



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
HIDRÁULICA

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO.
APLICACIÓN A LA REGION HIDROLÓGICA No 18.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MATEO HUMBERTO CRUZ GARCÍA

TUTOR PRINCIPAL
RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA, INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. OCTUBRE 2015

ÍNDICE

Índice

Capítulo 1

Introducción

Introducción.	2
1. Objetivos	3
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3

Capítulo 2

Aspectos Generales

2. Aspectos generales.	5
2.1. Conceptos básicos.	5
2.1.1. Precipitación.	5
2.1.2. Infiltración.	5
2.1.3. Escurrimiento superficial.	5
2.1.4. Tiempo de concentración.	5
2.2. Antecedentes.	6
2.3. Descripción de la zona de estudio.	6
2.3.1. Localización.	6
2.3.2. Hidrografía.	7
2.3.3. Clima	8
2.3.4. Geología.	9
2.3.5. Tipo y uso del suelo.	9
2.4. Planteamiento del problema.	12
2.5. Estado del arte.	12
2.5.1. Número de escurrimiento.	12
2.5.2. Coeficiente de escurrimiento	13
2.5.3. Capacidad de infiltración media	16

Capítulo 3

Metodología

3. Metodología.	19
3.1. Obtención de la información.	19
3.2. Cálculo de los atributos de cada cuenca.	19
3.2.1. Área drenada.	19
3.2.2. Longitud del cauce principal y pendiente del cauce principal.	19
3.2.3. Tiempo de concentración.	20
3.2.4. Precipitación media hp	20



Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región
Hidrológica no 18.

3.3.	datos registrados de precipitación.	20
3.3.1.	Simultaneidad de lluvias	20
3.4.	los datos registrados de escurrimiento.	21
3.4.1.	Técnica de las estaciones-año	21
3.4.2.	Cálculo de la precipitación efectiva empleando el coeficiente de escurrimiento.	26

Capítulo 4

Aplicación

4.	Aplicación a las cuencas de la Región Hidrológica No 18	28
4.1.	Características de cada subcuenca: área drenada, longitud del cauce principal, pendiente del cauce principal y tiempo de concentración.	28
4.2.	Obtención de la precipitación media para cada subcuenca	29
4.2.1.	Revisión de la simultaneidad de lluvias	38
4.2.2.	Ajuste estadístico para los promedios máximos de cada estación.	46
4.2.2.1.	Volumen total de lluvia.	50
4.3.	Obtención del gasto medio diario para cada cuenca	51
4.3.1.	Extrapolación de gastos mediante factores regionales por grupo.	57
4.4.	Coeficientes de escurrimiento.	62
4.5.	Método del Número de Curva.	66

Capítulo 5

Conclusiones

5.	Conclusiones	78
----	--------------	----

Capítulo 6

Bibliografía

6.	Bibliografía	81
----	--------------	----

Capítulo 7

Índices

7.	Índices	83
7.1.	Índice de tablas	83
7.2.	Índice de figuras	84



ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN.

En la República Mexicana la información climatológica es considerablemente mayor que la información hidrométrica, esto se puede cuantificar viendo que hasta 2013 México contaba con 5,459 estaciones climatológicas oficiales, de las cuales funcionan 3,332 y 717 estaciones hidrométricas oficiales, de las cuales sólo 309 tienen 20 o más años de registro y su funcionamiento no está alterado con alguna obra hidráulica. Por eso se requieren modelos lluvia escurrimiento que permitan estimar gastos de diseño en los sitios que no cuentan con información hidrométrica.

La estimación del escurrimiento, tanto instantáneo como medio diario con fines de estudios es el principal problema por resolver.

Actualmente, si se considera sólo la lluvia efectiva, se tienen diversos procedimientos para estimar los gastos de diseño:

- Fórmula racional (cuencas pequeñas).
- Hidrogramas unitarios instantáneos calibrados (cuando hay datos)
- Hidrogramas unitarios sintéticos.
- Modelos distribuidos.

Es en la estimación de la lluvia efectiva en donde encontramos mayor incertidumbre.

Dado que los métodos que se utilizan actualmente para obtener la lluvia efectiva están calibrados en el extranjero y, no sólo eso, a la vez son estudios bastante viejos y por lo tanto obsoletos, se deben realizar estudios nuevos, y sobre todo, en cuencas mexicanas, para poder tener una menor incertidumbre al momento de calcular y extrapolar los parámetros de dichos modelos, y en particular los relativos al coeficiente de escurrimiento, dado que este determina el volumen del hidrograma así como su valor máximo o pico. Estos métodos de uso común también nos guían por tipos y uso de suelo bastante obsoletos, ya que se relacionan más con lugares con cultivos, pastizales, y con mucha vegetación, sabiendo que hoy en día las problemáticas que se buscan solucionar son referidas a suelos más modificados, y usualmente urbanos.

Es por esto que en este trabajo se propone encontrar un procedimiento para obtener coeficientes de escurrimiento, y así poder determinar el comportamiento de la lluvia efectiva en las cuencas con una menor incertidumbre que con los métodos tradicionales.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener nuevos coeficientes de escurrimiento para la región hidrológica 18, regionalizados para que sean utilizados en el diseño y operación de obras hidráulicas.. Se empleó una metodología que reduce la incertidumbre de su cálculo

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las cuencas que nos puedan reflejar la precipitación y el gasto para un día.
- Encontrar la simultaneidad de lluvias en cada subcuenca de la Región Hidrológica No 18, para tener un análisis de lo llovido, debido a que cuando llueve en una cuenca, nunca es de manera uniforme.
- Obtener gastos máximos medios diarios para un día, para diferentes periodos de retorno.
- Obtener las lluvias simultáneas promedio en la cuenca para distintos periodos de retorno.

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 2 ASPECTOS GENERALES

2. ASPECTOS GENERALES.

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS.

2.1.1. PRECIPITACIÓN.

La precipitación es conocida como cualquier forma de hidrometeoro proveniente de la atmósfera que cae sobre la superficie terrestre (lluvia, llovizna, chubasco, nieve, etc.), esto no incluye a la neblina o el rocío ya que son formas de condensación.

2.1.2. INFILTRACIÓN.

La infiltración es el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares. Siendo la diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que esgurre por su salida el que recibe el nombre genérico de pérdidas. Se podría decir que las pérdidas se constituyen por la intercepción en el follaje de las plantas y lo que cae sobre las construcciones-la retención en charcos o en depresiones y la infiltración.

2.1.3. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.

El esgurrimento superficial es la parte de la precipitación que no se infiltra y que discurre por las corrientes fluviales superficiales, perennes, efímeras o intermitentes, y que regresa al mar o a otros cuerpos de agua; dicho esgurrimento viene afectado por el tipo y uso de suelo en el que la precipitación ocurre.

2.1.4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Es el tiempo que tarda una gota de agua en salir de la cuenca, desde el punto más alejado hasta el punto de salida. Si en una cuenca impermeable cayera uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo periodo, el gasto que saldría de la cuenca sería creciente hasta alcanzar el punto de equilibrio, en el cual el volumen de agua entrante (a causa de la lluvia) por unidad de tiempo es igual al gasto de salida de la cuenca (Aparicio Mijares, 2004). Por lo tanto, el tiempo de concentración depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua y de la velocidad que adquiere en el trayecto, la cual está en función tanto de la pendiente del terreno y del cauce, como de la rugosidad de la superficie del cauce. Una forma de estimarlo es la fórmula de Kirpich (ecuación 1).

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad 1$$

Donde t_c es el tiempo de concentración en horas, L es la longitud del cauce principal en metros y S es la pendiente del cauce principal, adimensional.

2.2. ANTECEDENTES.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La fuente más lejana del río Balsas es el pequeño río Zahuapan, apenas un arroyo del estado de Tlaxcala que nace en las vertientes nororientales del volcán La Malinche y continúa por la laguna de Atlangatepec. Ya en el estado de Puebla, el río llega a un tramo muy contaminado por los desechos y vertidos industriales. Luego se une al río Atoyac, que llega desde la sierra Nevada, con agua del deshielo de los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl llevando desde ahí ese nombre. Ya como Altoyac cruza la ciudad de Puebla de Zaragoza, la cuarta más poblada del país, y al poco llega a la presa Manuel Ávila Camacho o Presa de Valsequillo. Sigue el río avanzando hacia el suroeste por el estado de Puebla, pasando por las pequeñas localidades de Molcaxac, Huatlatlauca y Chigmecatitlan y recibiendo después las aguas del río Axamilpa. Continúa por San Mateo Mimiapan y Tehuizingo, para recibir después al río Mixteco y al Nexapa, justo cuando se adentra en el estado de Guerrero. Al poco, al recibir por la derecha al río Tlapaneco, da inicio nominalmente el río Balsas. La Cuenca del río Balsas comprende la Región Hidrológica No 18. Tiene una precipitación media anual de 978 milímetros: 1050 en las partes altas y 810 en la central.

La Región Hidrológica No 18 tiene una superficie hidrológica de 117 305 km², distribuidos en tres subregiones:

- Alto Balsas, con una superficie hidrológica de 50 464 km².
- Medio Balsas, con una superficie hidrológica de 31 887 km².
- Bajo Balsas, con una superficie hidrológica de 34 954 km².

2.3.1. LOCALIZACIÓN.

La cuenca del Río Balsas se ubica entre los meridianos 97° 30' y 103° 15' de longitud oeste y los paralelos 17° 20' y 20° de latitud norte. Colinda al norte con la Cordillera Neovolcánica; al oriente, con la Sierra Mixteca; al sur, con la Sierra Madre del Sur, y al poniente con una cadena de cerros que une la Sierra Madre del Sur con la Cordillera Volcánica.

En esta región se encuentran considerados 420 municipios, aproximadamente el 17% de los municipios del país; es decir, de los 2455 existentes en el Territorio Nacional, dichos municipios corresponden a los estados de Jalisco, Michoacán de Ocampo, Estado de México, Morelos, Tlaxcala, Puebla, Oaxaca (Figura 1).

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.



Figura 1. Cuenca del Río Balsas.

Dichos municipios se distribuyen en las tres subregiones de planeación de la siguiente manera:

- A la subregión Alto Balsas la integran 333 municipios, esto representa el 79% del total regional, siendo 23 municipios de Guerrero, 16 municipios del Estado de México, 33 municipios de Morelos, 78 municipios de Oaxaca, 127 municipios de Puebla y 56 municipios de Tlaxcala.
- A la subregión Medio Balsas la integran 48 municipios, esto representa el 12% del total regional, siendo 18 municipios de Guerrero, 13 municipios de Michoacán y 17 municipios del Estado de México.
- A la subregión Bajo Balsas¹ la integran 39 municipios, esto es el 9% del total regional, siendo 32 municipios de Michoacán, 4 municipios de Guerrero y 3 municipios de Jalisco.

2.3.2. HIDROGRAFÍA.

La Región Hidrológica número 18 Balsas se ha integrado en quince cuencas hidrológicas como se muestra en la Figura 3, la división se realizó a partir de las condiciones físicas que las definen y de las estructuras de control existentes, ya sean presas o estaciones hidrométricas. Lo anterior, a excepción de las cuencas cerradas, definidas exclusivamente por sus límites físicos. Por otro lado, para fines de planeación y manejo administrativo, la Región Hidrológica número 18 Balsas, se ha dividido en las Subregiones Hidrológicas Alto, Medio y Bajo Balsas. La primera está integrada por las cuencas hidrológicas Río Libres Oriental, Río Alto Atoyac, Río Nexapa, Río Bajo Atoyac,

¹ En el Diario Oficial de la Federación con fecha del 18 de mayo de 1998, para la subregión denominada “Bajo Balsas” se determinó el nombre oficial como “Tepaltepec”.

