

OBTENCIÓN DE FACTORES DE AJUSTE POR DURACIÓN Y CURVAS I-D-TR, A PARTIR DE PRECIPITACIONES HISTÓRICAS EN LA CUENCA DE CHICOASÉN, PERTENECIENTE A LA RH 30, EN CHIAPAS

Delva Guichard¹, Miguel Á. Aguilar¹, Juan J. Muciño¹,
Cynthia Pérez F.²

RESUMEN

Se estudió la cuenca de Chicoasén, especialmente la información pluviométrica de 12 estaciones, que cuentan con información para una hora de duración. Se obtuvieron los factores de ajuste por duración (R) relacionando la precipitación máxima en una hora con respecto a la precipitación máxima en 24 horas, para cada estación. Y, se obtuvieron las curvas intensidad-duración-periodo de retorno para cada una de las estaciones de estudio. Los resultados muestran cierta tendencia de decremento del Factor R con respecto a la altitud de las estaciones.

Palabras Clave: Cuenca de Chicoasén, Factor de ajuste por duración, Curvas intensidad-duración-periodo de retorno, Altitud.

ABSTRACT

Precipitations of the Chicoasén basin were studied, especially the information of 12 climatological stations, with one hour information. The adjustment factors for duration (R) were obtained by relating the maximum rainfall in one hour with respect to the maximum rainfall in 24 hours, for each station. And, the intensity-duration-return period curves were obtained for each of the rain-gauge stations under study. The results

show a certain tendency of decrease of the R Factor with respect to the altitude of the stations.

Keywords: Chicoasén Basin, adjustment factors by duration, intensity-duration-return period curves, altitude.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de factores de ajuste por duración y curvas Intensidad de Lluvia-Duración-Periodo de Retorno (i-d-Tr) para estaciones de la cuenca de Chicoasén, Chiapas. El objetivo es contar con información que permita estimar precipitaciones para duraciones cortas, para las estaciones que se encuentran ubicadas dentro de esta cuenca, que permitan diseñar obras hidráulicas en la misma.

Los factores de ajuste permiten estimar la tormenta de diseño para cualquier duración a partir de una duración base, su uso se hace necesario cuando las duraciones de precipitación, de diseño, son menores de 24 horas y el tiempo de concentración es menor que ésta. (Guichard, 1998). Además, es muy común que no se cuente con datos de precipitaciones para duraciones cortas.

La precipitación se caracteriza por la variación de las intensidades de lluvia dentro de la cuenca respecto a la duración de las tormentas que las generan con diferentes periodos de retorno (Tr). La intensidad de lluvia (I), expresada normalmente en milímetros por hora, es la relación entre un incremento de altura de precipitación (P) ocurrida y el tiempo de duración (t) que la generó y su variación se representa en forma gráfica mediante curvas i-d-Tr, que se determinan en función de los datos hidrológicos disponibles. Las curvas (i-d-Tr) ayudan a planear y diseñar proyectos de recursos hidráulicos, considerando un ries-

¹ Profesores de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

² Tesista de la Facultad de Ingeniería

Correos: dguich@unach.mx, maas@unach.mx, jmucino@unach.mx.

go específico. Dicha intensidad se traduce a un gasto de diseño mediante modelos lluvia-escorrentamiento.

ANTECEDENTES

Descripción del área de estudio

En el estado de Chiapas se localiza la cuenca de Chicoasen, que inicia desde la salida del vaso de la presa la Angostura y finaliza en el vaso de la presa Chicoasen, esta cuenca pertenece a la región hidrológica No. 30, y se le suele llamar Alto Grijalva, de un área aproximada de 7,194 km², a través de ella transcurre el río Grijalva (Cruz, 2017). La figura 1 muestra los límites de la cuenca Chicoasén.

