplicó el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica para obtener la capacidad potencial de retención S_E , que considera los parámetros de retención de humedad del suelo (S_E) de donde se obtienen los números de curva (CN).

Se dedujo la capacidad potencial de retención S_E de la ecuación:

$$SE = \frac{2540 - (25.4 * NE)}{NE}$$

La que al sustituir el valor de $N_E = 55.8$ en la ecuación anterior se obtiene el valor siguiente de S_E :

$$SE = \frac{2540 - (25.4 * 58.45)}{58.45}$$

$$\therefore SE = 18.06 \text{ cm}$$

5. DETERMINACIÓN DE LA CURVA “ N_T ” Y RETENCIÓN POTENCIAL “ S_T ” MEDIANTE TABLAS, PARA LA CUENCA TOTAL DEL RÍO PIAXTLA

En este capítulo se expondrá la forma en que se dedujo el valor N_T , (Valor N de tablas), la cual se obtiene en función del uso y tipo de suelo predominante en la cuenca total (cuenca del río Piaxtla).

Al proponer el valor N de las tablas, en función de las características del suelo en la cuenca, se deducirá la infiltración potencial máxima (S_T).

Como es sabido las propiedades del un suelo o grupo de suelos son un factor esencial en el proceso de generación del escurrimiento a partir de la lluvia y por lo tanto debe ser clasificado de acuerdo a la velocidad de infiltración mínima obtenida por un suelo desnudo después de estar mojado suficiente tiempo.

El parámetro velocidad de infiltración es un indicador del potencial de escurrimiento del suelo, y es la base de clasificación de los suelos con fines hidrológicos por el SCS, cuyos grupos son A, B, C y D, estos se describen a continuación:

Grupo A: (Bajo potencial de escurrimiento), Son suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arenas gravas profundas y bien graduadas. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión.

Grupo B: Son suelos con moderadas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos arenosos menos profundos que los del grupo A y con drenaje medio, conteniendo valores intermedios de texturas finas a gruesas.

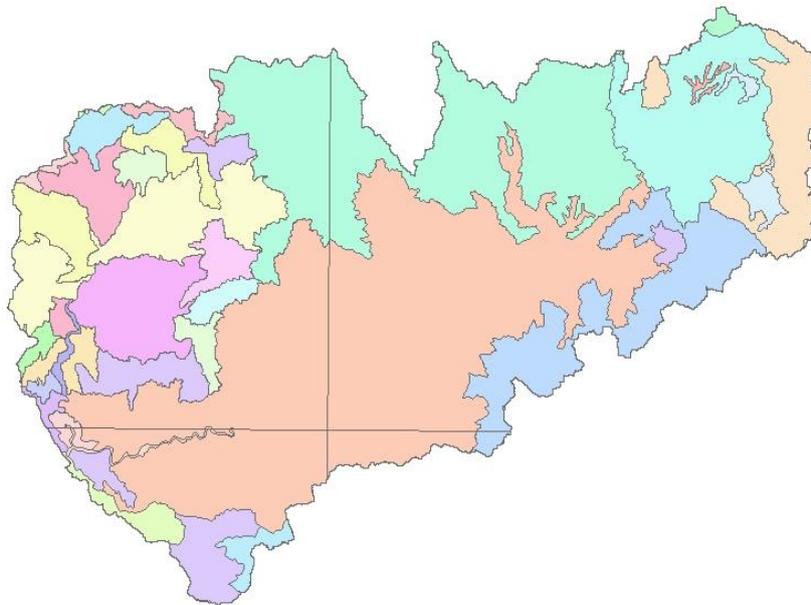
Grupo C: Son Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua, son suelos con texturas finas. Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.

Grupo D: (Alto potencial de escurrimiento), Son suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con estratos arcillosos cerca de su superficie o bien sobre un horizonte impermeable.

Ahora bien, la deducción del uso y tipo de suelo en la cuenca se determinó mediante las cartas de Edafología y Usos del Suelo, editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), las cuales contienen este tipo de información.

Para ello se elaboró un plano cuyo parteaguas confina la información existente en la cuenca y que contiene datos del tipo de suelo y el uso, esta información se muestra en los planos 5.1 y 5.2, así como en las tablas 5.1 y 5.2.

Plano 5.1 Tipos de suelo en la cuenca del río Piaxtla

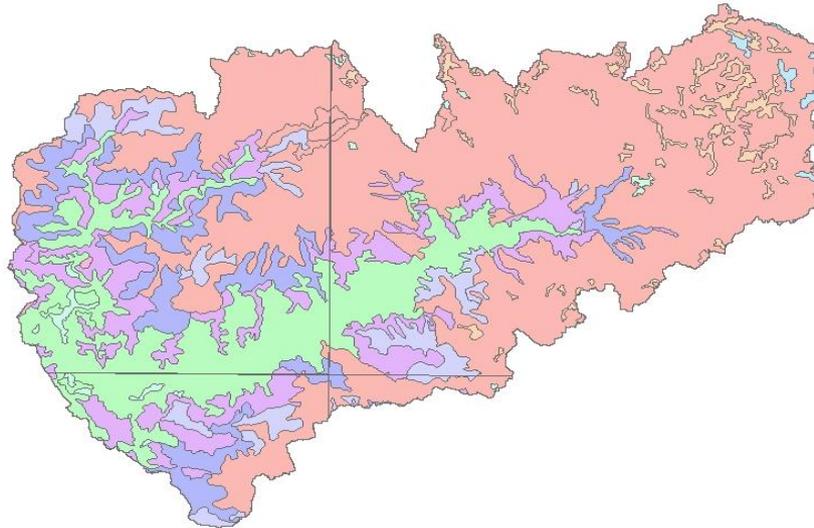


De acuerdo a la clasificación edafológica los suelos son:

Tabla 5.1 Edafología de la cuenca del río Piaxtla

Hh + I/2 =	Feozem Haplico combinado con Litosol de textura media	
I + Re/1 =	Litosol con Regosol Eutrico de textura gruesa	
Re + Hh/1/L =	Regosol Eutrico con Feozem Haplico de textura grueso	
Lo + Re/2/L =	Luvisol Ortico con Regosol Eutrico de textura media	

Plano 5.2 Usos de suelo en la cuenca del río Piactla



El uso del suelo en la cuenca total se clasifica de la siguiente forma:

Tabla 5.2 Usos del suelo y cubierta vegetal en la cuenca del río Piactla

Selva baja caducifolia	
Bosque de pino	
Área agrícola de temporal	
Otros tipos de vegetación; Chaparral y Praderas naturales	
Pastizal inducido	

De acuerdo a los tipos del suelo, coberturas y usos del terreno en la cuenca, se determinaron los valores de N respectivos, los que a su vez fueron “pesaron” con respecto a su área de predominio, para posteriormente obtener el valor N_T representativo de la cuenca, esta información se muestra en la tabla 5.3.

Por otra parte el método del SCS recomienda hacer un ajuste o corrección a la N de acuerdo a las condiciones iniciales de humedad del suelo, según la altura de precipitación acumulada cinco días antes de la fecha de la lluvia, de acuerdo a esto la curva estimada N_T tiene un valor de $N_T = 73.9$.

Tabla 5.3 Cálculo de la curva N

Cálculo de la Curva N de Escurrimiento para la Cuenca TOTAL del Río Piaxtla (Hasta la E.H.)

USO DEL SUELO	PRÁCTICA DE TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA EL GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			SUPERFICIE DE LA CUENCA (Km ²)	ÁREA EN %	CURVA N PONDERADA
			B	C	D			
Selva Baja, Matorral y Maleza	-----	Buena	-----	65	-----	893.3	16.97%	11.03
Bosques	-----	Regular	60	-----	-----	4193.9	79.66%	47.79
Siembra densa leguminosas o praderas con ratación	Cultivos de conservación	Buena	65	-----	-----	26.2	0.50%	0.32
Otros tipos de Vegetación; Praderas	-----	-----	-----	-----	78	20.5	0.39%	0.30
Áreas forestales, pastos o huertos, perennes o caducifolios	-----	Regular	65	-----	-----	131.0	2.49%	1.62
SUMA						5265.0	100%	61.1

73.9

Se concluye que la curva N de escurrimiento es 61, la cual al ser corregida por la precipitación antecedente se aplica la corrección $B = 1.21 * 61 = 74$

Tipos de suelo clasificados para la cuenca total

Tipo B: Arenas finas y limos

Tipo C: Arenas muy finas, limos y bastante arcilla

Tipo D: Arcillas en grandes cantidades; suelos poco profundos con subhorizonte casi impermeable (escurrimiento máximo)

Posteriormente y al igual que para el cálculo de la curva N_E , se aplicó la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica para obtener la S_T , que considera los parámetros de retención de humedad del suelo (S_T) de donde se obtienen los números de curva (CN).