Río Mixteco, Río Tlapaneco y Río Amacuzac. La Subregión Hidrológica del Medio Balsas está formada por las cuencas hidrológicas Río Medio Balsas y Río Cutzamala. Por su parte, las cuencas hidrológicas de Río Tacámbaro, Río Cupatitzio, Río Zirahuén, Río Paracho, Río Tepalcatepec y Río Bajo Balsas, están consideradas en la Subregión Hidrológica Bajo Balsas.

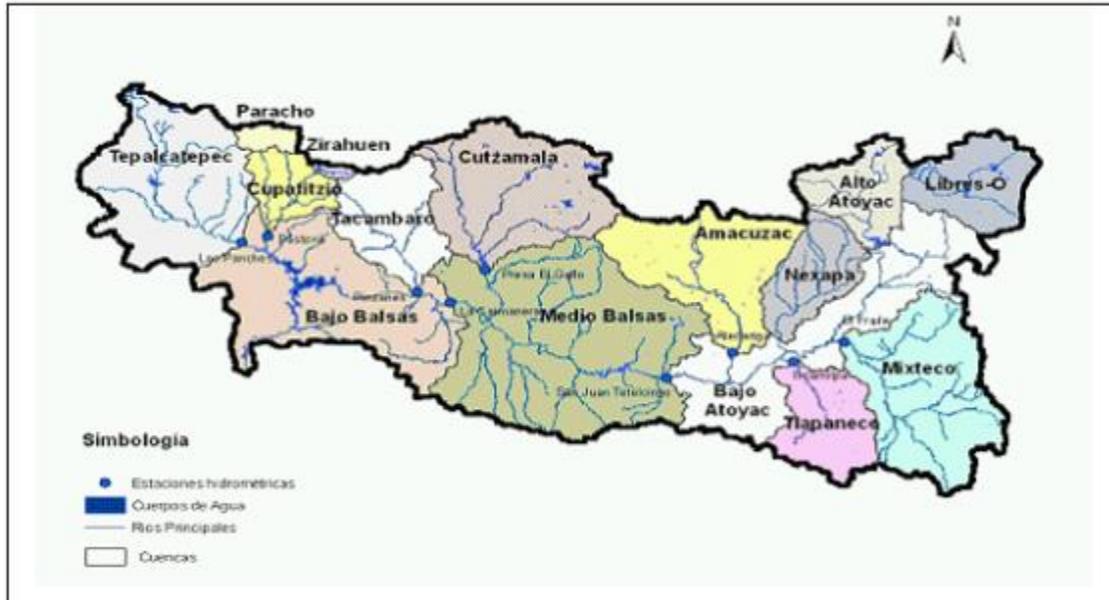


Figura 2. Subregiones y cuencas hidrológicas de la Región Hidrológica número 18 Balsas.

2.3.3. CLIMA

Más que cualquier otro factor es el clima el que determina las variaciones y la intensidad de los procesos físicos, químicos y biológicos que controlan al ecosistema fluvial. El propio régimen de descarga del río Balsas depende fundamentalmente de los procesos climáticos que se llevan a cabo en la cuenca de drenaje. Los flujos en el valle aluvial dependen enteramente de la precipitación y el volumen de agua disponible, esto es, de las diferencias entre la precipitación y la evapotranspiración.

El régimen de flujos tiene su origen principalmente en las características y el volumen de la precipitación sobre la cuenca fluvial. La proporción de la lluvia que llega a los canales del sistema fluvial depende, a su vez, del tipo de terrenos y de la cubierta vegetal de la propia cuenca.

Las lluvias se concentran en el periodo comprendido entre junio y septiembre. El clima predominante de la región es de tipo semicálido y subhúmedo con temperatura media anual de 22°C.

2.3.4. GEOLOGÍA.

Las formaciones de la faja volcánica Transmexicana, son integradas predominantemente por calizas, esquistos y areniscas del Cretácico inferior, y estuvieron sujetas a levantamientos por plegamientos y a grandes fracturas por donde se colaron materiales ígneos, que, a finales del Mesozoico y principios del Cenozoico, cubrieron una ancha faja, modificando profundamente el relieve. Ésta inmensa estructura fisiográfica presenta una gran continuidad orográfica, puertos muy elevados y parteaguas ininterrumpidos, lo que terminó por conveniencia en un límite climático y biogeográfico para la flora y la fauna de México.

2.3.5. TIPO Y USO DEL SUELO.

Existen básicamente tres tipos de suelos en la Región Hidrológica número 18: los no evolucionados, los poco evolucionados y los muy evolucionados; atendiendo al grado de desarrollo del perfil, la naturaleza de la evolución y el tipo de humus.

- Los suelos no evolucionados, son suelos brutos muy próximos a la roca madre. Apenas tienen aporte de materia orgánica. Si son resultado de fenómenos erosivos, pueden ser regosoles, si se forman sobre roca madre blanda, o litosoles, si se forman sobre roca madre dura. También pueden ser resultado de la acumulación reciente de aportes aluviales.
- Los suelos poco evolucionados dependen en gran medida de la naturaleza de la roca madre. Existen tres tipos básicos: los suelos ránker, los suelos rendzina y los suelos de estepa.
- Los suelos evolucionados, son los suelos que tienen perfectamente formados los tres horizontes. Encontramos todo tipo de humus, y cierta independencia de la roca madre.
- En la Región hidrológica número 18 Balsas, se presentan distintos tipos de suelos, claramente distribuidos en las cuencas de acuerdo con su origen, la descripción de éstos se presentan a continuación.

Dentro de la región hidrológica, se han identificado 17 tipos de suelos predominantes, de acuerdo con la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, en la Tabla 1, se presenta una lista de los principales tipos de suelo, en la Figura 3 se muestra cómo se encuentran distribuidos los tipos de suelo en la Región Hidrológica No 18.

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 1. Tipos de suelo en la Región Hidrológica No 18.

TIPO	ÁREA		TIPO	ÁREA	
	TOTAL kilómetros cuadrados	%		TOTAL kilómetros cuadrados	%
Acrisol	4,633.18	3.95	Litosol	29,559.48	25.20
Andosol	9,257.76	7.89	Luvisol	8,046.01	6.86
Cambisol	7,408.63	6.32	Planosol	5.96	0.01
Castañozem	599.50	0.51	Ranker	37.98	0.03
Chernozem	62.57	0.05	Regosol	27,069.97	23.08
Feozem	12,815.05	10.92	Rendzina	6,965.84	5.94
Fluvisol	1,481.68	1.26	Solonchak	241.09	0.21
Gleysol	39.28	0.03	Vertisol	7,555.90	6.44
H2O	1,077.20	0.92	Xerosol	274.93	0.23
Hh+Lk+Hc/2	8.61	0.01	ZU	165.28	0.14
TOTAL	37,383.46	31.86	TOTAL	79,922.44	68.14

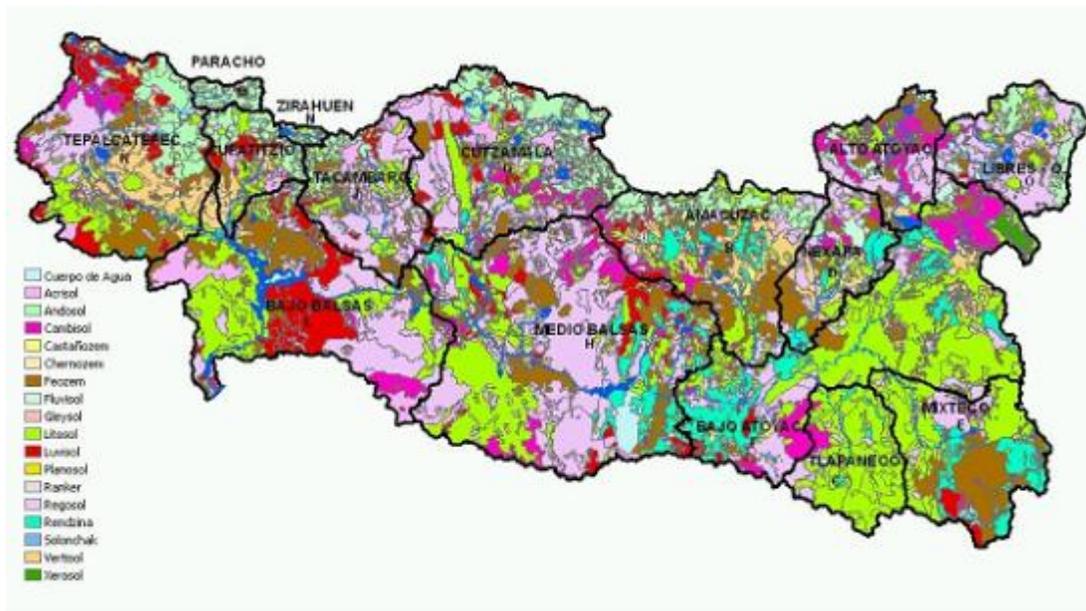


Figura 3. Distribución de los tipos de suelo en la Región Hidrológica No 18.

Las condiciones del relieve en la Región hidrológica número 18 y el tipo de suelos limitan el uso que se puede hacer del suelo, y cuando se utilizan zonas que naturalmente no son adecuadas para su uso agrícola, se propician alteraciones que han provocado erosión en grandes zonas, sobre todo en la zona mixteca. En la Tabla 2, se presentan los usos que se hacen del suelo en la región hidrológica.

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 2. Uso de suelo en la Región Hidrológica No 18.

USO	AREA	
	Kilómetros cuadrados	%
Area agrícola	30,844.33	26.29
Area sin vegetación	1,673.73	1.43
Bosque	32,364.38	27.59
Cuerpos de agua	635.35	0.54
Zonas urbanas	856.65	0.73
Matorral	1,448.02	1.23
Pastizal	17,797.65	15.17
Selva	27,067.53	23.07
Otros tipos de vegetación	4,618.27	3.94
TOTAL	117,305.91	100.00

En la Tabla 2, el mayor porcentaje del suelo en la Región Hidrológica número 18 está ocupado por bosque (cultivado, encino, encino, pino, oyamel, pino, pino-encino, táscate y mesófilo de montaña), con un 27.59%; concentrado en las grandes elevaciones. Situación que se puede revertir en el corto plazo, si se sigue como hasta ahora talando indiscriminadamente, como sucede en toda la región hidrológica (Figura 4).

Por otra parte, el 26.29% (30,844.33 kilómetros cuadrados) de la región hidrológica es utilizado para fines agrícolas; desafortunadamente, el 79% de esta área no está bajo riego, el 2% se riega eventualmente y sólo el 19% es de riego (5,753.29 kilómetros cuadrados), que equivale apenas al 4.9% de la superficie total de la región hidrológica. La selva (baja caducifolia, baja espinosa y mediana subcaducifolia) ocupa un 23.07% del territorio total de la región hidrológica.

Como se puede apreciar en la Figura 4, las áreas agrícolas están muy dispersas en toda la región hidrológica, salvo en los distritos de riego. El resto de estas áreas, se desarrollan en pequeños valles intermontanos y en las riberas de los cauces. Esta dispersión, hace muy compleja y costosa la incorporación a sistemas de riego tradicionales.

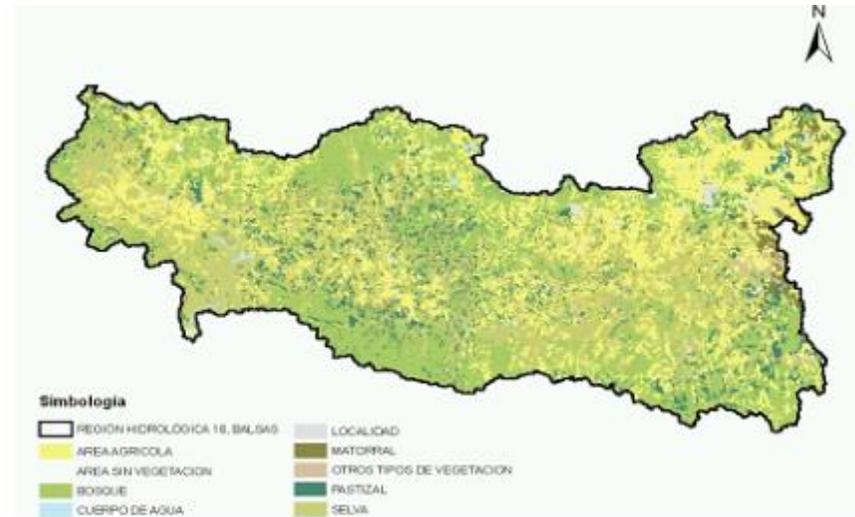


Figura 4. Usos del suelo en la Región Hidrológica No 18.