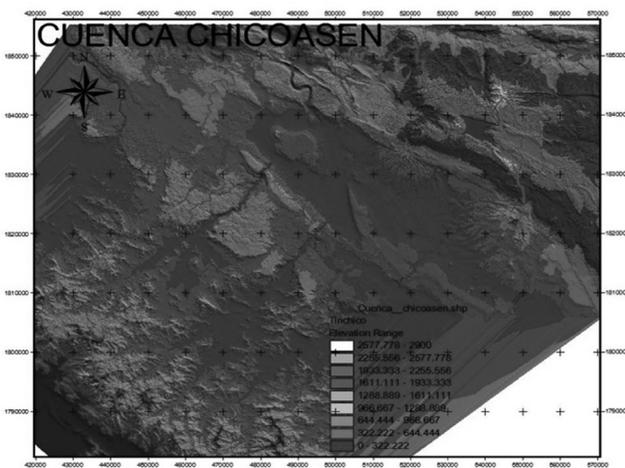


Figura 1. Límites de la cuenca Chicoasen (Cruz, 2017)

En la cuenca propia de Chicoasén, el régimen pluviométrico establece dos periodos bien definidos: El primer periodo se presenta con precipitaciones máximas, se registra en los meses de julio a noviembre; es producto de las perturbaciones ciclónicas que se generan en el Golfo de México y el Mar Caribe, a las cuales se le agregan ocasionalmente las del Océano Pacífico. El segundo periodo corresponde al de estiaje, que comprende los meses de diciembre a junio (Domínguez et al., 1993)

Para obtener las precipitaciones y elegir las estaciones climatológicas se contó con la base de datos de la red meteorológica en tiempo real de la Comisión Federal de Electricidad. El número de estaciones localizadas en la zona de estudio fue de 12, de las cuales todas están activas.

Las estaciones elegidas fueron Chicoasén: Acala, Boquerón, Cañón del Sumidero, Chicoasén, Cristóbal Obregón, Monterrey, San Cristóbal, Santo Domingo, Santuario, Sierra Morena, Tres Picos y Tuxtla Gutiérrez, que son las que cuentan con información horaria. La tabla 1 muestra los parámetros geográficos de dichas estaciones.

Tabla 1. Parámetros geográficos de las estaciones analizadas

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ELEVACIÓN (msnm)
ACALA	N 16° 39' 19"	W 92° 57' 19"	393
BOQUERON	N 16° 36' 54"	W 93° 10' 11"	480
CAÑON DEL SUMIDERO	N 16° 44' 33.8"	W 93° 2' 2.8"	433
CHICOASEN	N 16° 56' 29"	W 93° 06' 03"	405
CRISTOBAL OBREGON	N 16° 26' 29"	W 93° 28' 01"	900
MONTERREY	N 16° 04' 03"	W 93° 23' 04"	850
SAN CRISTOBAL	N 16° 43' 38"	W 92° 36' 11"	2135
SANTO DOMINGO	N 16° 27' 09"	W 93° 03' 23"	500
SANTUARIO	N 16° 22' 25"	W 93°13' 52"	800
SIERRA MORENA	N 16° 09' 08"	W 93° 35' 28"	1120
TRES PICOS	N 16° 13' 38"	W 93° 34' 40"	1150
TUXTLA GUTIÉRREZ	N 16° 45' 42"	W 93° 05' 10"	532

Factores de ajuste por duración

En ocasiones, es necesario estimar la precipitación de diseño para duraciones menores de 24 horas, especialmente en cuencas pequeñas en las que el tiempo de concentración es menor que dicha duración, para estas duraciones por lo general es difícil contar con información en nuestro país, sin embargo el uso de factores de ajuste permite estimar la tormenta de diseño para cualquier duración a partir de una duración base, por ejemplo 24 horas, para la que se cuenta con registros de mayor longitud. (Guichard, 1998)

Procedimiento para obtener los factores de ajuste por duración:

- 1.- Las estaciones que se analizan deben de contar al menos con ocho o diez años de registros pluviográficos.