Entonces la capacidad potencial de retención S_T se obtiene de la ecuación:

$$S_T = \frac{2540 - (25.4 * NT)}{NT}$$

Al sustituir el valor de $N_T = 73.9$, que fue obtenida de las características del uso y tipo de suelo, en la ecuación anterior se obtiene el valor siguiente de S_T :

$$S_T = \frac{2540 - (25.4 * 73.9)}{73.9558}$$

$$\therefore S_T = 8.97077 \text{ cm}$$

Ahora bien, una vez obtenidos los valores de las retenciones potenciales máximas para los casos S_E y S_T (retención potencial estadístico y retención potencial de tablas) se dedujo el coeficiente de ajuste N para la cuenca chica (cuenca Piaxtla 1), en función de la relación:

$$\text{Ajuste} = S_E / S_T = \frac{18.06}{8.97} = 2.01 \text{ Adimensional.}$$

6. DETERMINACIÓN DE LA CURVA “ N_T ” Y RETENCIÓN POTENCIAL “ S_T ” MEDIANTE TABLAS, PARA LA CUENCA PIAXTLA 1 (CUENCA CHICA)

Al igual que en el capítulo anterior, en esta sección se dedujo el valor N_T , en función del uso y tipo de suelo predominante en la cuenca Piaxtla 1 (cuenca chica), mediante la consulta y aplicación de las tablas N del SCS, para obtener el valor representativo de la curva de escurrimiento predominante en la cuenca, posteriormente se dedujo la infiltración potencial máxima en la cuenca (S_T).

Como es sabido, las propiedades del un suelo o grupo de suelos son un factor esencial en el proceso de generación del escurrimiento a partir de la lluvia y por lo tanto debe ser clasificado de acuerdo a la velocidad de infiltración mínima obtenida por un suelo desnudo después de estar mojado suficiente tiempo.

El parámetro velocidad de infiltración es un indicador del potencial de escurrimiento del suelo, y es la base de clasificación de los suelos con fines hidrológicos por el SCS, cuyos grupos son A, B, C y D.

Grupos de suelo:

Grupo A: (Bajo potencial de escurrimiento), Son suelos que tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de arenas, gravas profundas y bien graduadas. Estos suelos tienen altas velocidades de transmisión.

Grupo B: Son suelos con moderadas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos arenosos menos profundos que los del grupo A y con drenaje medio, conteniendo valores intermedios de texturas finas a gruesas.

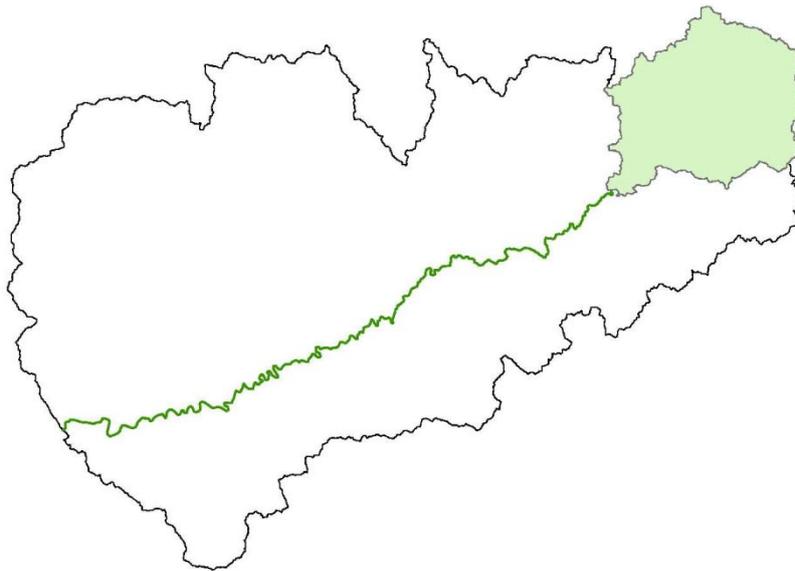
Grupo C: Son Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, consisten principalmente de suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua, son suelos con texturas finas. Estos suelos tienen bajas velocidades de transmisión.

Grupo D: (Alto potencial de escurrimiento), Son suelos que tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y consisten principalmente de suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con estratos arcillosos cerca de su superficie o bien sobre un horizonte impermeable.

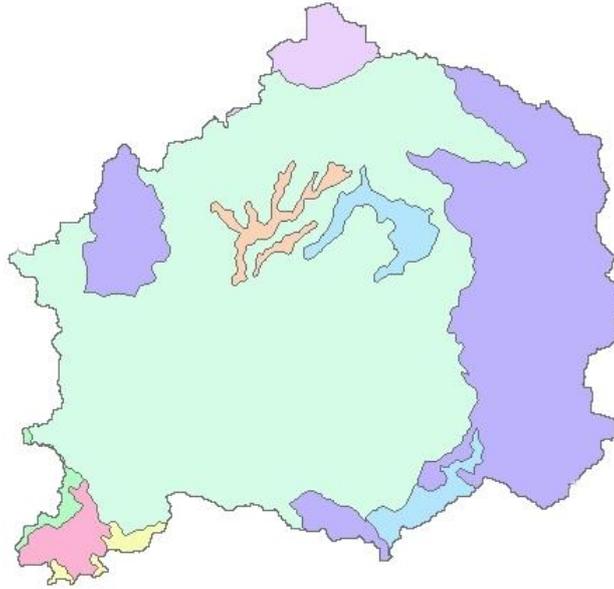
Ahora bien, la deducción del uso y tipo de suelo en la cuenca se determinó mediante las cartas de Edafología y Usos del Suelo, editadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) las cuales contienen este tipo de información.

Para ello se elaboró un plano cuyo parteaguas confina la información existente en la cuenca y que contiene datos del tipo de suelo y el uso, esta información se muestra en los planos 6.1, 6.2 y 6.3, así como en las tablas 6.1 y 6.2.

Plano 6.1 Posición de la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica), con respecto a la cuenca total



Plano 6.2 Tipos de suelo en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)

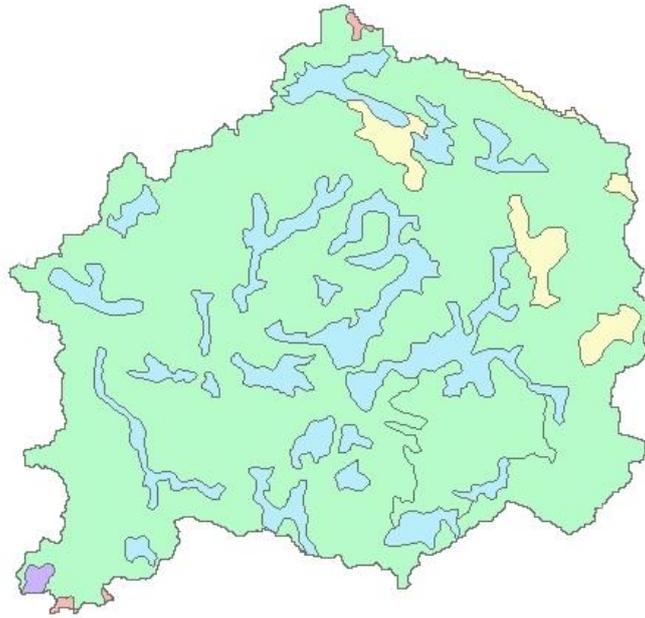


De acuerdo a la clasificación edafológica los suelos son:

Tabla 6.1 Edafología de la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)

Be+Re+La/2 =	Cambisol Eutrico, Regosol Eutrico, Luvisol Albico textura media	
Bh+Rd+Lo/2 =	Cambisol húmico, Regosol dístrico, Luvisol órtico textura media	
Re+l/2 =	Regosol Éutrico, Litosol de textura media	
U+l+Bc/2 =	Ranker, Litosol, Cambisol crómico textura media	
Hh+Lo/2 =	Feozem Haplico, Luvisol Órtico textura media	
l+U+Rd/2 =	Litosol, Ranker, Regosol dístrico textura media	

Plano 6.3 Usos de suelo en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)



El uso del suelo en la cuenca se clasifica de la siguiente forma:

Tabla 6.2 Usos del suelo y cubierta vegetal en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica)

Bosque	BOSQUE
Área agrícola	AREA AGRICOLA
Otros tipos de vegetación	OTROS TIPOS DE VEGETACION
Pastizal inducido	PASTIZAL

Al consultar las tablas N de acuerdo a los tipos del suelo, coberturas y usos del terreno en la cuenca, se determinó los valores de N respectivos, los cuales se “pesaron” para obtener el valor representativo de la cuenca, esta información se muestra en la tabla 6.3.