2.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Es común que no existan los registros necesarios de escurrimento, dado que hay muchas cuencas no aforadas en México, y esto limita la determinación de los parámetros necesarios para el diseño y operación de obras hidráulicas.

Usualmente se cuentan con registros de precipitación, pero estos registros, al no tener relación con el suelo, no se modifican por el tipo y uso de suelo de la cuenca. Es por esto que se requieren métodos para determinar el escurrimento, en los que intervienen las características de la cuenca.

La complejidad de los métodos para conocer las relaciones lluvia-escurrimento, varía en la cantidad de características de la cuenca utilizadas para el cálculo.

2.5. ESTADO DEL ARTE.

Actualmente los métodos para obtener una aproximación del escurrimento, relacionado con la precipitación y el uso de suelo son métodos calibrados en el extranjero, y con los cuales buscamos semejanzas con los datos que se cuentan en México.

2.5.1. NÚMERO DE ESCURRIMIENTO.

En la mayoría de los métodos para obtener el número de escurrimento C , es necesario contar con cuencas aforadas; es decir, que se hayan medido gastos de salida al mismo tiempo que las precipitaciones. Debido a que la mayor parte de las cuencas de

México no se encuentran aforadas, es necesario contar con métodos que estimen la altura de lluvia efectiva a partir de la total y las características de la cuenca.

El método propuesto por el *U.S. Soil Conservation Service*, permite conocer la lluvia efectiva a partir de la precipitación total y las características de la cuenca.

La altura de lluvia total se relaciona con la altura de lluvia efectiva, mediante unas curvas definidas algebraicamente calculadas con la expresión mostrada en la ecuación 2:

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad 2$$

Con P_e y P en centímetros.

La selección del el número N se hace según el uso y la cobertura del suelo, el tratamiento que tiene, la pendiente del terreno, así como el tipo del mismo (Aparicio Mijares, 2004).

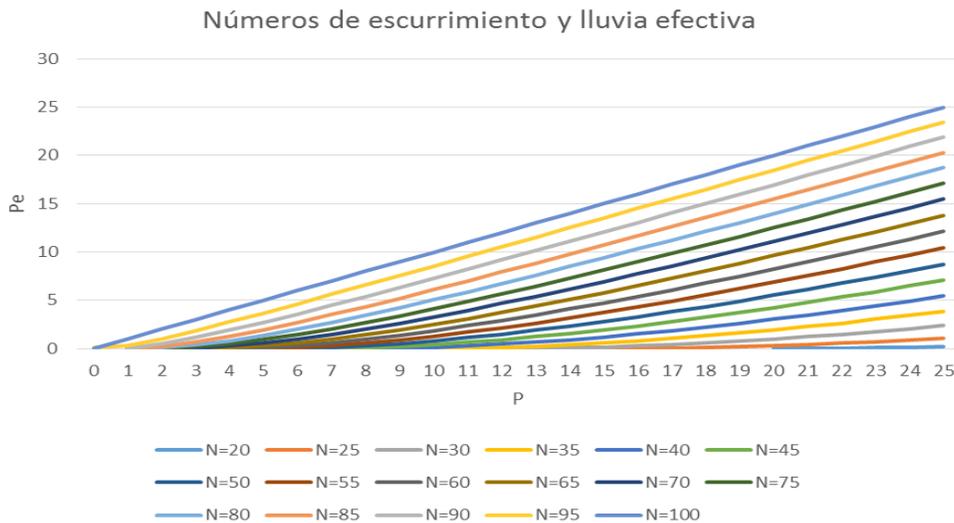


Figura 5. Precipitación Efectiva para diferentes números de esgurrimento.

2.5.2. COEFICIENTE DE ESGURRIMIENTO

El coeficiente de esgurrimento es la variable menos precisa del método racional. Su uso en la fórmula implica una relación entre la lámina de agua que llueve sobre una superficie, y la lámina de agua que esgurre.

$$C_e = \frac{P}{Q} \quad 3$$

En la ecuación 3 P es la precipitación y Q es la lámina de agua escurrida, ambos en las mismas unidades, El valor varía en función del tipo de uso del suelo (Tabla 3).

Tabla 3. Valores del coeficiente de escurrimiento (Aparicio Mijares, 2004).

TIPO DE ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÁXIMO	MÍNIMO
ZONAS COMERCIALES		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactados	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES		
Espaciado	0.50	0.70
Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.25
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.85
TECHADOS	0.75	0.95
PRADERAS		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

La selección apropiada del coeficiente de escurrimiento requiere del conocimiento y la experiencia por parte del hidrólogo. La proporción de la lluvia total que alcanzarán los drenajes de tormenta depende del porcentaje de permeabilidad de la pendiente y de las características de encharcamiento de la superficie. Superficies impermeables, tales como los pavimentos de asfalto o los techos de edificios, producirán una escorrentía de casi el ciento por ciento después de que la superficie haya sido completamente mojada, independientemente de la pendiente. Inspecciones de campo y fotografías aéreas pueden ser muy útiles en la observación de la naturaleza de la superficie dentro del área de drenaje.

Ven Te Chow (Chow, Maidment, & Mays, 1994) encuentra que el coeficiente de escurrimiento también depende de las características, las condiciones del suelo y de la magnitud de la lluvia. La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa y

también es influida por las condiciones de humedad antecedentes en el suelo. Otros factores que influyen en el coeficiente de esgurrimiento son la intensidad de lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión. Según Chow, debe escogerse un coeficiente razonable para representar los efectos integrados de todos estos factores. En la Tabla 4 se muestran algunos coeficientes escogidos para diferentes tipos de superficie, utilizados en Austin, Texas. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Tabla 4. Coeficientes de esgurrimiento para ser usados en el método racional.

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizada con autorización.

Como se observa en la Tabla 4 es necesario tener datos, tanto de uso de suelo como de pendiente, así como hay rangos de pendientes en las cuales se triplica la pendiente para un dato (como el rango de 2 a 7 por ciento), esto genera una incertidumbre mayor y un dato bastante inexacto al momento de seleccionar un coeficiente de esgurrimiento.

Z

2.5.3. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN MEDIA

Con este criterio se parte de la suposición que el suelo tiene una capacidad de infiltración constante durante toda la tormenta, de tal manera que, siempre que llueve con una intensidad menor que dicha capacidad, se infiltra todo lo que llueve, y cuando llueve con una intensidad mayor que la capacidad de infiltración, la diferencia esgurre.

Para calcular la capacidad de infiltración correspondiente a una tormenta dada, se utiliza el siguiente procedimiento

1. Del hidrograma de la avenida se separa el gasto base y se calcula el volumen de esgurrimiento directo.
2. Se calcula la “altura de la lámina de lluvia en exceso” (hp_e) como el cociente entre el volumen de esgurrimiento directo (V_{ed}) y el área de la cuenca (A_c).

$$hp_e = \frac{V_{ed}}{A_c} \quad 4$$

3. Se supone un valor \emptyset (índice de infiltración) constante en el hietograma de la tormenta y se determina la “altura de la lámina de lluvia en exceso” con dicho hietograma. Si esta altura es igual a la calculada en el paso 2, el valor de \emptyset es el correcto, si no, se propone otro y se repite el cálculo hasta obtener el correcto.

Ejemplo: en una cuenca de 36 km^2 se midieron el hietograma y el hidrograma mostrados en la Figura 6. , respectivamente. Determinar el índice de infiltración media que se tuvo durante la tormenta.

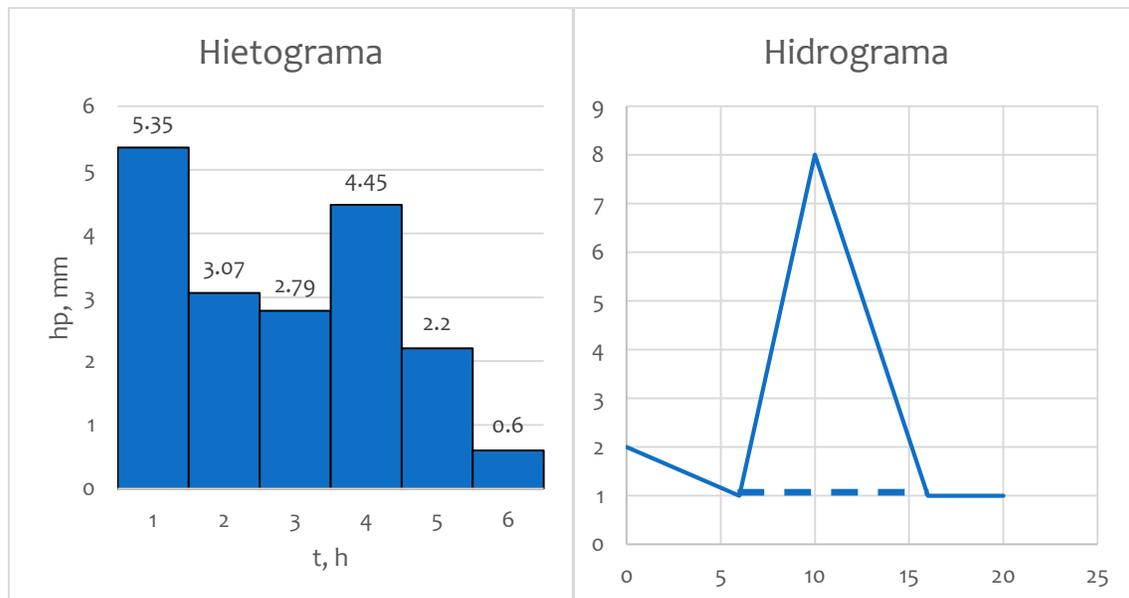


Figura 6. Hietograma e hidrograma para el ejemplo de índice de infiltración media.

a) Separación del gasto base y cálculo del volumen de esguerrimiento directo.

En el hidrograma de la Figura 6. se observa que, en este caso, la línea de separación entre gasto base y gasto directo es una recta horizontal. El volumen de esguerrimiento directo es entonces:

$$V_{ed} = \frac{10 \times 3\,600 \times 7}{2} = 126\,000 \text{ m}^3$$

b) Cálculo de la lluvia efectiva.

Para el cálculo de la lluvia efectiva se empleará la ecuación 6, por lo tanto, la altura de lluvia efectiva es:

$$hp_e = \frac{126\,000}{36 \times 10^6} = 0.0035 \text{ m} = 3.5 \text{ mm}$$

En la Tabla 5 se hacen algunos tanteos para encontrar el valor correcto de ϕ .

Tabla 5. Tanteos para encontrar el valor correcto de la capacidad de infiltración media (ϕ).

ϕ mm/h	hp_{e1} mm	hp_{e2} mm	hp_{e3} mm	hp_{e4} mm	hp_{e5} mm	hp_{e6} mm	$\sum hp_{ei}$ mm
4	1.35	0	0	0.45	0	0	1.8 \neq 3.5
3	2.35	0.07	0	1.45	0	0	3.87 \neq 3.5
3.15	2.20	0	0	1.30	0	0	3.50 \approx 3.5

En la Tabla 5, hp_{ei} es la altura de precipitación en exceso correspondiente a la i -ésima barra del hietograma. El índice de infiltración media es de 3.15 mm/h.