- 2.- Con la base de datos horarios de cada año, se encontró la precipitación máxima en una hora y en 24 horas.
- 3.- Con los valores de precipitación máxima calculados para cada una de las estaciones, se obtiene el cociente de la precipitación máxima en una hora con respecto a la precipitación máxima en 24 horas, para cada año.

$$R = \frac{P_{max}(1\ hora)}{P_{max}(24\ hrs)} \dots\dots\dots (1)$$

Curvas intensidad-duración-período de retorno (i-d-Tr)

Las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (i-d-Tr) se definen mediante tres variables: magnitud, duración y frecuencia. La magnitud de la lluvia es la altura total ocurrida en milímetros, en la duración de la tormenta (min, horas, etc). La duración es el periodo en el cual un evento de lluvia ocurre y la frecuencia usualmente se expresa por su periodo de retorno o su intervalo de recurrencia. El periodo de retorno, es una medida de la probabilidad de que un evento de una determinada magnitud sea igualado o excedido por lo menos una vez en un año cualquiera. Así, la precipitación de 100 años es la que tiene probabilidad p(x) del uno por ciento de presentarse o ser superada por lo menos una vez en un año cualquiera, dentro de ese periodo.

Las curvas (i-d-Tr) se utilizan en el diseño de sistemas de drenaje, incluyendo agrícola y en el diseño de estructuras hidráulicas como: presas, alcantarillas, puentes, etc.

En Aparicio (1997) se presentan dos métodos para calcular estas curvas; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación es:

$$i = \frac{kT^m}{(d + c)^n}$$

Donde k, m, n, y c, son constantes que se calcu-

lan mediante un análisis de correlación lineal múltiple. Si se toman logaritmos de la ecuación anterior, se obtiene:

$$\log i = \log k + m \log T - n \log(d + c)$$

$$\text{O bien } y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

Donde $y = \log i, a_0 = \log k, a_1 = m, x_1 = \log T, a_2 = -n, x_2 = \log(d + c)$

Al hacer un ajuste de correlación lineal múltiple de una serie de tres tipos de datos, se obtiene un sistema de ecuaciones como el siguiente:

$$\sum y = Na_0 + a_1\sum x_1 + a_2\sum x_2$$

$$\sum(x_1y) = a_0\sum x_1 + a_1\sum(x_1^2) + a_2\sum(x_1x_2)$$

$$\sum(x_2y) = a_0\sum x_2 + a_1\sum(x_1x_2) + a_2\sum x_2^2$$

Donde N, es el número de datos, y las incógnitas son $a_0, a_1, y a_2; x_1, x_2 y y$, son respectivamente los logaritmos del periodo de retorno, la duración (con el valor c agregado de ser necesario) y la intensidad, obtenidos de un registro de precipitación. Una vez calculados los coeficientes $a_0, a_1, y a_2$ es posible evaluar los parámetros k, m, y n.

A partir de los registros pluviográficos, se selecciona para cada año los valores máximos de precipitación asociados a diferentes duraciones

Se toman los valores de cada una de las series y se dividen por su duración en horas, obteniéndose así las intensidades en mm/h.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

Factores de ajuste por duración

De la base de datos mencionada, para cada estación y cada año de registro, se obtuvo el máximo de lluvia para una hora. Y, con el acumulado para 24 horas de duración, se obtuvo el máximo correspondiente a esta duración.

Posteriormente, se aplicó la ecuación 1, con lo que se obtuvo el factor R (Factor de ajuste por duración), para cada año y cada estación.

La tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 2. Factores de ajuste por duración para cada una de las 12 estaciones ubicadas en la cuenca Chicoasén.