Por otra parte el método del SCS recomienda hacer un ajuste o corrección a la N de acuerdo a las condiciones iniciales de humedad del suelo, según la altura de precipitación acumulada cinco días antes de la fecha origen, por lo tanto al hacer el ajuste de la curva estimada N_T se llega a un valor de $N_T = 73.4$.

Tabla 6.3 Cálculo de la curva N

Cálculo de la Curva N de Escurrimiento para la Cuenca del Río Piaxtla 1

USO DEL SUELO	PRÁCTICA DE TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA EL GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO		SUPERFICIE DE LA CUENCA (Km ²)	ÁREA EN %	CURVA N PONDERADA
			B	C			
Bosques	-----	Regular	60	-----	405.0	80.11%	48.06
Cultivos en hilera, pradera con rotación de cultivos	Cultivos de conservación	Buena	69	-----	1.2	0.24%	0.17
Otros tipos de vegetación, barbechado	Cultivos de conservación	Buena	-----	88	17.6	3.49%	3.07
Pastizales, áreas forestales, pastos o huertos, perennes o caducifolios	-----	Regular	58	-----	81.7	16.16%	9.37
SUMA					506	100%	60.7
							73.4

Se concluye que la curva N de escurrimiento es 60.7, la cual al ser corregida por la precipitación antecedente se aplica la corrección $B = 1.21 * 61 = 73.4$

Tipos de suelo clasificados para la cuenca total

Tipo B: Arenas finas y limos

Tipo C: Arenas muy finas, limos y bastante arcilla

Posteriormente y al igual que para el cálculo de la curva N_E , se aplicó la metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica para obtener la S_T , que considera los parámetros de retención de humedad del suelo (S_T) de donde se obtienen los números de curva (CN).

Entonces la capacidad potencial de retención S_T se obtiene de la ecuación:

$$S_T = \frac{2540 - (25.4 * N_T)}{N_T}$$

La que al sustituir el valor de $N_T = 73.4$ en la ecuación anterior se obtiene el valor siguiente de S_T :

$$S_T = \frac{2540 - (25.4 * 73.4)}{73.4}$$

$$\therefore S_T = 9.2049 \text{ cm}$$

No hay que olvidar que al final del capítulo 5 se determinó mediante la relación de S_E y S_T un valor de 2.01, mediante la relación:

$$\text{Ajuste} = S_E / S_T = \frac{18.06}{8.97} = 2.01 \text{ Adimensional.}$$

Ahora bien, de aquí se deduce el valor "S" calibrada, para la cuenca chica, conforme a lo siguiente:

$$S = S_T (\text{Ajuste}) = 9.2049 (2.01) = 18.502 \text{ Adimensional}$$

Finalmente, para conocer el valor real de N, correspondiente a la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica), y definir las avenidas máximas en esta parte de la cuenca (porción alta), se procedió de la siguiente forma.

De la ecuación general:

$$S = \frac{2540 - (25.4 * N)}{N} \quad \text{Despejamos N:}$$

$$SN = 2540 - (25.4 * N)$$

$$SN + (25.4 * N) = 2540$$

$$N (S + 25.4) = 2540$$

$$N = \frac{2540}{(S+25.4)} \quad \text{Al sustituir el valor de S tiene que N es igual a:}$$

$$N = \frac{2540}{(18.502+25.4)} \quad \therefore \quad N = 57.85 \text{ [Curva de escurrimiento para la cuenca Piaxtla 1 (cuenca chica)]}$$

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los diferentes valores obtenidos al aplicar la metodología propuesta.

CUENCA GRANDE		CUENCA CHICA	
N_E	N_T	N_T	N_{FINAL}
$N_E = 58.45$	$N_T = 73.95$	$N_T = 73.40$	$N = 57.85$
$S_E = 18.06$	$S_T = 8.97$	$S_T = 9.20$	$S = 18.50$

N_E = Número de la curva de escurrimiento propuesta mediante prueba y error empleando el software del I-Pai_wu

N_T = Número de la curva de escurrimiento obtenida de tablas, en función de las características del uso y tipo de suelo

S_E = Retención potencial obtenida en función de la N_E

S_T = Retención potencial obtenida en función de la N_T

7. GASTOS DE DISEÑO FINALES PARA LA CUENCA PIAXTLA 1 (CUENCA CHICA)

Una vez obtenido el valor de N se pueden deducir los gastos en la cuenca Piaxtla 1 (Cuenca chica), al considerar los rasgos fisiográficos y las características de esta porción de cuenca, los cuales se muestran en la tabla 7.1 siguiente:

Tabla 7.1 Características principales de la cuenca del río Piaxtla 1 (Cuenca chica)

Datos característicos	Valor	Unidad
Área de la cuenca	506	Km ²
Longitud del cauce	54.52	Km
Desnivel	507.6	m
Pendiente media	0.51	%
Perímetro de la cuenca	158	Km
Tiempo de concentración	8.75	hr.
Pendiente por Taylor y Schwarz	0.507294	%

Vale la pena señalar que la pendiente media del cauce se dedujo mediante el criterio de Taylor y Schwarz¹ el cual se presenta en la tabla 7.2 y plano 7.1, además el tiempo de concentración se calibró mediante la aplicación de diferentes criterios de análisis² que se muestran en la tabla 7.3.

¹ Fco. Javier Aparicio Mijares, Fundamentos de Hidrología de Superficie

² Daniel Fco. Campos Aranda, Manual para la estimación de avenidas máximas en Cuencas y Presas pequeñas SARH

Tabla 7.2 Cálculo de la pendiente

Cálculo de la pendiente media del cauce principal (S)

Ecuación adoptada:

Método de Taylor-Schwarz

$$S = \left[\frac{n}{\frac{1}{\sqrt{s_1}} + \frac{1}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{s_n}}} \right]^2$$

Donde:

n = Número de tramos del cauce

s = Pendiente por tramo

Datos:

Punto	Cadenamiento (m)	Elevación (msnm)	Método de equidistancias	
			Pendiente por tramo (Sn)	$\frac{1}{\sqrt{s_n}}$
0	0	2223.4		
1	2000	2280	0.028	5.94
2	4000	2300	0.010	10.00
3	6000	2320	0.010	10.00
4	8000	2340	0.010	10.00
5	10000	2345	0.003	20.00
6	12000	2350	0.003	20.00
7	14000	2355	0.003	20.00
8	16000	2358	0.002	25.82
9	18000	2365	0.004	16.90
10	20000	2370	0.003	20.00
11	22000	2375	0.003	20.00
12	24000	2378	0.002	25.82
13	26000	2382	0.002	22.36
14	28000	2390	0.004	15.81
15	30000	2400	0.005	14.14
16	32000	2420	0.010	10.00
17	34000	2440	0.010	10.00
18	36000	2460	0.010	10.00
19	38000	2495	0.018	7.56
20	40000	2500	0.003	20.00
21	42000	2515	0.008	11.55
22	44000	2525	0.005	14.14
23	46000	2535	0.005	14.14
24	48000	2560	0.013	8.94
25	50000	2571	0.006	13.48
26	52000	2600	0.015	8.30
27	54000	2680	0.040	5.00
28	54521.566	2731	0.098	3.20

Suma: 393.12

Pendiente media del cauce por equidistancias (s) =

0.005073

0.507294%

Gráfica 7.1 Corte longitudinal del cauce principal del río Piaxtla 1 (Cuenca chica)