Nótese que si el intervalo de tiempo que duran las barras del hietograma de la Figura 6. hubiera sido de dos horas, ϕ sería de 3.15 mm/2 h o 1.575 mm/h y si $\Delta t = 0.5 \text{ h}$, $\phi = 3.15 \text{ mm}/0.5 \text{ h}$ o 6.30 mm/h.

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.



CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA.

Este estudio se orienta a la estimación de gastos de diseño, es por esto que a diferencia de los métodos tradicionales que estiman el coeficiente de escurrimiento a partir de datos de tormentas específicas, con este método se hace el cociente entre el volumen escurrido y el llovido obtenidos para distintos periodos de retorno, y así conocer gastos de diseño para los periodos de retorno correspondientes.

3.1. OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN.

El Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), cuenta con archivos de los que podemos extraer los datos de gastos para las estaciones hidrométricas, se extrajeron los datos para diferentes años y poder hacer el cálculo del volumen escurrido.

Para el volumen llovido se extrajeron datos de la base de datos del CLICOM, en la cual podemos encontrar bases de datos de precipitación diaria, siendo ésta base de datos la que se utilizó para conocer la precipitación en estaciones climatológicas cercanas a las hidrométricas a utilizar.

3.2. CÁLCULO DE LOS ATRIBUTOS DE CADA CUENCA.

3.2.1. ÁREA DRENADA.

El área drenada se obtiene de la descripción que proporciona el BANDAS de la CONAGUA, por ser la fuente oficial de la nación. Si en algún caso no se contara con esta información, se obtiene con una herramienta GIS, ubicando la estación hidrométrica correspondiente con sus coordenadas geográficas y utilizando el relieve del terreno para poder delimitar el parteaguas de la cuenca y así obtener el área drenada de ésta. Para ver la exactitud de los programas GIS, se comparan las estaciones que sí cuentan con el dato de área con el área obtenida por medio del programa GIS.

3.2.2. LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL.

La longitud del cauce principal y la pendiente del cauce principal de obtuvieron gracias a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2.3. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

El tiempo de concentración (t_c) se determinó con la longitud (L) y la pendiente del cauce principal, utilizando la fórmula experimental de Kirpich².

$$t_c = 0.000325 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad 5$$

Donde t_c en h, L en m y S adimensional, determinada con el método de la pendiente media.

3.2.4. PRECIPITACIÓN MEDIA HP

Se identifican las estaciones climatológicas ubicadas dentro o cerca de la cuenca asociada a cada estación hidrométrica analizada, el criterio de la cantidad de estaciones a utilizar se hace considerando las estaciones que se encuentren más cercanas a la cuenca trazando un radio proporcional al tamaño de la cuenca, el objetivo es utilizar la mayor cantidad de estaciones cercanas para asegurar que al momento de hacer un análisis simultáneo no perdamos una gran cantidad de estaciones al no coincidir en el registro, al mismo tiempo se requiere tener muchos años de registro en el que las estaciones trabajen simultáneamente; para cada cuenca se calculan las precipitaciones medias diarias máximas anuales. Una vez seleccionadas las estaciones se extrae la información de precipitación.

3.3. DATOS REGISTRADOS DE PRECIPITACIÓN.

Una vez depurados los datos de precipitación, es importante considerar que los eventos extremos de lluvia no ocurren de forma homogénea en toda la cuenca; es decir que no se presentan de forma simultánea en todas las estaciones climatológicas los valores máximos anuales de lluvias, es por esto que si se calcula la precipitación media considerando el valor máximo puntual en cada estación se sobreestimaría la lluvia media. Es por esto que se requiere hacer un análisis simultáneo, o sea cuando se disponga la mayor cantidad de estaciones registrando la lluvia para una cuenca.

3.3.1. SIMULTANEIDAD DE LLUVIAS

Para la simultaneidad se selecciona un periodo de análisis en el que se cuente con la mayor cantidad de años de registro, así mismo se disponga con la mayor cantidad posible de estaciones climatológicas cercanas o dentro de la cuenca.

² (Aparicio Mijares, 2004)

Para cada día se calcula el promedio aritmético de la lluvia y se selecciona en cada año el valor máximo para realizar un análisis de frecuencias y estimar eventos para diferentes periodos de retorno, esto encontrando la mejor distribución de probabilidad.

Con los datos obtenidos se procede a calcular el volumen total de lluvia (ecuación 6):

$$V = PA \quad 6$$

Donde A es el área de la cuenca y P es el dato de precipitación extrapolado.

3.4. LOS DATOS REGISTRADOS DE ESCURRIMIENTO.

Utilizando la información contenida en el Banco nacional de datos de aguas superficiales (BANDAS), se extraen los datos de escurrimento para cada estación hidrométrica y así seleccionar los años con sus respectivos gastos máximos anuales para un día, y realizar un ajuste regional de los gastos medios máximos anuales, este ajuste se realiza regionalizando las estaciones basándose en algunas características similares, principalmente el coeficiente de variación, y regionalizando los datos de gasto con la técnica de las estaciones-año.

3.4.1. TÉCNICA DE LAS ESTACIONES-AÑO

Este método considera el tratamiento de una sola muestra de datos conformada por un registro estandarizado de eventos, el cual una vez que se construye se ajusta a un conjunto de distribuciones de probabilidad. Esta técnica regional a diferencia de otras no requiere que las muestras tengan una longitud de registro común.

Con referencia al tamaño de muestra aceptable en cada muestra participante en el análisis, se recomienda que sea mayor de 10 años. Esta recomendación no es del todo estricta, ya que si se tiene un sitio con; por ejemplo, 9 años, pero dentro de este están eventos extremos que puedan afectar el comportamiento del fenómeno en la región, entonces se deberán incluir en el estudio (Escalante Sandoval & Reyes Chávez, 2008).

Existe otra recomendación en cuanto el número de estaciones-año que se requieren para una correcta estimación del evento \hat{Q}_T , y que es $L \geq 5T$ donde \hat{Q}_T es el gasto estimado para cada periodo de retorno y T es el periodo de retorno requerido en años.

La secuencia puede resumirse como:

1. Probar dentro de la región analizada la homogeneidad de las series de datos para este propósito se emplean las pruebas de homogeneidad (Helmert, t de Student, Cramer, Pettit, Fisher, etc.).
2. Se obtienen los estadísticos muestrales de las series: \bar{x} , S^2 , S , g , k , C_v . Donde \bar{x} es la media de la serie, S^2 es la varianza, S es la desviación estándar, g es el coeficiente de asimetría, k es el coeficiente de curtosis y C_v es el coeficiente de varianza.
3. Para cada serie se verifica la independencia de eventos mediante la prueba de Anderson.
4. Para cada serie se genera una muestra modulada de la forma:

$$hp = \frac{HP}{\bar{x}} \quad 7$$

Donde hp es la altura de precipitación modulada, HP es la altura de precipitación medida y \bar{x} es la media de la serie.

5. Se forma el registro llamado “estaciones-año” con todos los eventos modulados.
6. El registro se ordena de mayor a menor y se le asigna un periodo de retorno.

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad 8$$

Donde:

- T Periodo de retorno en años.
 n Tamaño de muestra del registro estaciones-año.
 m Número de orden del registro, desde $m = 1, 2, \dots, n$.
 P Probabilidad de no excedencia.

7. Al registro formado en el punto 5 se le ajustan diferentes distribuciones de probabilidad para el análisis de máximos, y se selecciona aquella que proporcione el mínimo error estándar de ajuste.
8. Una vez obtenida la distribución de mejor ajuste, es posible estimar los eventos regionales para diferentes periodos de retorno, los cuales serían válidos para cualquier punto dentro de la zona analizada.

$$T = 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 \text{ y } 10000 \text{ años}$$

Los grupos en los que se dividen las estaciones hidrométricas para la Región Hidrológica No 18 se pueden observar en la Tabla 6, a estos grupos se les aplicará la técnica estaciones-año.

Estimación Regional de Coeficientes de Esguurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 6. Resumen de grupos para la Región hidrológica No 18.

Estación	Nombre	Máximo	Media	Desv est	Coef var	Mínimo	Área, km ²	Media 1día	inst/1día	Grupos
18481	LA CAIMANERA	9906.00	2643.80	1737.30	0.66	826.00	80592.48	2727.96	0.97	1
18230	SANTO TOMÁS	3881.00	1569.48	748.47	0.48	405.21	59153.00	1311.16	1.20	3
18439	SAN JUAN TETELCINGO	3264.00	1329.19	572.35	0.43	382.00	45361.70	1071.74	1.24	3
18434	EL FRAILE	1569.74	498.87	275.00	0.55	201.00	11175.50	341.85	1.46	3
18494	LOS PANCHES	4778.00	1167.62	1009.52	0.86	128.00	11596.40	774.85	1.51	2
18459	RIO GRANDE	136.00	73.70	23.22	0.32	10.00	943.50	39.21	1.88	3
18432	IXCAMILPA	3210.00	586.30	472.63	0.81	159.00	4946.60	309.40	1.89	2
18487	LOS PINZANES	5422.00	924.31	896.87	0.97	146.00	5525.10	448.49	2.06	1
18195	ZIRITZICUARO	1230.20	534.52	289.06	0.54	155.00	1701.40	215.78	2.48	1
18201	EL CAJON	1116.00	264.98	242.08	0.91	28.12	395.00	100.95	2.62	2
18495	LA PASTORIA	2873.00	891.10	527.68	0.59	365.00	2655.90	307.22	2.90	1
18461	ZITACUARO	297.47	112.92	56.47	0.50	40.90	372.50	20.44	5.53	1
18129	LOS GRANJENOS	258.00	50.96	50.42	0.99	11.00	171.40	13.67	3.73	2
18281	LA LIMONERA	673.56	316.48	114.10	0.36	173.00	1681.30	78.55	4.03	1
18460	RIO CHIQUITO	107.75	55.99	21.38	0.38	12.00	247.80	16.71	3.35	1

Los ajustes para la obtención de los factores se pueden observar en la Figura 7. y la Figura 8. ; y los factores extrapolados obtenidos para cada grupo de la Región Hidrológica No 18 se ven en la Tabla 7³.

³ Las cuencas que cumplen con las características para ser analizadas se encuentran sólo dentro de los grupos 1 y 2, por lo tanto son los que se muestran.

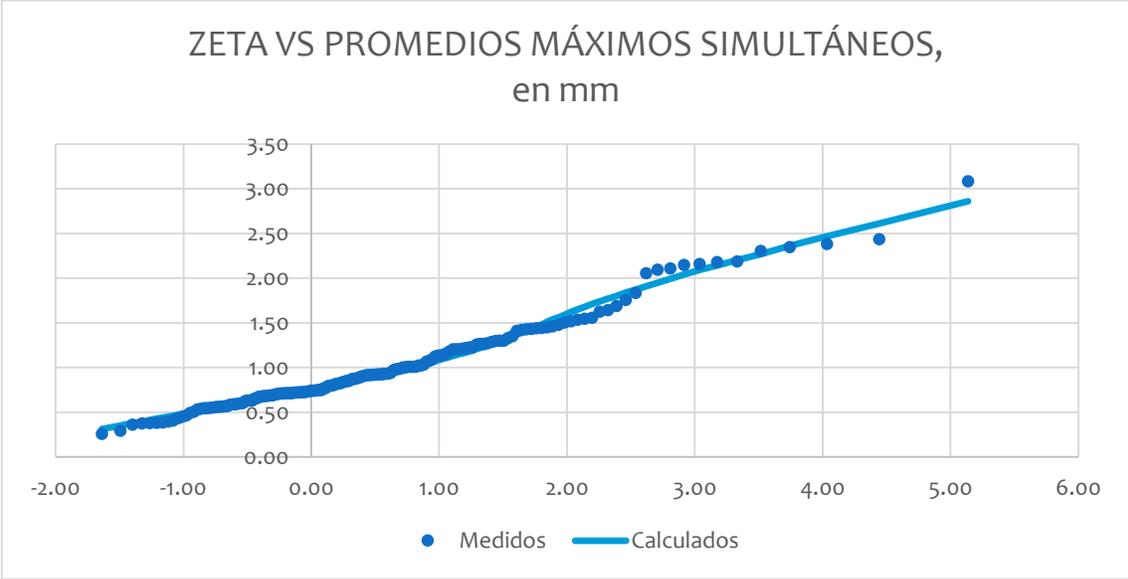


Figura 7. Ajuste del Grupo 1 por el método Estaciones-Año.