AÑO	FACTOR (R)											ELEVACIÓN (msnm)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	PROMEDIO		
ACALA	0.6447	0.5111	0.7155	0.7468	0.5166	0.785	0.6635	0.4496	0.2962	0.592		393
BOQUERON	0.7678	0.3612	0.5522	0.7472	0.3751	0.8227	0.7838	0.4815	0.5486	0.604		480
CAÑÓN DEL SUMIDERO	-	-	-	-	-	0.9091	-	0.786	0.5612	0.752		433
CHICOASEN	0.339	0.5088	0.0747	0.839	0.1777	0.5652	0.4219	0.5236	0.5426	0.444		405
CRISTOBAL OBREGON	0.4772	0.6193	0.7452	0.4563	0.1439	0.5886	0.5382	0.5893	0.4314	0.51		900
MONTERREY	0.6117	0.6127	0.5036	0.3949	-	0.3427	0.5933	0.22	0.3245	0.45		850
SAN CRISTOBAL	0.4025	0.3678	0.4615	0.5666	0.3087	0.6587	0.357	0.4379	0.4316	0.444		2135
SANTO DOMINGO	0.8892	0.6514	0.8078	0.1174	0.4689	0.7196	0.6889	0.2884	0.4934	0.569		500
SANTUARIO	0.5288	0.8287	0.6328	0.5611	0.7145	0.8622	0.5	0.1576	0.7976	0.62		800
SIERRA MORENO	0.4722	0.4163	0.1237	0.2639	0.1149	0.1637	0.4266	0.1524	0.1734	0.256		1120
TRES PICOS	0.299	0.5533	-	-	0.4055	0.3031	0.4959	0.2128	0.2416	0.359		1150
TUXTLA	0.5684	0.7434	0.5039	0.1766	0.4	0.5578	0.551	0.657	0.4733	0.515		532
											TOTAL	0.51

Los resultados del Factor R presentados en la tabla anterior se representan, para cada una de las estaciones analizadas, en las figuras 2 y 3. En la figura 3 se han omitido los resultados de las estaciones Chicoasén y San Cristóbal ya que salen del intervalo de los resultados de las demás estaciones.

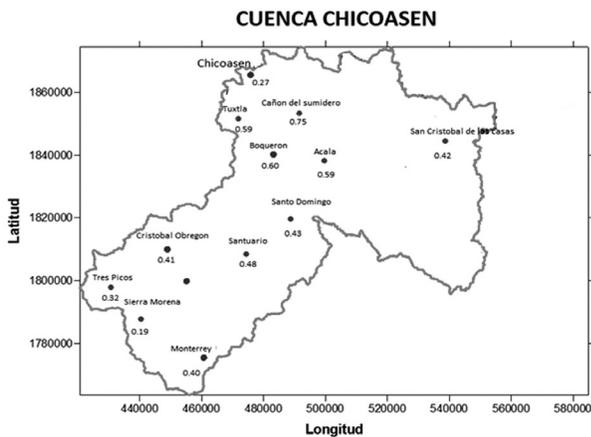


Figura 2: Promedio de los factores de ajustes por duración de las Estaciones Climatológicas analizadas en la Cuenca Chicoasén.

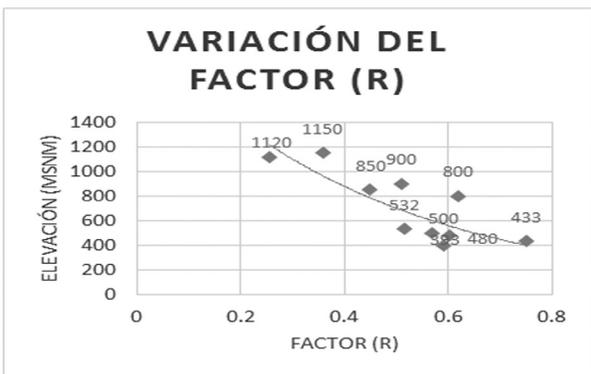


Figura 3: Variación del factor R con respecto a la elevación

De la tabla 2, y de las figuras 2 y 3 se pueden hacer los siguientes comentarios:

- 1) El valor promedio de la estación Cañón del Sumidero debe tomarse con reserva pues se obtuvo únicamente con tres años de registro.
- 2) El valor promedio total de R, de 0.51 (tabla 2) está en el intervalo propuesto por Mendoza (2001) de 0.40 y 0.6.
- 3) Se observa que, salvo las estaciones Sierra Morena y San Cristóbal, las demás estaciones tienen cierta tendencia al decremento del factor R con respecto a la elevación sobre el nivel del mar.