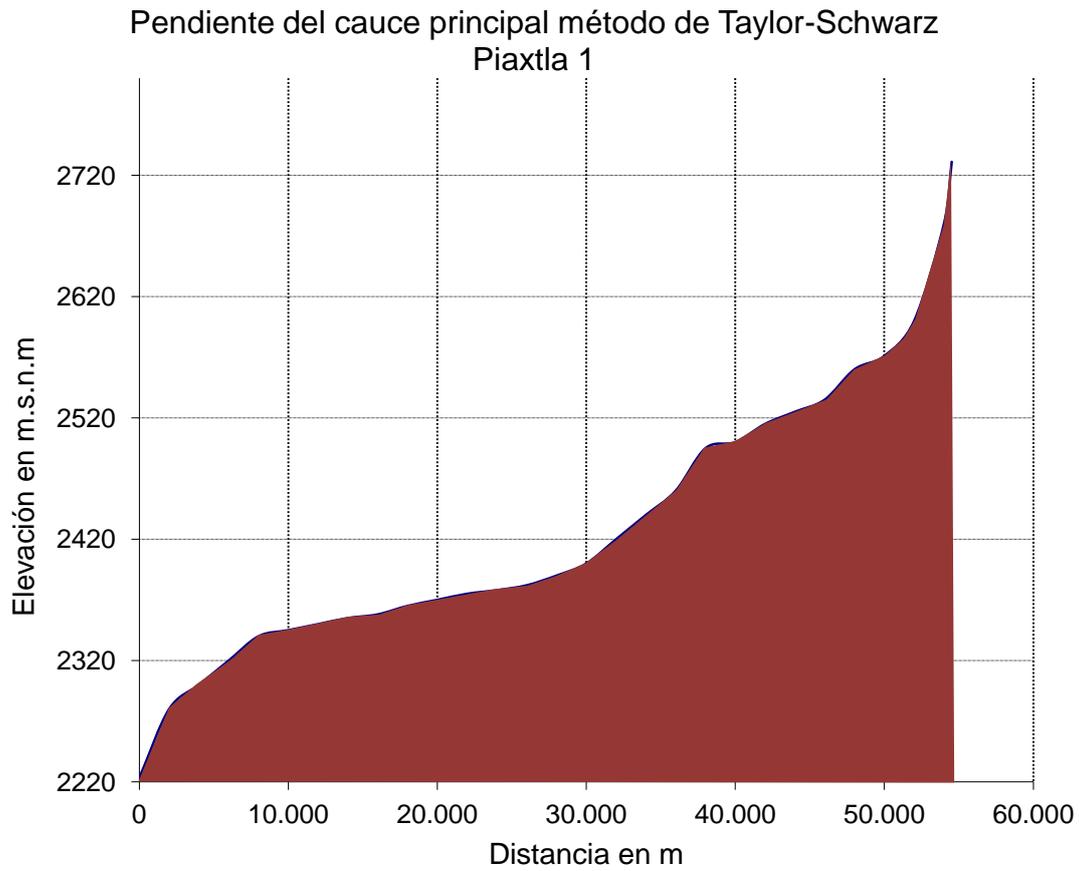


Tabla 7.3 Cálculo del tiempo de concentración mediante diferentes criterios

CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN CUENCA DEL RÍO PIAXTLA 1 (Cuenca chica)

1.- FÓRMULA BASADA EN LA VELOCIDAD DE LA ONDA DE LA AVENIDA

$$T_c = L / V_w$$

DONDE:

$$V_w = 72 \left(\frac{H}{L} \right)^{0.85}$$

T_c = Tiempo de concentración en horas

L = Longitud del cauce principal en Km.

V_w = Velocidad de la onda de la avenida en Km/hr

H = Desnivel total del cauce en Km.

L = 54.521566 Km

H = 0.5 Km

Cálculo de la V_w

V_w = 4.31294089

Cálculo del T_c

T_c = 12.64 Hrs.

2.- FÓRMULA DE KIRPICH

$$T_c = 0.39 \left[(L)^2 / S \right]^{0.385}$$

L = Longitud del colector principal en Km

S = Pendiente del colector principal en porcentaje

T_c = 8.76 Hrs.

4.- FÓRMULA DE ROWE

$$T_c = \left[\frac{0.85 (L)^5}{H} \right]^{0.225}$$

L = Longitud del cauce principal en Km.

H = Desnivel total del cauce en m.

T_c = 8.74 Hrs.

5.- FÓRMULA DE FOREST RESOURCES DIVISION FAO

$$T_c = \frac{(L)^{1.15}}{15(H)^{0.35}}$$

L = Longitud del cauce principal en Km.

H = Desnivel total del cauce en Km.

T_c = 8.62 Hrs.

3.- FÓRMULA DE KIRPICH PARA CUENCAS RURALES

$$T_c = 32.5 (10^{-2}) \left(\frac{L^2}{H} \right)^{0.77}$$

L = Longitud del colector principal en metros

H = Desnivel total del cauce en principal en metros

T_c = 8.78 Hrs.

6.- FÓRMULAS DE E. BASSO

$$T_c = 0.057 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.577}$$

$$T_c = 0.057 \left[\frac{L^{1.15}}{H^{0.35}} \right]$$

L = Longitud del cauce principal en Km.

H = Desnivel total del cauce en Km.

S = Pendiente del colector principal adimensional

T_c = 8.87 Hrs.

T_c Adoptado = 8.75 Horas

Como se vio en el capítulo 4, la función de distribución que mejor se ajustó a la muestra de datos (lluvias máximas) fue la función Gumbel, cuyos valores son 114.94 y 175.34 mm de lluvia para los períodos de retorno de 10 y 100 años respectivamente.

Una vez obtenidos los datos fisiográficos de la cuenca y al aplicar el modelo sintético del I-Pai-Wu, los valores de los gastos máximos correspondientes a la cuenca del río Piaxtla 1 (Cuenca chica) son los que se muestran en la tabla 7.4.

Cabe la pena señalar que además de los gastos con período de retorno de 10 y 100 años, se generaron algunos otros caudales para diferentes períodos de retorno, tal como se muestra en la tabla 7.4.

Además, las tablas correspondientes a los cálculos de los caudales de cada uno de los períodos de retorno se presentan en las tablas de la 7.5 a la 7.16.

Tabla 7.4 Gasto de diseño finales para la cuenca del río Piaxtla 1 (Cuenca chica)

Tr en años	Gasto en m³/s
2	32.4
5	177.3
10	322.4
20	490.6
50	743.0
100	953.5
200	1178.6
500	1495.5
1 000	1747.9
2 000	2009.7
5 000	2368.7
10 000	2648.8

Tabla 7.5 Hidrograma del I-Pai-Wu para el T_r de 2 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_r = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 31.86 mm
 Tr_{24h} = 66.51 mm

2) CÁLCULOS DE t_p , K_1 y d

$$t_p = 0.53(A)^{1.085}(L)^{-1.533}(S)^{-0.668}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.237}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

t_p	9.118431096
K_1	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 2 años

$$(P_d)_{Tr} = 53.16 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right) Z}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P_e	1.247729901
-------	-------------

4) CÁLCULOS DE n , $f(n, t_p)$

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

$f(n, t_p)$	1.684749783
-------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_p	32.43	m ³ /s
-------	-------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$f\left(\frac{t}{t_p}\right)$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.00
5	0.4	3.647	0.003	0.11
6	0.5	4.559	0.031	1.00
7	0.6	5.471	0.136	4.41
8	0.7	6.383	0.361	11.69
9	0.8	7.295	0.659	21.38
10	0.9	8.207	0.908	29.45
11	1	9.118	1.000	32.43
12	1.1	10.030	0.919	29.80
13	1.2	10.942	0.727	23.59
14	1.3	11.854	0.508	16.47
15	1.4	12.766	0.319	10.34
16	1.5	13.678	0.182	5.91
17	1.6	14.589	0.096	3.12
18	1.7	15.501	0.047	1.54
19	1.8	16.413	0.022	0.71
20	1.9	17.325	0.010	0.31
21	2	18.237	0.004	0.13
22	2.1	19.149	0.002	0.05
23	2.2	20.061	0.001	0.02
24	2.3	20.972	0.000	0.01
25	2.4	21.884	0.000	0.00
26	2.5	22.796	0.000	0.00
27	2.6	23.708	0.000	0.00
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