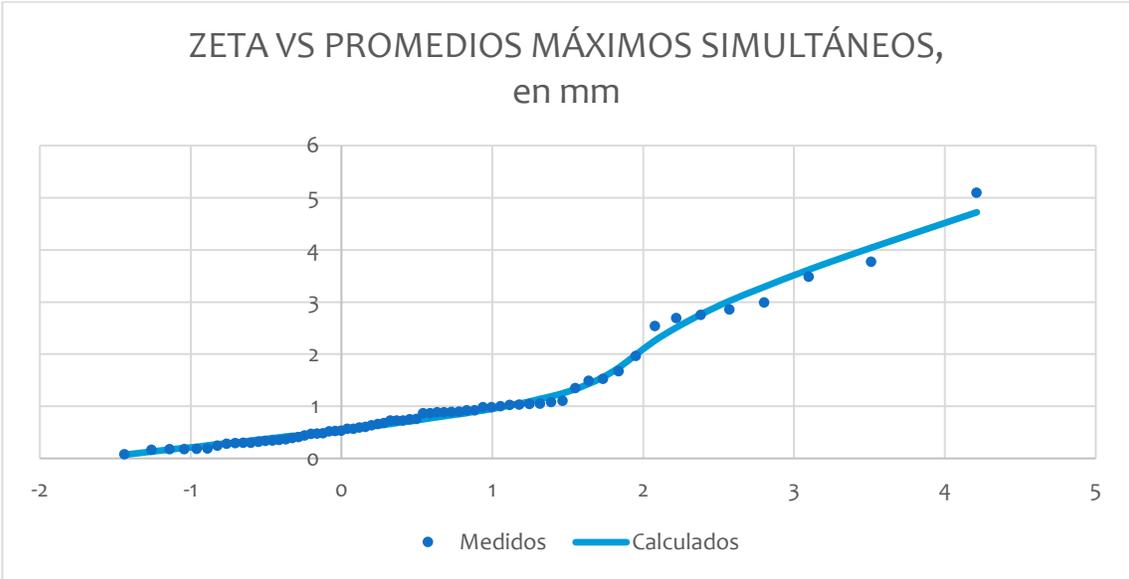


Figura 8. Ajuste del Grupo 2 por el método Estaciones-Año.

Estimación Regional de Coeficientes de Esguurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 7. Factores para el gasto de diseño regional por grupos, Región Hidrológica No 18.

RH 18		
Periodo de Retorno	Grupo 1	Grupo 2
2	0.87	0.68
5	1.31	1.28
10	1.74	2.56
20	2.06	3.48
50	2.42	4.42
100	2.67	5.08
200	2.92	5.72
500	3.24	6.55
1000	3.48	7.18
2000	3.73	7.8
5000	4.04	8.61
10000	4.29	9.22

Con los valores de gastos extrapolados para distintos periodos de retorno se obtienen los volúmenes de esguurrimiento directo diario (V_e) de la siguiente forma:

$$V_e = 86400Q \quad 9$$

Donde Q es el gasto extrapolado y 86400 los segundos que contiene un día.

Estimación del coeficiente de esguurrimiento

Una vez obtenidos los volúmenes llovidos y los volúmenes de esguurrimiento directo, se procede a calcular los coeficientes de esguurrimiento con la ecuación:

$$C_e = \frac{V_e}{V} \quad 10$$

Donde C_e es el coeficiente de esguurrimiento, V_e es el volumen de esguurrimiento y V es el volumen llovido; tanto el volumen llovido como el esguurrido se obtienen para distintos periodos de retorno y así obtener un coeficiente de esguurrimiento para cada periodo de retorno.

3.4.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA EMPLEANDO EL COEFICIENTE DE ESGURRIMIENTO.

Así, con los datos de precipitación extrapolada y los datos de coeficiente de esgurrimento calculado, se obtiene la precipitación efectiva para cada periodo de retorno empleando la ecuación:

$$P_e = C_e P$$

11

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 4 APLICACIÓN

4. APLICACIÓN A LAS CUENCAS DE LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18

La aplicación del método se realiza a la Región hidrológica No 18, por lo tanto se requiere conocer los datos de las subcuencas que la componen, así como la mayor cantidad de información de lluvia y esguerrimiento.

4.1. CARACTERÍSTICAS DE CADA SUBCUENCA: ÁREA DRENADA, LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL, PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL Y TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

Se calculan los atributos para cada estación hidrométrica, los cuales se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Estaciones hidrométricas de la Región Hidrológica No 18 y sus características.

Clave	Nombre de la estación	Área drenada A (km^2)	Pendiente del cauce principal S	Longitud del cauce principal L (km)
18129	LOS GRANJENOS	171	0.036	30
18195	ZIRITZICUARO	1,701	0.030	94
18201	EL CAJON	395	0.03	54
18281	LA LIMONERA	1,681	0.031	72
18459	RIO GRANDE	944	0.017	63
18460	RIO CHIQUITO	248	0.050	34
18461	ZITACUARO	373	0.049	33
18495	LA PASTORIA	2,656	0.025	122

La selección de las estaciones hidrométricas a utilizar se hizo separando aquellas que cumplieran ciertos requisitos, como el tiempo de concentración (t_c) menor a doce horas, así como un factor Q_m (12) menor a 0.5, si el gasto medio es mucho menor que el instantáneo, el esguerrimiento se encuentra en horas y el gasto base no es muy importante.

$$\text{Factor } Q_m = \frac{Q_{m1d}}{q_{mi}} \quad 12$$

Donde Q_{m1d} es la media de los gastos diarios máximos anuales para un día y q_{mi} es la media de los gastos instantáneos máximos anuales. Con esto se busca asegurar que el evento de lluvia ocurra en un día; es decir, si tenemos un tiempo de concentración menor a doce horas es probable que el hidrograma esté concentrado en un solo día, y si tenemos el factor menor a 0.5 aseguramos que el pico se encuentre concentrado, igual, dentro de un día. En la Tabla 9 se observa las estaciones hidrométricas a utilizar, según el criterio anterior.

Tabla 9. t_c y factor Q_m .

Clave	Nombre de la estación	Tiempo de concentración t_c (h)	Factor Q_m Q_{1d}/q_{mi}	Cumplen ambas características
18129	LOS GRANJENOS	3	0.2682	✓
18195	ZIRITZICUARO	8	0.4007	✓
18201	EL CAJON	6	0.3810	✓
18281	LA LIMONERA	7	0.2482	✓
18459	RIO GRANDE	8	0.8063	
18460	RIO CHIQUITO	3	0.2989	✓
18461	ZITACUARO	3	0.2868	✓
18495	LA PASTORIA	11	0.3448	✓

4.2. OBTENCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA PARA CADA SUBCUENCA

Se procede a emplear la metodología vista en 3.2.4 para identificar las estaciones climatológicas a emplear para cada subcuenca, esto se observa de la Figura 9. a la Figura 15. Para cada subcuenca se calculan las precipitaciones medias diarias máximas anuales. De la Tabla 10 a la Tabla 16 se enlistan las estaciones climatológicas seleccionadas para cada estación hidrométrica, con las cuales se procede a hacer el análisis de simultaneidad⁴.

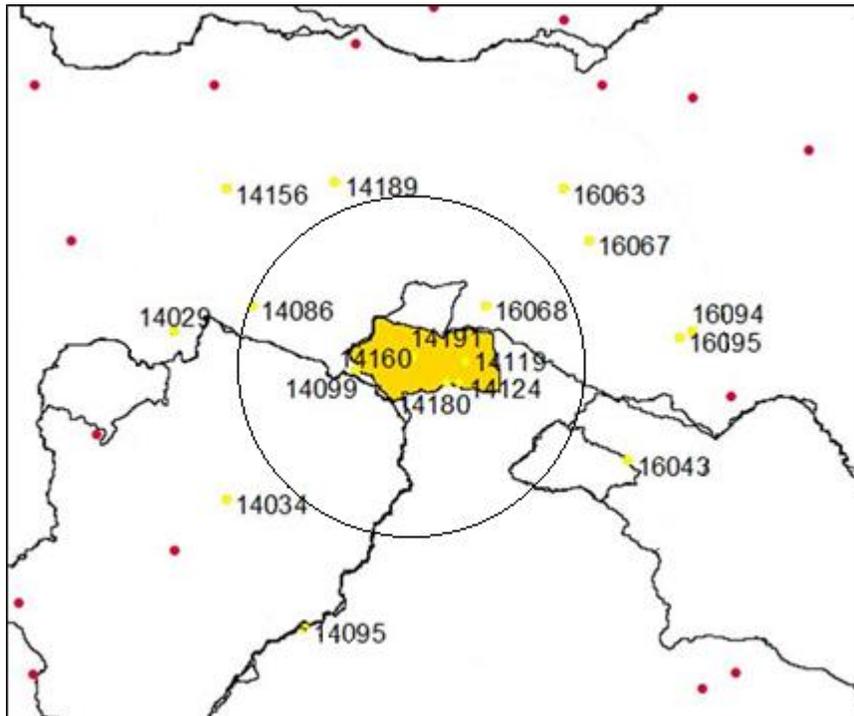


Figura 9. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18129.

⁴ Los datos de precipitación se depuraron analizando los datos extraños, quedando una base de datos adecuada para trabajar.

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 10. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18129.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
14086	LA MANZANILLA DE LA PAZ	MANZANILLA DE LA PAZ	L. DE CHAPALA	RIO TAMAZULA
14099	MAZAMITLA	MAZAMITLA	RIO COAHUAYANA	RIO TAMAZULA
14119	QUITUPAN (CFE)	QUITUPAN	RIO SAN NICOLAS-CUITZMALA	L. SAN JUANICO
14124	SAN DIEGO	QUITUPAN	RIO VERDE GRANDE	L. SAN JUANICO
14180	QUITUPAN (DGE)	QUITUPAN	RIO SAN NICOLAS-CUITZMALA	L. SAN JUANICO
14191	VALLE DE JUAREZ (SMN)	VALLE DE JUAREZ	RIO SAN NICOLAS-CUITZMALA	RIO TAMAZULA
16068	LAS FUENTES	SAHUAYO	L. DE CHAPALA	L. SAN JUANICO

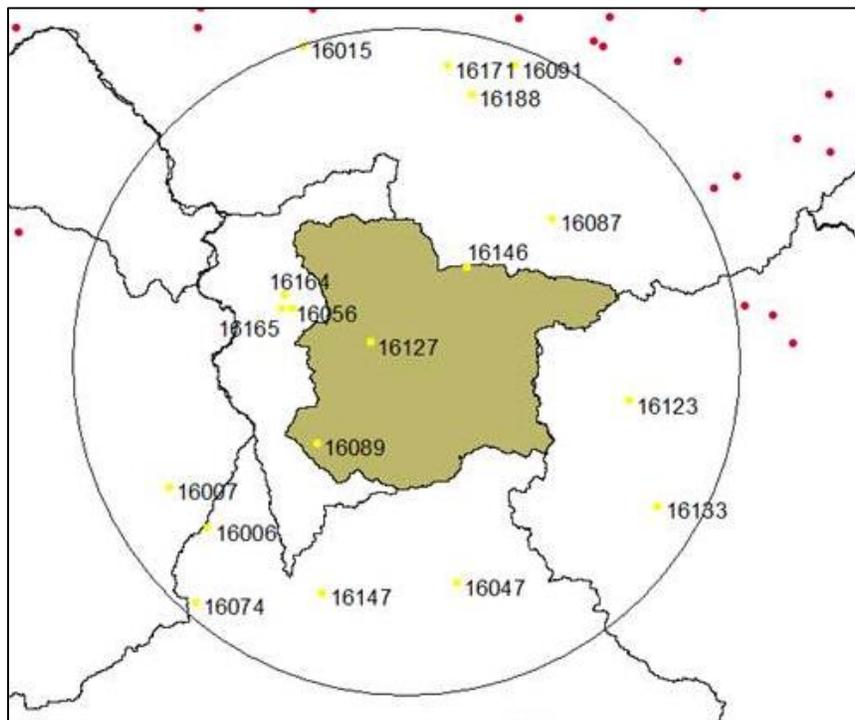


Figura 10. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18195.