Curvas I-d-Tr

En la tabla 3, se resumen los resultados obtenidos respecto a las curvas i-d-T para las estaciones de la cuenca Chicoasén, se muestran los valores de los parámetros y la ecuación obtenida para cada una de las estaciones respectivamente.

Los resultados de la tabla 3 deben ser tomados con reserva pues se obtuvieron con un número máximo de 9 años, en las estaciones de análisis. Es-

Tabla 3. Parámetros y ecuaciones i-d-Tr obtenidos para las 12 estaciones ubicadas en la cuenca Chicoasén.

ESTACIÓN	PARAMÉTRROS			Ecuación de las curvas i-d-T
	k	m	n	
ACALA	38.2782952	0.30742424	-0.87485887	$i = \frac{38.2782952 T^{0.30742424}}{d^{0.87485889}}$
BOQUERON	35.7360383	0.36010013	-0.86466803	$i = \frac{35.7360383 T^{0.36010013}}{d^{0.86766803}}$
CAÑÓN DEL SUMIDERO	1.25617015	4.69701163	-0.95294334	$i = \frac{1.25617015 T^{4.69701163}}{d^{0.95294334}}$
CHICOASEN	15.7813998	1.83337458	-0.710858	$i = \frac{15.7813998 T^{1.83337458}}{d^{0.710858}}$
CRISTOBAL OBREGON	29.839983	0.42350213	-0.80064005	$i = \frac{29.839983 T^{0.42350213}}{d^{0.80064005}}$
MONTERREY	29.3878979	0.38800953	-0.7144202	$i = \frac{29.3878979 T^{0.38800953}}{d^{0.7144202}}$
SAN CRISTOBAL	24.4148871	0.40232091	-0.79062681	$i = \frac{24.4148871 T^{0.40232091}}{d^{0.79062681}}$
SANTO DOMINGO	47.4085491	0.28329054	-0.80722609	$i = \frac{47.4085491 T^{0.28329054}}{d^{0.80722609}}$
SANTUARIO	11.767481	2.4684604	-0.87279303	$i = \frac{11.767481 T^{2.4684604}}{d^{0.87279303}}$
SIERRA MORENA	31.964615	0.55019472	-0.60641955	$i = \frac{31.964615 T^{0.55019472}}{d^{0.60641955}}$
TRES PICOS	2.98199917	1.68199171	-0.65457807	$i = \frac{2.98199917 T^{1.68199171}}{d^{0.65457807}}$
TUXTLA GUTIÉRREZ	40.4241893	0.26209436	-0.86944134	$i = \frac{40.4241893 T^{0.26209436}}{d^{0.86944134}}$

pecialmente los que corresponden a las estaciones Cañon del Sumidero, Chicoasen, Santuario y Tres Picos, cuyos parámetros de las curvas i-d-Tr salen del intervalo del resto de las estaciones.

Por último, con los resultados de las curvas i-d-Tr, se hicieron mapas de isoyetas para distintas duraciones y períodos de retorno, a manera de ejemplo, en las figuras 4 y 5 se muestran los que corresponden a 5 y 100 años, para duración de una hora.