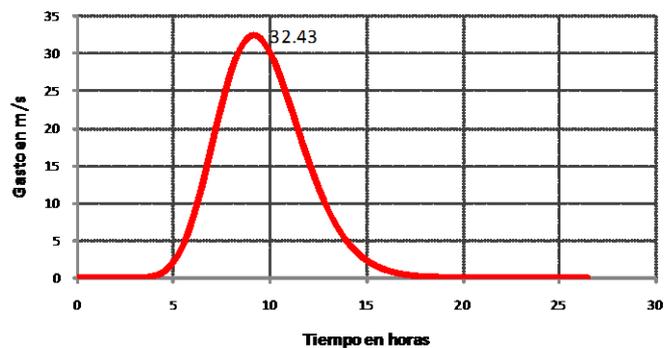


Tabla 7.6 Hidrograma del I-Pai-Wu para el T_r de 5 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_i = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 45.82 mm
 Tr_{24h} = 95.65 mm

2) CÁLCULOS DE t_p , K₁ y d

$$t_p = 0.53(A)^{1.065}(L)^{-1.233}(S)^{-0.658}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.287}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

t_p	9.118431096
K ₁	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 5 años

(Pd)_{Tr} = 76.45 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right) 2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P_e	6.821971416
-------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n	19
---	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-2} (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

f(n, t_p)	1.684749783
--------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_p	177.30	m ³ /s
-------	--------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/ t_p)	(t/ t_p) t_p	$\frac{t}{t_p} \left(1 - \frac{t}{t_p}\right)^2$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.02
5	0.4	3.647	0.003	0.60
6	0.5	4.559	0.031	5.48
7	0.6	5.471	0.136	24.12
8	0.7	6.383	0.361	63.93
9	0.8	7.295	0.659	116.90
10	0.9	8.207	0.908	161.00
11	1	9.118	1.000	177.30
12	1.1	10.030	0.919	162.95
13	1.2	10.942	0.727	128.98
14	1.3	11.854	0.508	90.06
15	1.4	12.766	0.319	56.51
16	1.5	13.678	0.182	32.34
17	1.6	14.589	0.096	17.08
18	1.7	15.501	0.047	8.41
19	1.8	16.413	0.022	3.89
20	1.9	17.325	0.010	1.70
21	2	18.237	0.004	0.71
22	2.1	19.149	0.002	0.28
23	2.2	20.061	0.001	0.11
24	2.3	20.972	0.000	0.04
25	2.4	21.884	0.000	0.01
26	2.5	22.796	0.000	0.00
27	2.6	23.708	0.000	0.00
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

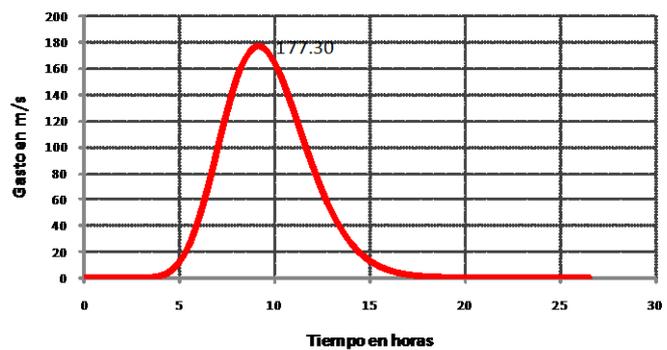


Tabla 7.7 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 Nr = 57.85 Adim.
 Tr1h = 55.06 mm
 Tr24h = 114.94 mm

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/tp)	(t/tp)tp	$\frac{t}{t_p} \left(\frac{t}{t_p} \right)^{n-1} \left(1 - \frac{t}{t_p} \right)^n$	Qi
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.04
5	0.4	3.647	0.003	1.09
6	0.5	4.559	0.031	9.97
7	0.6	5.471	0.136	43.85
8	0.7	6.383	0.361	116.23
9	0.8	7.295	0.659	212.55
10	0.9	8.207	0.908	292.73
11	1	9.118	1.000	322.38
12	1.1	10.030	0.919	296.29
13	1.2	10.942	0.727	234.52
14	1.3	11.854	0.508	163.74
15	1.4	12.766	0.319	102.74
16	1.5	13.678	0.182	58.80
17	1.6	14.589	0.096	31.06
18	1.7	15.501	0.047	15.29
19	1.8	16.413	0.022	7.07
20	1.9	17.325	0.010	3.09
21	2	18.237	0.004	1.29
22	2.1	19.149	0.002	0.51
23	2.2	20.061	0.001	0.20
24	2.3	20.972	0.000	0.07
25	2.4	21.884	0.000	0.03
26	2.5	22.796	0.000	0.01
27	2.6	23.708	0.000	0.00
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

2) CÁLCULOS DE tp, K1 y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.085}(L)^{-1.333}(S)^{-0.628}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.937}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

tp =	9.118431096
K1 =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 10 años

(Pd)Tr = 91.87 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N} \right) + 50.5 \right)^2}{P + \left(\frac{20320}{N} \right) - 203.2}$$

Pe =	12.40406331
------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n,tp)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} (t)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

f(n,tp) =	1.684749783
-----------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \times P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Qp =	322.38	m ³ /s
------	--------	-------------------

Hidrograma de I-Pai-Wu

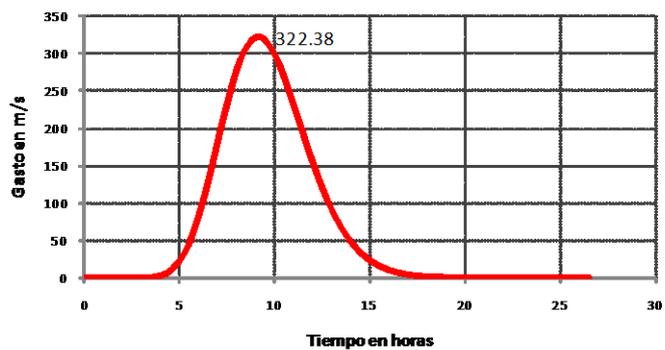


Tabla 7.8 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 20 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_{II} = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 63.92 mm
 Tr_{24h} = 133.44 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.085}(L)^{-1.233}(S)^{-0.668}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.257}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

t _p =	9.118431096
K ₁ =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 20 años
 (P_d)_{Tr} = 106.65 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	18.87609552
------------------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} \cdot (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

f(n, t _p) =	1.684749783
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	490.59	m ³ /s
------------------	--------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(1 - \frac{t}{t_p}\right)^2$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.06
5	0.4	3.647	0.003	1.65
6	0.5	4.559	0.031	15.16
7	0.6	5.471	0.136	66.74
8	0.7	6.383	0.361	176.88
9	0.8	7.295	0.659	323.45
10	0.9	8.207	0.908	445.47
11	1	9.118	1.000	490.59
12	1.1	10.030	0.919	450.88
13	1.2	10.942	0.727	356.88
14	1.3	11.854	0.508	249.18
15	1.4	12.766	0.319	156.35
16	1.5	13.678	0.182	89.48
17	1.6	14.589	0.096	47.26
18	1.7	15.501	0.047	23.26
19	1.8	16.413	0.022	10.76
20	1.9	17.325	0.010	4.71
21	2	18.237	0.004	1.96
22	2.1	19.149	0.002	0.78
23	2.2	20.061	0.001	0.30
24	2.3	20.972	0.000	0.11
25	2.4	21.884	0.000	0.04
26	2.5	22.796	0.000	0.01
27	2.6	23.708	0.000	0.00
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

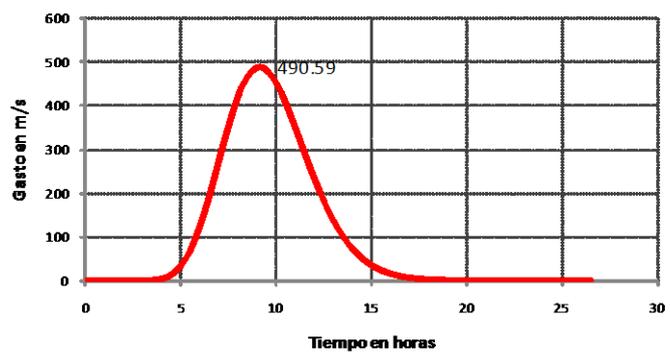


Tabla 7.9 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 50 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_h = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 75.39 mm
 Tr_{24h} = 157.39 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(A)^{0.285} (L)^{-1.233} (S)^{-0.667}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.287} (L)^{-1.474} (S)^{-1.473}$$

t _p =	9.118431096
K ₁ =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 50 años