Tabla 11. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18195.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
16006	ANTUNEZ	PARACUARO	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16007	APATZINGAN (SMN)	APATZINGAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16015	CARAPAN	CHILCHOTA	RIO LERMA-CHAPALA	RIO SALTO LA TZARARACUA

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
16047	EL ZAPOTE	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16056	JICALAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16074	LOS PANCHES (CFE)	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16087	PATZCUARO	PATZCUARO	L. PATZCUARO- CUITZEO-YURIRIA	L. PATZCUARO
16089	PLANTA EL COBANO (CFE)	GABRIEL ZAMORA	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16091	ALVARO OBREGON (DGE)	ALVARO OBREGON	L. PATZCUARO- CUITZEO-YURIRIA	L. DE CUITZEO
16123	TACAMBARO	TACAMBARO	RIO TACAMBARO	RIO FRIO
16127	TARETAN (CFE)	TARETAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	L. ZIRAHUEN
16133	TURICATO	TURICATO	RIO TACAMBARO	RIO FRIO
16146	ZIRAHUEN	PATZCUARO	L. PATZCUARO- CUITZEO-YURIRIA	L. ZIRAHUEN
16147	ZIRITZICUARO	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16164	URUAPAN (SMN)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16165	URUAPAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16171	ZACAPU (SMN)	ZACAPU	RIO LERMA-CHAPALA	L. PATZCUARO
16188	TIRINDARO	ZACAPU	RIO LERMA-CHAPALA	L. PATZCUARO

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

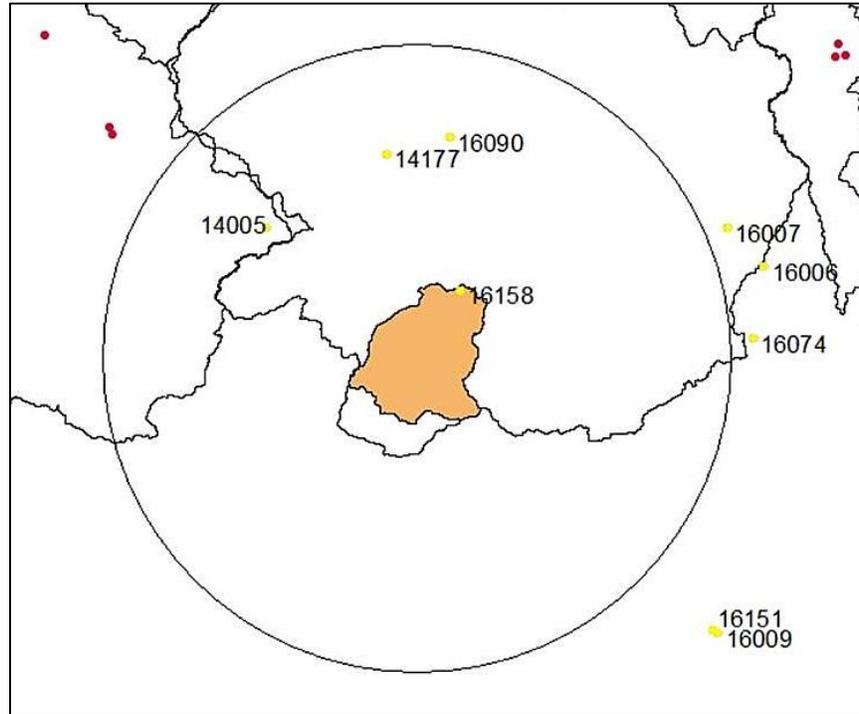


Figura 11. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18201.

Tabla 12. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18201.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
14005	AHUIJULLO	TECALITLAN	RIO COAHUAYANA	RIO MARAVILLAS
14177	LOS OLIVOS	JILOTLAN DE LOS DOLORES	RIO COAHUAYANA	RIO MARAVILLAS
16006	ANTUNEZ	PARACUARO	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16007	APATZINGAN (SMN)	APATZINGAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16009	ARTEAGA	ARTEAGA	RIO NEXPA-MICHOACAN	RIO TOSCANO
16074	LOS PANCHES (CFE)	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16090	PIEDRAS BLANCAS (CFE)	BUENAVISTA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16151	ARTEAGA (CFE)	ARTEAGA	RIO CACHAN O COALCOMAN	RIO TOSCANO
16158	EL CAJON	TEPACALTEPEC	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

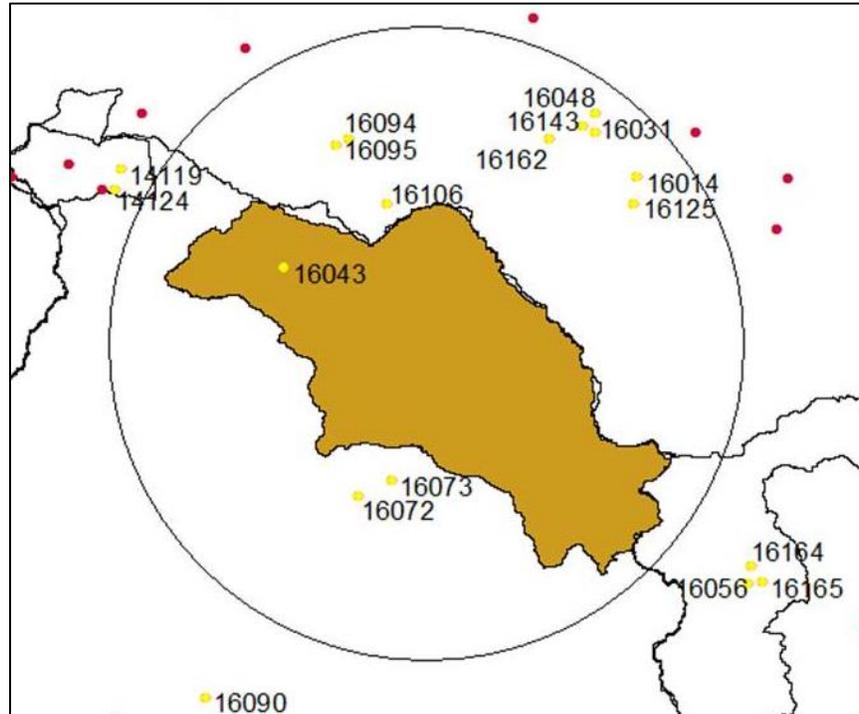


Figura 12. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18281.

Tabla 13. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18281.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
14119	QUITUPAN (CFE)	QUITUPAN	RIO SAN NICOLAS-CUITZMALA	L. SAN JUANICO
14124	SAN DIEGO	QUITUPAN	RIO VERDE GRANDE	L. SAN JUANICO
16007	APATZINGAN (SMN)	APATZINGAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16014	CAMECUARO	TANGANCICUARO	RIO LERMA-CHAPALA	L. SAN JUANICO
16031	CHAPARACO	ZAMORA	RIO LERMA-CHAPALA	L. SAN JUANICO
16043	EL PUERTO	COTIJA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	L. SAN JUANICO
16048	ZAMORA (DGE)	ZAMORA	RIO LERMA-CHAPALA	L. SAN JUANICO
16056	JICALAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16072	LOS CHORROS DEL VARAL (CFE)	LOS REYES	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16073	LOS LIMONES (CFE)	LOS REYES	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16090	PIEDRAS BLANCAS (CFE)	BUENAVISTA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16094	PRESA GUARACHA	VILLAMAR	L. DE CHAPALA	L. SAN JUANICO
16095	PRESA JARIPO	VILLAMAR	L. DE CHAPALA	L. SAN JUANICO
16106	SAN ANGEL	TINGICANDIN	L. DE CHAPALA	L. SAN JUANICO
16125	TANGANCICUARO	TANGANCICUARO	RIO LERMA-CHAPALA	L. SAN JUANICO

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
16143	ZAMORA (OBS)	ZAMORA	RIO LERMA-CHAPALA	L. SAN JUANICO
16162	ORANDINO	JACONA	RIO LERMA-CHAPALA	RIO LERMA
16164	URUAPAN (SMN)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16165	URUAPAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC- INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA

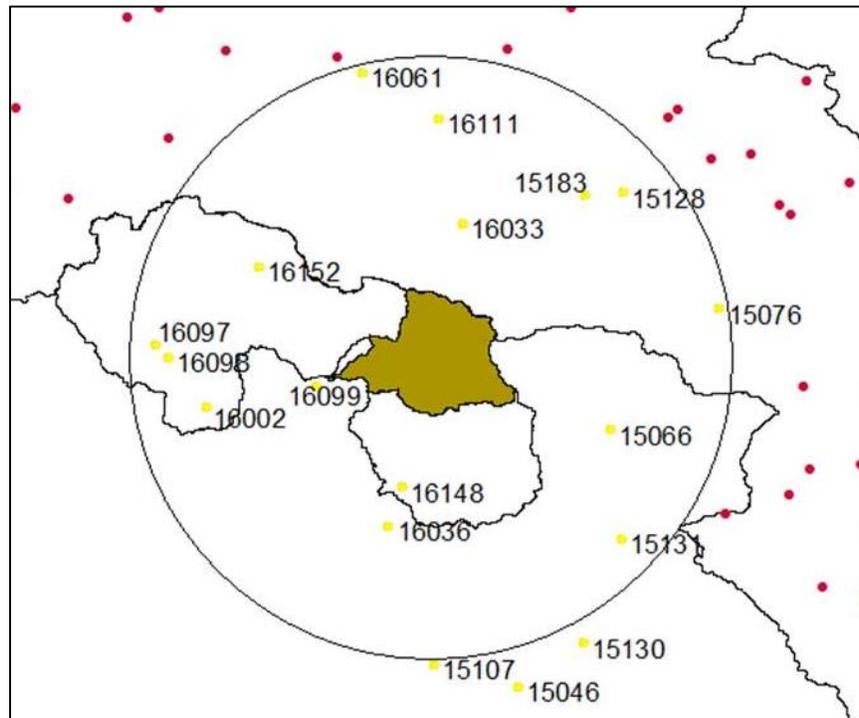


Figura 13. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18460.