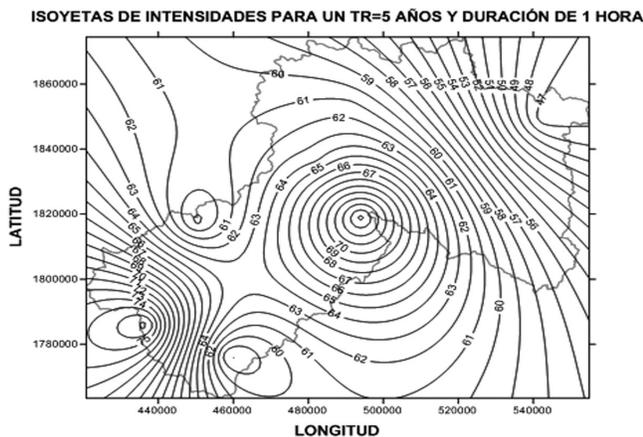


Figura 4. Isoyetas para duración de 1 hora y periodo de retorno de 5 años.

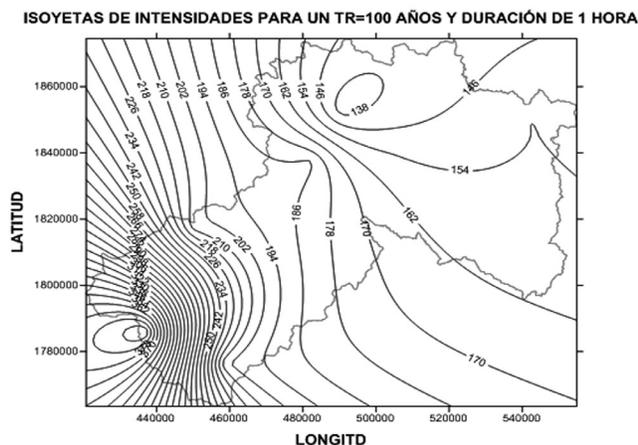


Figura 9. Isoyetas para duración de 1 hora y periodo de retorno de 100 años.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron los valores de los factores de ajuste por duración y las ecuaciones de las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (i-d-Tr), para las estaciones pluviográficas que están ubicadas en la cuenca de Chicoasén.

Se analizó un total de 12 estaciones que cuentan con registros de precipitaciones para una hora, con un máximo de nueve años por estación.

Los valores del Factor de Ajuste por Duración (R) muestran cierta tendencia de decremento con el aumento de la altura sobre el nivel del mar.

En relación con las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (i-d-Tr) obtenidas, éstas deben tomarse con reserva pues como se dijo, se obtuvieron con registros máximos de 9 años.

Por último, se dibujaron los mapas de isoyetas para duraciones de 1, 6, 12, 18 y 24 horas; para períodos de retorno de 5 y 100 años.

Los resultados obtenidos de los factores de ajuste por duración (R) podrían ser utilizados para el diseño de obras hidráulicas en la cuenca de Chicoasén, especialmente cuando se requieran precipitaciones asociadas a duraciones cortas. En el caso de las curvas i-d-Tr pueden ser utilizadas para cualquier duración de diseño y período de retorno.

REFERENCIAS

- Aparicio Mijares Francisco J, (1997), Fundamentos de Hidrología de Superficie, México, DF. Editorial Limusa
- Cruz Pérez Edgar Manuel, (2017) "Regionalización de llluvias en la cuenca de Chicoasén utilizando diferentes técnicas de homogeneidad regional y utilizando la altitud de las estaciones climatológicas como una variable para obtener isoyetas de precipitación asociadas a diferentes periodos de retorno". Tesis de Licenciatura, UNACH, México
- Domínguez, M.R., Mendoza, R.R., Alvarado, C.A, Márquez, U.L.E. (1993) "Operación integral del sistema hidroeléctrico del Río Grijalva". Informe final del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Para CFE.
- Guichard Romero Delva del Rocío (1998), "Regionalización de llluvias y escurrimientos en la cuenca del alto rio Grijalva, Tesis de Maestría, UNAM. México
- Labrada Montalvo Patricia(2016), Modelación llluvia – escurrimiento de parámetros distribuidos para la cuenca Chicoasén, Tesis de Licenciatura, UNAM, México.
- Mendoza Grande Manuel (2001) "Factores de Regionalización de llluvias máximas en la República Mexicana, Tesis de Maestría, UNAM.