(P_d)_{tr} = 125.79 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	28.58827606
------------------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} \cdot (e)^{-(n-1)}}{\Gamma(n)}$$

f(n, t _p) =	1.684749783
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	743.02	m ³ /s
------------------	--------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(1 - \frac{t}{t_p}\right)^2$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.09
5	0.4	3.647	0.003	2.50
6	0.5	4.559	0.031	22.97
7	0.6	5.471	0.136	101.07
8	0.7	6.383	0.361	267.89
9	0.8	7.295	0.659	489.87
10	0.9	8.207	0.908	674.67
11	1	9.118	1.000	743.02
12	1.1	10.030	0.919	682.87
13	1.2	10.942	0.727	540.51
14	1.3	11.854	0.508	377.39
15	1.4	12.766	0.319	236.80
16	1.5	13.678	0.182	135.52
17	1.6	14.589	0.096	71.58
18	1.7	15.501	0.047	35.23
19	1.8	16.413	0.022	16.30
20	1.9	17.325	0.010	7.13
21	2	18.237	0.004	2.97
22	2.1	19.149	0.002	1.18
23	2.2	20.061	0.001	0.45
24	2.3	20.972	0.000	0.17
25	2.4	21.884	0.000	0.06
26	2.5	22.796	0.000	0.02
27	2.6	23.708	0.000	0.01
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

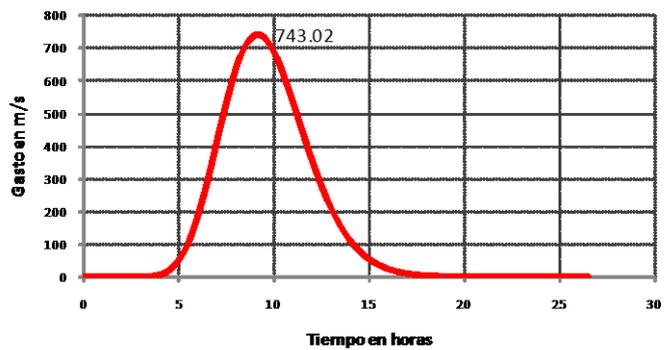


Tabla 7.10 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 100 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_{ii} = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 83.99 mm
 Tr_{24h} = 175.34 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(A)^{0.1875}(L)^{-1.225}(S)^{-0.622}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.287}(L)^{-1.274}(S)^{-1.273}$$

t _p =	9.118431096
K ₁ =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 100 años
 (P_d)_{Tr} = 140.14 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	36.68859334
------------------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = ((n - 1)^{n-1} * (n)^{1-n}) / \gamma(n)$$

f(n, t _p) =	1.684749783
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A * P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	953.55	m ³ /s
------------------	--------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(1 - \frac{t}{t_p}\right)^{19}$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.11
5	0.4	3.647	0.003	3.21
6	0.5	4.559	0.031	29.47
7	0.6	5.471	0.136	129.71
8	0.7	6.383	0.361	343.79
9	0.8	7.295	0.659	628.67
10	0.9	8.207	0.908	865.84
11	1	9.118	1.000	953.55
12	1.1	10.030	0.919	876.35
13	1.2	10.942	0.727	693.66
14	1.3	11.854	0.508	484.32
15	1.4	12.766	0.319	303.90
16	1.5	13.678	0.182	173.91
17	1.6	14.589	0.096	91.86
18	1.7	15.501	0.047	45.22
19	1.8	16.413	0.022	20.91
20	1.9	17.325	0.010	9.15
21	2	18.237	0.004	3.81
22	2.1	19.149	0.002	1.51
23	2.2	20.061	0.001	0.58
24	2.3	20.972	0.000	0.21
25	2.4	21.884	0.000	0.08
26	2.5	22.796	0.000	0.03
27	2.6	23.708	0.000	0.01
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

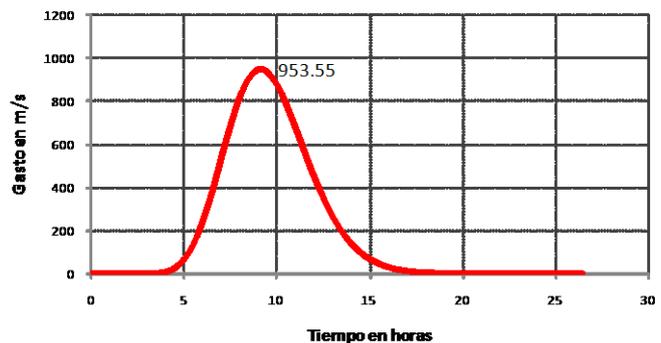


Tabla 7.11 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 200 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 Ni = 57.85 Adim.
 Tr1h = 92.56 mm
 Tr24h = 193.22 mm

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/tp)	(t/tp)tp	$\frac{t}{tp} \left(\frac{t}{tp} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{tp}}$	Qi
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.14
5	0.4	3.647	0.003	3.97
6	0.5	4.559	0.031	36.43
7	0.6	5.471	0.136	160.32
8	0.7	6.383	0.361	424.92
9	0.8	7.295	0.659	777.02
10	0.9	8.207	0.908	1070.16
11	1	9.118	1.000	1178.56
12	1.1	10.030	0.919	1083.16
13	1.2	10.942	0.727	857.34
14	1.3	11.854	0.508	598.61
15	1.4	12.766	0.319	375.61
16	1.5	13.678	0.182	214.95
17	1.6	14.589	0.096	113.54
18	1.7	15.501	0.047	55.89
19	1.8	16.413	0.022	25.85
20	1.9	17.325	0.010	11.31
21	2	18.237	0.004	4.71
22	2.1	19.149	0.002	1.87
23	2.2	20.061	0.001	0.71
24	2.3	20.972	0.000	0.26
25	2.4	21.884	0.000	0.09
26	2.5	22.796	0.000	0.03
27	2.6	23.708	0.000	0.01
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

2) CÁLCULOS DE tp, K1 y d

$$t_p = 0.93(A)^{0.0165(L)^{-1.253}(S)^{-0.666}}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.557(L)^{-1.474}(S)^{-1.273}}$$

tp =	9.118431096
K1 =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 200 años

(Pa)Tr = 154.43 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N} \right) + 50.5 \right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N} \right) - 203.2}$$

Pe =	45.34636405
------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, tp)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} \cdot (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

f(n, tp) =	1.684749783
------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Qp =	1178.56	m ³ /s
------	---------	-------------------

Hidrograma de I-Pai-Wu

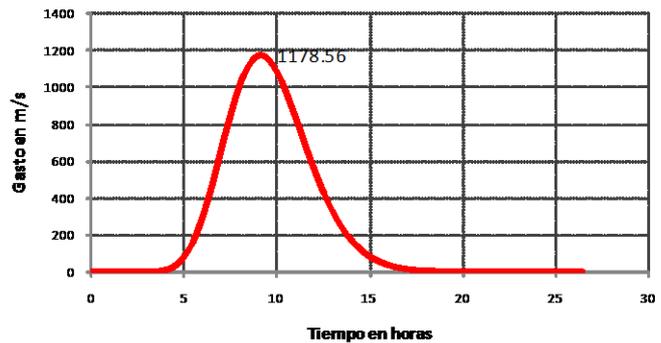


Tabla 7.12 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 500 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_{II} = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 103.86 mm
 Tr_{24h} = 216.82 mm

2) CÁLCULOS DE t_p, K₁ y d

$$t_p = 0.93(A)^{0.0085}(L)^{-1.233}(S)^{-0.668}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.237}(L)^{-1.274}(S)^{-1.273}$$

t _p =	9.118431096
K ₁ =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y Lluvias DE DISEÑO

Tr 500 años

$$(P_d)_{Tr} = 173.29 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5080}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P _e =	57.54088585
------------------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, t_p)