Tabla 14. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18460.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
15046	PRESA COLORINES (CFE)	VALLE DE BRAVO	RIO CUTZAMALA	RIO VALLE DE BRAVO
15066	PALIZADA	VILLA VICTORIA	RIO LERMA-TOLUCA	P. VILLA VICTORIA
15076	PRESA TEPETITLAN	SAN FELIPE DEL PROGRESO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
15107	SANTA BARBARA (CFE)	NUEVO SANTO TOMAS	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC
15128	TULTENANGO	EL ORO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
15130	PRESA VALLE DEL BRAVO (CFE)	VALLE DE BRAVO	RIO CUTZAMALA	RIO VALLE DE BRAVO
15131	VILLA DE ALLENDE	VILLA DE ALLENDE	RIO CUTZAMALA	P. VILLA VICTORIA
15183	EL ORO	EL ORO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
16002	AGOSTITLAN (CFE)	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
16033	CHINCUA	SENGUIO	RIO LERMA-TOLUCA	P. MATA DE PINO
16036	EL BOSQUE (CFE)	ZITACUARO	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC
16061	LAGUNA DEL FRESNO	MARAVATIO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPUXTEPEC
16097	PRESA PUCUATO	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO
16098	PRESA SABANETA	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO
16099	PRESA TUXPAN (CFE)	TUXPAN	RIO BALSAS- INFIERNILLO	P. MATA DE PINO
16111	SAN JOSE	MARAVATIO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPUXTEPEC
16148	ZITACUARO	ZITACUARO	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC
16152	CIUDAD HIDALGO (SMN)	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO

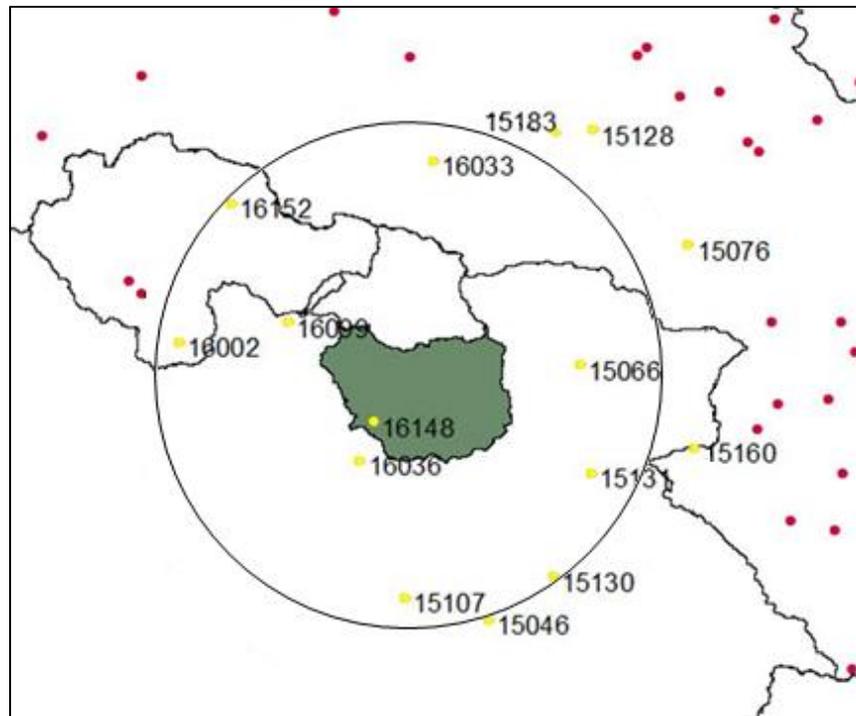


Figura 14. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18461.

Tabla 15. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18461.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
15046	PRESA COLORINES (CFE)	VALLE DE BRAVO	RIO CUTZAMALA	RIO VALLE DE BRAVO
15066	PALIZADA	VILLA VICTORIA	RIO LERMA-TOLUCA	P. VILLA VICTORIA
15076	PRESA TEPETITLAN	SAN FELIPE DEL PROGRESO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
15107	SANTA BARBARA (CFE)	NUEVO SANTO TOMAS	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimieuto. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
15128	TULTENANGO	EL ORO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
15130	PRESA VALLE DEL BRAVO (CFE)	VALLE DE BRAVO	RIO CUTZAMALA	RIO VALLE DE BRAVO
15131	VILLA DE ALLENDE	VILLA DE ALLENDE	RIO CUTZAMALA	P. VILLA VICTORIA
15160	SANTIAGO DEL MONTE	VILLA VICTORIA	RIO LERMA-TOLUCA	P. VILLA VICTORIA
15183	EL ORO	EL ORO	RIO LERMA-TOLUCA	P. TEPETITLAN
16002	AGOSTITLAN (CFE)	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO
16033	CHINCUA	SENGUIO	RIO LERMA-TOLUCA	P. MATA DE PINO
16036	EL BOSQUE (CFE)	ZITACUARO	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC
16099	PRESA TUXPAN (CFE)	TUXPAN	RIO BALSAS-INFIERNILLO	P. MATA DE PINO
16148	ZITACUARO	ZITACUARO	RIO CUTZAMALA	RIO TILISTOC
16152	CIUDAD HIDALGO (SMN)	HIDALGO	RIO CUTZAMALA	P. MATA DE PINO

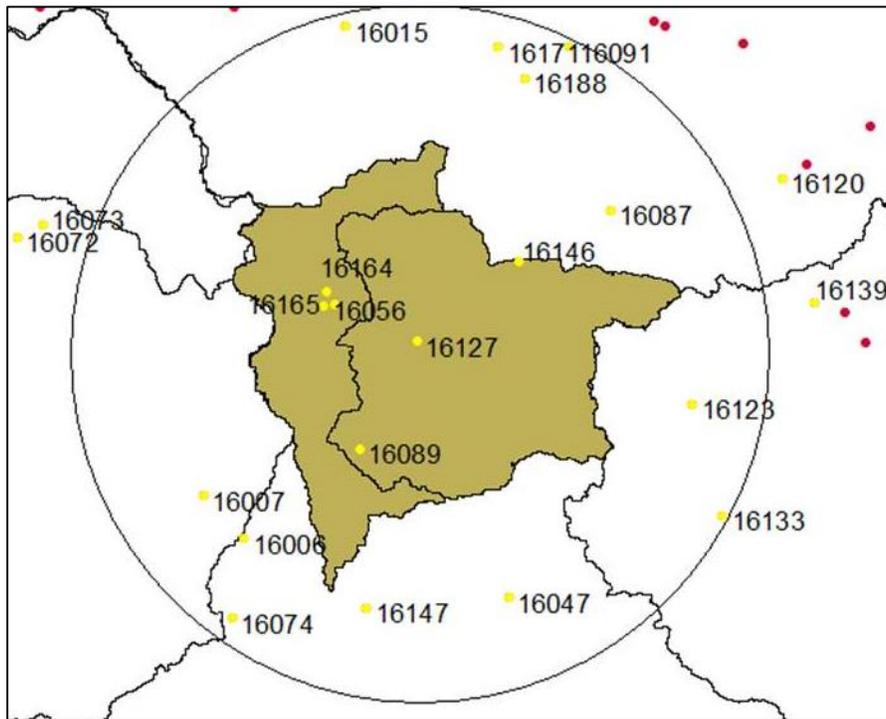


Figura 15. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18495.

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 16. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18495.

Clave	Nombre	Municipio	Cuenca	Subcuenca
16006	ANTUNEZ	PARACUARO	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16007	APATZINGAN (SMN)	APATZINGAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO GRANDE
16015	CARAPAN	CHILCHOTA	RIO LERMA-CHAPALA	RIO SALTO LA TZARARACUA
16047	EL ZAPOTE	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16056	JICALAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16072	LOS CHORROS DEL VARAL (CFE)	LOS REYES	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16073	LOS LIMONES (CFE)	LOS REYES	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16074	LOS PANCHES (CFE)	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16087	PATZCUARO	PATZCUARO	L. PATZCUARO-CUITZEO-YURIRIA	L. PATZCUARO
16089	PLANTA EL COBANO (CFE)	GABRIEL ZAMORA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16091	ALVARO OBREGON (DGE)	ALVARO OBREGON	L. PATZCUARO-CUITZEO-YURIRIA	L. DE CUITZEO
16120	SANTIAGO UNDAMEO	MORELIA	L. PATZCUARO-CUITZEO-YURIRIA	P. COINTZIO
16123	TACAMBARO	TACAMBARO	RIO TACAMBARO	RIO FRIO
16127	TARETAN (CFE)	TARETAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	L. ZIRAHUEN
16133	TURICATO	TURICATO	RIO TACAMBARO	RIO FRIO
16139	VILLA MADERO	MADERO	RIO TACAMBARO	RIO FRIO
16146	ZIRAHUEN	PATZCUARO	L. PATZCUARO-CUITZEO-YURIRIA	L. ZIRAHUEN
16147	ZIRITZICUARO	LA HUACANA	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	P. INFIERNILLO
16164	URUAPAN (SMN)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16165	URUAPAN (CFE)	URUAPAN	RIO TEPACALTEPEC-INFIERNILLO	RIO SALTO LA TZARARACUA
16171	ZACAPU (SMN)	ZACAPU	RIO LERMA-CHAPALA	L. PATZCUARO
16188	TIRINDARO	ZACAPU	RIO LERMA-CHAPALA	L. PATZCUARO

4.2.1. REVISIÓN DE LA SIMULTANEIDAD DE LLUVIAS

De la Tabla 17 a la Tabla 23 se observan los años seleccionados con la mayor cantidad de estaciones climatológicas trabajando al mismo tiempo para la estación hidrométrica 18201, así como el promedio de los máximos simultáneos, promedio no simultáneos y el factor de reducción por área.

Tabla 17. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18129.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1973	17	39.49	62.15	0.64
1970	16	33.25	53.99	0.62
1971	16	25.06	51.26	0.49
1972	16	33.18	61.91	0.54
1976	16	77.03	89.68	0.86
1977	16	17.96	50.04	0.36
1978	16	23.84	55.72	0.43
1974	15	28.15	60.73	0.46
1980	15	54.27	67.94	0.80
1981	15	37.34	55.25	0.68
1982	15	56.24	65.87	0.85
1961	14	24.34	63.36	0.38
1968	14	69.28	77.12	0.90
1975	14	37.57	57.11	0.66
1967	13	43.22	60.87	0.71
1979	13	33.31	52.44	0.64
1983	13	49.70	65.82	0.76
1984	13	28.42	53.35	0.53
1985	13	33.01	57.84	0.57
1965	12	27.19	51.59	0.53
1966	12	37.92	62.68	0.60
1987	12	42.13	57.88	0.73
1997	12	39.01	62.20	0.63
1953	11	22.73	45.81	0.50
1962	11	25.78	46.49	0.55
1963	11	33.06	46.12	0.72
1986	11	33.96	62.42	0.54
1995	11	15.76	48.21	0.33
2004	11	21.69	52.44	0.41
1954	10	30.24	46.86	0.65
1964	10	17.37	43.71	0.40
1969	10	40.35	60.31	0.67
1993	10	27.68	44.87	0.62
1994	10	14.71	49.85	0.30

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1996	10	24.06	61.37	0.39
1999	10	27.27	47.82	0.57
1955	9	71.63	74.30	0.96
1956	9	26.50	42.90	0.62
1958	9	32.60	61.43	0.53
1959	9	55.17	60.86	0.91
1992	9	36.81	73.61	0.50
2001	9	27.94	50.50	0.55
2003	9	24.87	52.84	0.47
2005	9	17.53	46.18	0.38

Tabla 18. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18195.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1979	15	32.97	61.69	0.53
1981	15	43.30	65.81	0.66
1982	15	26.31	61.04	0.43
1970	14	30.21	62.79	0.48
1973	14	68.08	81.04	0.84
1974	14	36.34	60.30	0.60
1980	14	52.91	71.76	0.74
1972	13	27.43	61.44	0.45
1977	13	57.14	73.66	0.78
1978	13	33.15	73.18	0.45
1984	13	41.33	70.86	0.58
1965	12	24.96	46.48	0.54
1967	12	52.03	73.33	0.71
1968	12	38.82	67.90	0.57
1969	12	23.81	57.28	0.42
1975	12	33.68	57.00	0.59
1976	12	90.78	97.82	0.93
1983	12	66.61	88.38	0.75
1985	12	31.96	68.53	0.47
1966	11	44.51	58.08	0.77
1971	11	27.37	58.89	0.46
1986	11	37.94	69.48	0.55
1992	11	65.31	91.54	0.71
1963	10	29.85	49.63	0.60
1991	10	27.86	63.09	0.44
1962	9	25.41	64.00	0.40
1987	9	33.48	70.42	0.48