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} \cdot (e)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

f(n, t _p) =	1.684749783
-------------------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q _p =	1495.50	m ³ /s
------------------	---------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(\frac{t}{t_p} \right)^{n-1} e^{-\frac{t}{t_p}}$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.17
5	0.4	3.647	0.003	5.04
6	0.5	4.559	0.031	46.23
7	0.6	5.471	0.136	203.44
8	0.7	6.383	0.361	539.19
9	0.8	7.295	0.659	985.98
10	0.9	8.207	0.908	1357.95
11	1	9.118	1.000	1495.50
12	1.1	10.030	0.919	1374.44
13	1.2	10.942	0.727	1087.90
14	1.3	11.854	0.508	759.59
15	1.4	12.766	0.319	476.62
16	1.5	13.678	0.182	272.76
17	1.6	14.589	0.096	144.07
18	1.7	15.501	0.047	70.92
19	1.8	16.413	0.022	32.80
20	1.9	17.325	0.010	14.35
21	2	18.237	0.004	5.97
22	2.1	19.149	0.002	2.38
23	2.2	20.061	0.001	0.91
24	2.3	20.972	0.000	0.33
25	2.4	21.884	0.000	0.12
26	2.5	22.796	0.000	0.04
27	2.6	23.708	0.000	0.01
28	2.7	24.620	0.000	0.00
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

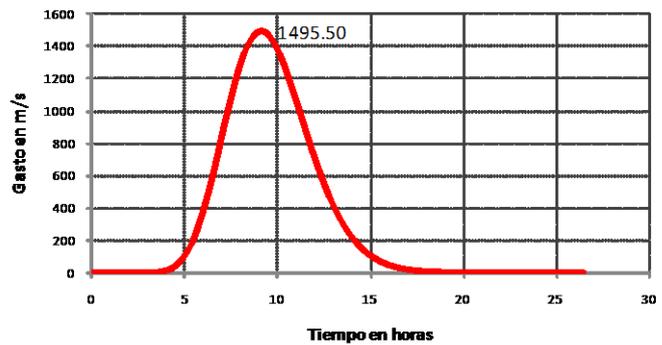


Tabla 7.13 Hidrograma del I-Pai-Wu para el T_r de 1000 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_i = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 112.40 mm
 Tr_{24h} = 234.65 mm

2) CÁLCULOS DE t_p , K_1 y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.055}(L)^{-1.253}(S)^{-0.662}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.857}(L)^{-1.474}(S)^{-1.473}$$

t_p	= 9.118431096
K_1	= 1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LUVIAS DE DISEÑO

Tr 1000 años

$$(Pd)_{Tr} = 187.54 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5000}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P_e	= 67.25099946
-------	---------------

4) CÁLCULOS DE n , $f(n, t_p)$

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n	= 19
-----	------

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

$f(n, t_p)$	= 1.684749783
-------------	---------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_p	= 1747.87 m ³ /s
-------	-----------------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{Q}{Q_p} \left(\frac{t}{t_p}\right)^{0.4} \left(\frac{t}{t_p} - 1\right)^{2.4}$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.20
5	0.4	3.647	0.003	5.89
6	0.5	4.559	0.031	54.03
7	0.6	5.471	0.136	237.77
8	0.7	6.383	0.361	630.18
9	0.8	7.295	0.659	1152.36
10	0.9	8.207	0.908	1587.10
11	1	9.118	1.000	1747.87
12	1.1	10.030	0.919	1606.38
13	1.2	10.942	0.727	1271.49
14	1.3	11.854	0.508	887.77
15	1.4	12.766	0.319	557.05
16	1.5	13.678	0.182	318.79
17	1.6	14.589	0.096	168.38
18	1.7	15.501	0.047	82.89
19	1.8	16.413	0.022	38.33
20	1.9	17.325	0.010	16.77
21	2	18.237	0.004	6.98
22	2.1	19.149	0.002	2.78
23	2.2	20.061	0.001	1.06
24	2.3	20.972	0.000	0.39
25	2.4	21.884	0.000	0.14
26	2.5	22.796	0.000	0.05
27	2.6	23.708	0.000	0.02
28	2.7	24.620	0.000	0.01
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

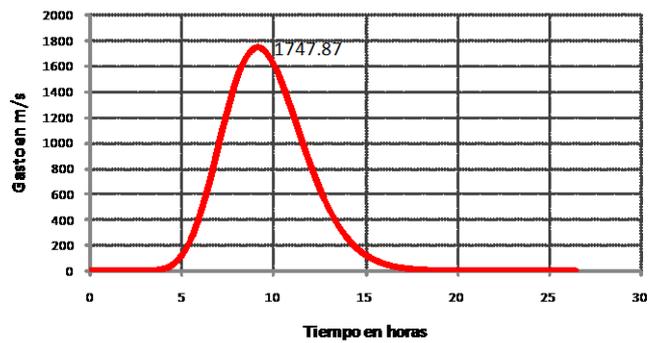


Tabla 7.14 Hidrograma del I-Pai-Wu para el T_r de 2000 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_R = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 120.94 mm
 Tr_{24h} = 252.47 mm

2) CÁLCULOS DE t_p , K_1 y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.0685}(L)^{-1.223}(S)^{-0.668}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.2337}(L)^{-1.474}(S)^{-1.273}$$

t_p	9.118431096
K_1	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 2000 años

(Pd)_{Tr} = 201.79 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5040}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20320}{N}\right) - 203.2}$$

P_e = 77.32526864

4) CÁLCULOS DE n , $f(n, t_p)$

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n = 19

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-2} (e)^{1-n}}{\gamma(n)}$$

$f(n, t_p)$ = 1.684749783

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_p = 2009.70 m³/s

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$f\left(\frac{t}{t_p}\right)$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.23
5	0.4	3.647	0.003	6.77
6	0.5	4.559	0.031	62.12
7	0.6	5.471	0.136	273.39
8	0.7	6.383	0.361	724.58
9	0.8	7.295	0.659	1324.99
10	0.9	8.207	0.908	1824.85
11	1	9.118	1.000	2009.70
12	1.1	10.030	0.919	1847.01
13	1.2	10.942	0.727	1461.96
14	1.3	11.854	0.508	1020.76
15	1.4	12.766	0.319	640.50
16	1.5	13.678	0.182	366.54
17	1.6	14.589	0.096	193.60
18	1.7	15.501	0.047	95.30
19	1.8	16.413	0.022	44.08
20	1.9	17.325	0.010	19.28
21	2	18.237	0.004	8.02
22	2.1	19.149	0.002	3.19
23	2.2	20.061	0.001	1.22
24	2.3	20.972	0.000	0.45
25	2.4	21.884	0.000	0.16
26	2.5	22.796	0.000	0.05
27	2.6	23.708	0.000	0.02
28	2.7	24.620	0.000	0.01
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

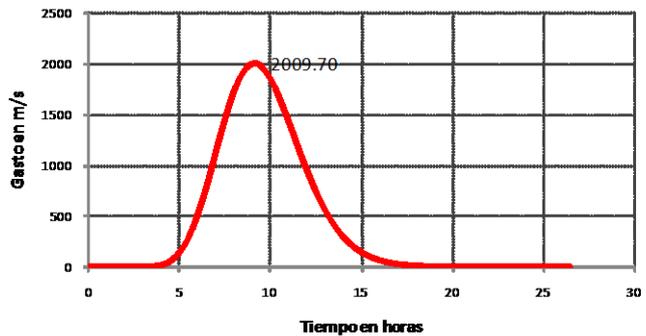


Tabla 7.15 Hidrograma del I-Pai-Wu para el T_r de 5000 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 N_i = 57.85 Adim.
 Tr_{1h} = 132.23 mm
 Tr_{24h} = 276.03 mm

2) CÁLCULOS DE t_p , K_1 y d

$$t_p = 0.93(A)^{1.055}(L)^{-1.223}(S)^{-0.622}$$

$$K_1 = 0.73(A)^{0.237}(L)^{-1.274}(S)^{-1.473}$$

t_p	9.118431096
K_1	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LUVIAS DE DISEÑO

Tr 5000 años

$$(P_d)_{Tr} = 220.62 \text{ mm}$$

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{5000}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20520}{N}\right) - 203.2}$$

P_e	91.13894864
-------	-------------

4) CÁLCULOS DE n , $f(n, t_p)$

$$n = \frac{4 t_p}{K_1}$$

n	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} (n)^{1-n}}{\Gamma(n)}$$

$f(n, t_p)$	1.684749783
-------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Q_p	2368.72	m ³ /s
-------	---------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/t _p)	(t/t _p)t _p	$\frac{t}{t_p} \left(\frac{t}{t_p}\right)^{n-2} \left(\frac{t}{t_p} - 1\right)^{n-1}$	Q _i
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.27
5	0.4	3.647	0.003	7.98
6	0.5	4.559	0.031	73.22
7	0.6	5.471	0.136	322.22
8	0.7	6.383	0.361	854.02
9	0.8	7.295	0.659	1561.69
10	0.9	8.207	0.908	2150.85
11	1	9.118	1.000	2368.72
12	1.1	10.030	0.919	2176.97
13	1.2	10.942	0.727	1723.13
14	1.3	11.854	0.508	1203.11
15	1.4	12.766	0.319	754.92
16	1.5	13.678	0.182	432.02
17	1.6	14.589	0.096	228.19
18	1.7	15.501	0.047	112.33
19	1.8	16.413	0.022	51.95
20	1.9	17.325	0.010	22.73
21	2	18.237	0.004	9.46
22	2.1	19.149	0.002	3.76
23	2.2	20.061	0.001	1.44
24	2.3	20.972	0.000	0.53
25	2.4	21.884	0.000	0.19
26	2.5	22.796	0.000	0.06
27	2.6	23.708	0.000	0.02
28	2.7	24.620	0.000	0.01
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu

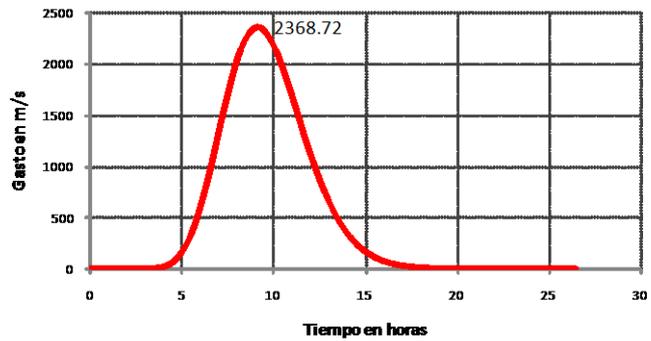


Tabla 7.16 Hidrograma del I-Pai-Wu para el Tr de 10000 años

1) DATOS

A = 506 Km²
 L = 54.52 Km
 S = 0.504294 %
 Ni = 57.85 Adim.
 Tr1h = 140.76 mm
 Tr24h = 293.85 mm

2) CÁLCULOS DE tp, K1 y d

$$t_p = 0.95(L)^{1.085}(S)^{-1.225}(N_i)^{-0.668}$$

$$K1 = 0.73(L)^{0.557}(S)^{-1.474}(N_i)^{-1.473}$$

tp =	9.118431096
K1 =	1.885277727

3) PERÍODOS DE RETORNO Y LLUVIAS DE DISEÑO

Tr 10000 años

(Pd)Tr = 234.86 mm

$$P_e = \frac{\left(P - \left(\frac{50800}{N}\right) + 50.5\right)^2}{P + \left(\frac{20320}{N}\right) - 203.2}$$

Pe =	101.9148885
------	-------------

4) CÁLCULOS DE n, f(n, tp)

$$n = \frac{4 t_p}{K1}$$

n =	19
-----	----

$$f(n, t_p) = \frac{(n-1)^{n-1} \cdot (n)^{1-n}}{\gamma(n)}$$

f(n, tp) =	1.684749783
------------	-------------

5) CÁLCULOS DE GASTOS

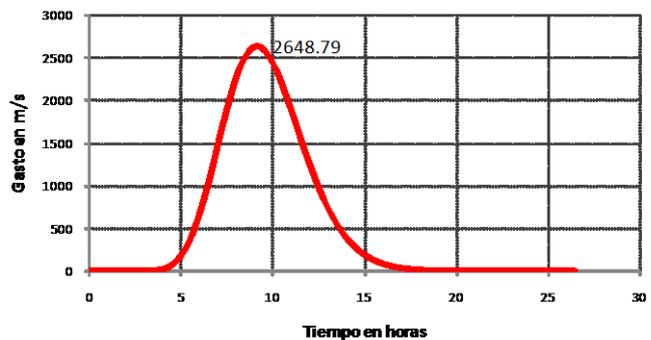
$$Q_p = 0.278 \frac{A \cdot P_e}{t_p} f(n, t_p)$$

Qp =	2648.79	m ³ /s
------	---------	-------------------

HIDROGRAMA DEL I-Pai-Wu

PUNTO	(t/tp)	(t/tp)tp	$f\left(\frac{t}{t_p}\right)^{2.5} \left(\frac{t}{t_p} t_p\right)^{0.7}$	Qi
1	0	0.000	0.000	0.00
2	0.1	0.912	0.000	0.00
3	0.2	1.824	0.000	0.00
4	0.3	2.736	0.000	0.30
5	0.4	3.647	0.003	8.92
6	0.5	4.559	0.031	81.88
7	0.6	5.471	0.136	360.32
8	0.7	6.383	0.361	955.00
9	0.8	7.295	0.659	1746.34
10	0.9	8.207	0.908	2405.16
11	1	9.118	1.000	2648.79
12	1.1	10.030	0.919	2434.37
13	1.2	10.942	0.727	1926.86
14	1.3	11.854	0.508	1345.36
15	1.4	12.766	0.319	844.17
16	1.5	13.678	0.182	483.10
17	1.6	14.589	0.096	255.17
18	1.7	15.501	0.047	125.61
19	1.8	16.413	0.022	58.09
20	1.9	17.325	0.010	25.41
21	2	18.237	0.004	10.58
22	2.1	19.149	0.002	4.21
23	2.2	20.061	0.001	1.61
24	2.3	20.972	0.000	0.59
25	2.4	21.884	0.000	0.21
26	2.5	22.796	0.000	0.07
27	2.6	23.708	0.000	0.02
28	2.7	24.620	0.000	0.01
29	2.8	25.532	0.000	0.00
30	2.9	26.443	0.000	0.00

Hidrograma de I-Pai-Wu



Conclusión

El método del U.S. Soil Conservation Service (SCS) es la consolidación de varios procedimientos que han sido desarrollados por los hidrólogos de SCS.

Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimiento, tanto en el estudio de avenidas máximas como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas.

Los datos que utiliza el método del SCS para obtener la magnitud de la lluvia en exceso son:

- Información sobre los suelos de la cuenca
- Información sobre los cobertura vegetal de la cuenca
- Información sobre el uso del terreno en la cuenca
- Estado de saturación de la cuenca, la cual es la llamada Condición de humedad antecedente

A la combinación específica de suelo, cobertura y uso del terreno se le denomina complejo hidrológico Suelo-Vegetación y es el parámetro de la cuenca.

Es importante señalar lo anterior ya que al variar la curva de escurrimiento N un valor hacia arriba o hacia abajo en la escala (0-100) y al aplicar el modelo hidrológico, el gasto resultante se vuelve prácticamente exponencial, por lo tanto cuando se carece de información hidrométrica, para determinar caudales de diseño, el valor N debe ser deducido con suficiente cautela y sobre todo con la mayor precisión posible.

Entonces tal como se expuso en este trabajo de tesis, la mejor forma de obtener con cierto grado de confiabilidad o certidumbre la referida curva N , es mediante la utilización o empleo de los datos de la estación hidrométrica.

Como se vio a través del desarrollo del presente trabajo de tesis, existen muchas variables hidrológicas que pueden de alguna forma alterar los resultados finales, sin embargo en esta exposición únicamente se modificó la curva N de escurrimiento, ya que la experiencia ha demostrado que esta parámetro es muy sensible a cualquier variación en la generación de gastos.

8. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Aparicio, M. F. J., ***“Fundamentos de Hidrología de Superficie”***, Limusa, México, 2001.

Campos, A. D. F., ***“Manual para la estimación de avenidas máximas en Cuencas y Presas pequeñas”*** Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Enero de 1982.

XVI Congreso Nacional de Hidráulica Memorias ***“Evaluación de los cocientes lluvia-duración (R) y lluvia-frecuencia (F) en 341 sitios de la República Mexicana”*** Juan Antonio Araiza y Daniel Fco. Campos Aranda, Noviembre de 2000.

Gracia Sánchez, Jesús ***“Introducción al Diseño de Zonas de Riego y Drenaje”***, apuntes de la materia de maestría de Irrigación y Drenaje, Junio de 2008.

Domínguez Mora, Ramón, ***“Apuntes de la materia Seminario de Investigación II”***, Noviembre 2009.

Aranda Plata, Abraham, ***“Diseño sistemático, basado en SIG, para redes de alcantarillado pluvial”*** Tesis de Maestría Universidad Autónoma de Querétaro.

9. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ANÁLISIS