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1989	9	25.60	57.36	0.45
2002	9	32.37	56.03	0.58
1952	8	62.55	98.60	0.63
1958	8	33.85	53.05	0.64
1961	8	20.96	50.99	0.41
1990	8	21.55	59.09	0.36
1996	8	62.79	80.11	0.78
2006	8	31.94	53.45	0.60

Tabla 19. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18201.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1966	4	60.80	76.75	0.79
1967	4	47.48	67.15	0.71
1968	4	76.43	101.23	0.76
1969	4	46.25	66.63	0.69
1970	4	42.13	56.85	0.74
1972	4	43.85	65.50	0.67
1973	4	53.85	74.05	0.73
1974	4	48.38	64.30	0.75
1980	4	54.33	60.58	0.90
1981	4	47.48	72.88	0.65
1962	3	47.77	80.20	0.60
1963	3	61.77	80.77	0.76
1965	3	47.67	64.13	0.74
1971	3	42.67	67.17	0.64
1975	3	44.83	64.17	0.70
1976	3	83.00	102.17	0.81
1977	3	49.67	64.17	0.77
1978	3	41.33	68.83	0.60
1979	3	41.50	57.50	0.72
1982	3	43.23	58.23	0.74
1983	3	63.00	67.83	0.93
1984	3	50.73	57.00	0.89
1961	2	42.20	52.35	0.81
1964	2	48.35	68.25	0.71
1985	2	38.35	48.40	0.79
1996	2	50.00	52.25	0.96
1997	2	36.00	36.00	1.00
1998	2	59.50	62.15	0.96
1999	2	71.50	88.00	0.81

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1953	1	128	128	1
1954	1	51.5	51.5	1
1956	1	65.5	65.5	1
1957	1	84	84	1
1958	1	75.7	75.7	1
1959	1	53.4	53.4	1
1960	1	80	80	1
1986	1	55	55	1
1987	1	70.5	70.5	1
1988	1	103	103	1
1989	1	50.5	50.5	1
1990	1	62.7	62.7	1
1991	1	72.2	72.2	1
1992	1	125.5	125.5	1
1993	1	68.2	68.2	1
1995	1	62.5	62.5	1
2000	1	59	59	1
2001	1	28	28	1
2002	1	55	55	1
2005	1	69.5	69.5	1
2006	1	91	91	1
2007	1	90	90	1
2008	1	47	47	1
2009	1	50	50	1

Tabla 20. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18281.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1973	15	39.67	75.37	0.53
1978	15	25.93	65.37	0.40
1968	14	33.76	63.39	0.53
1970	14	30.42	60.07	0.51
1975	14	41.01	67.83	0.60
1977	14	29.20	53.78	0.54
1982	14	42.34	61.99	0.68
1966	13	36.81	61.72	0.60
1967	13	40.87	68.43	0.60
1971	13	22.70	55.47	0.41
1974	13	30.97	60.42	0.51
1976	13	57.55	79.34	0.73

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1980	13	53.36	65.66	0.81
1965	12	31.82	52.51	0.61
1972	12	25.43	57.77	0.44
1981	12	28.18	58.39	0.48
1984	12	45.86	59.72	0.77
1987	12	37.38	52.77	0.71
1991	12	30.94	54.58	0.57
1979	11	34.70	59.83	0.58
1983	11	34.19	57.48	0.59
1985	11	41.42	61.90	0.67
1992	11	68.49	88.35	0.78
1994	11	26.03	51.06	0.51
1958	10	26.25	57.35	0.46
1959	10	30.96	57.02	0.54
1990	10	35.66	64.45	0.55
1995	10	28.73	78.27	0.37
1997	10	31.95	64.01	0.50
1999	10	21.50	57.49	0.37
1955	9	58.82	65.64	0.90
1956	9	24.59	51.31	0.48
1961	9	32.82	69.68	0.47
1962	9	31.09	45.19	0.69
1964	9	28.92	47.37	0.61
1969	9	28.52	51.93	0.55
1996	9	37.90	62.19	0.61

Tabla 21. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18460.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1977	17	23.83	44.05	0.54
1972	16	21.89	48.08	0.46
1978	16	21.61	39.82	0.54
1980	16	51.38	59.83	0.86
1965	15	21.88	47.29	0.46
1973	15	25.99	51.29	0.51
1979	15	17.25	42.55	0.41
1961	14	27.07	51.51	0.53
1962	14	23.46	56.83	0.41
1966	14	25.46	45.69	0.56
1970	14	22.31	48.79	0.46
1982	14	21.88	43.89	0.50

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1983	14	28.09	42.64	0.66
1984	14	26.51	45.15	0.59
1985	14	26.16	47.22	0.55
1968	13	38.26	50.41	0.76
1971	13	30.45	54.14	0.56
1974	13	27.44	48.16	0.57
1981	13	26.49	45.53	0.58
1963	12	25.62	46.15	0.56
1975	11	35.09	45.45	0.77
1976	11	33.46	44.53	0.75
2003	11	20.07	45.35	0.44
2006	11	18.02	42.79	0.42
1964	10	22.79	40.84	0.56
1967	10	43.63	58.86	0.74
1969	10	20.99	51.59	0.41
1988	10	27.70	45.15	0.61
1959	9	32.92	73.39	0.45
1960	9	22.19	39.18	0.57
1986	9	20.61	46.39	0.44
1987	9	29.00	52.53	0.55
1993	9	23.88	47.73	0.50
1999	9	22.60	40.97	0.55
2005	9	22.19	43.04	0.52

Tabla 22. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18461.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1972	9	24.84	48.33	0.51
1977	9	29.53	42.86	0.69
1980	9	58.06	68.00	0.85
1965	8	19.96	45.79	0.44
1974	8	30.48	47.60	0.64
1978	8	19.98	34.64	0.58
1979	8	24.51	49.56	0.49
1981	8	27.00	45.59	0.59
1982	8	22.63	44.68	0.51
1984	8	26.29	43.39	0.61
1961	7	23.60	45.73	0.52
1962	7	35.13	59.24	0.59

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1966	7	26.79	44.07	0.61
1968	7	42.86	50.57	0.85
1970	7	24.79	50.91	0.49
1971	7	39.86	52.39	0.76
1973	7	27.06	54.53	0.50
1983	7	29.24	43.50	0.67
1985	7	28.40	43.06	0.66
1963	6	27.42	42.33	0.65
1964	6	26.40	45.83	0.58
1967	6	48.70	67.53	0.72
1969	6	25.15	46.22	0.54
1987	6	33.85	50.63	0.67
1988	6	36.28	51.30	0.71
1959	5	47.14	92.08	0.51
1986	5	16.50	41.24	0.40
1954	4	25.78	41.55	0.62
1955	4	61.03	70.50	0.87
1957	4	25.93	34.25	0.76
1958	4	30.95	42.53	0.73
1960	4	22.70	40.58	0.56
1975	4	38.35	43.68	0.88
1976	4	30.63	39.75	0.77
2003	4	37.25	54.13	0.69
1952	3	33.90	47.03	0.72
1956	3	29.37	43.93	0.67
1992	3	36.50	50.50	0.72
1993	3	31.90	52.00	0.61
1995	3	26.07	42.83	0.61
1997	3	26.27	43.10	0.61
1998	3	38.83	52.17	0.74
1999	3	27.17	40.50	0.67
2000	3	26.50	37.83	0.70
2004	3	30.97	44.43	0.70
2005	3	29.50	37.93	0.78
2006	3	29.83	44.97	0.66

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 23. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18495.

AÑO	SIMULTANEIDAD (N° de estaciones)	PROMEDIO MÁXIMOS SIMULTÁNEOS	PROMEDIO NO SIMULTÁNEOS	FACTOR DE REDUCCIÓN POR ÁREA
1979	19	31.25	62.32	0.50
1982	19	26.34	60.41	0.44
1970	18	29.49	61.19	0.48
1973	18	63.09	81.53	0.77
1974	18	33.93	57.31	0.59
1981	18	37.57	63.19	0.59
1972	17	26.47	59.08	0.45
1977	17	52.49	69.30	0.76
1978	17	31.53	69.13	0.46
1980	17	55.62	72.26	0.77
1967	16	50.99	72.90	0.70
1975	16	36.22	64.26	0.56
1976	16	81.89	98.91	0.83
1965	15	26.99	48.45	0.56
1966	15	42.11	55.96	0.75
1968	15	34.00	64.92	0.52
1971	15	28.64	56.49	0.51
1983	15	63.89	83.62	0.76
1984	15	38.52	67.29	0.57
1969	14	26.14	57.09	0.46
1985	14	28.54	67.39	0.42
1963	13	27.74	48.22	0.58
1992	13	64.24	88.08	0.73
1987	12	36.20	68.48	0.53
1991	12	32.41	66.93	0.48
1958	11	35.15	55.99	0.63
1962	11	23.13	61.48	0.38
1986	11	35.67	65.45	0.55
1989	11	23.49	53.34	0.44
1961	10	18.82	49.93	0.38
1964	10	35.39	60.78	0.58

4.2.2. AJUSTE ESTADÍSTICO PARA LOS PROMEDIOS MÁXIMOS DE CADA ESTACIÓN.

Realizado el ajuste estadístico para los promedios simultáneos máximos anuales obtenidos para cada subcuenca, se puede estimar la función de distribución de probabilidades a la que pertenecen los eventos, obteniendo su comportamiento para estimar una extrapolación a diferentes periodos de retorno. Graficando los datos medidos y los calculados podemos establecer una comparativa entre eventos, para cada cuenca, esto se ve de la

Figura 16. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18129.

a la Figura 22.

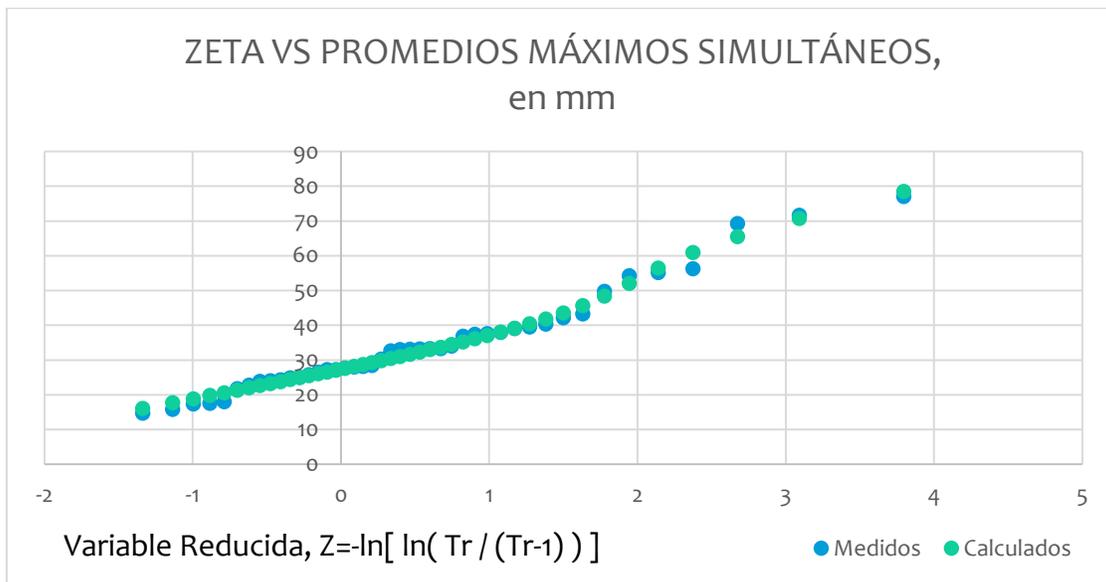


Figura 16. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18129.

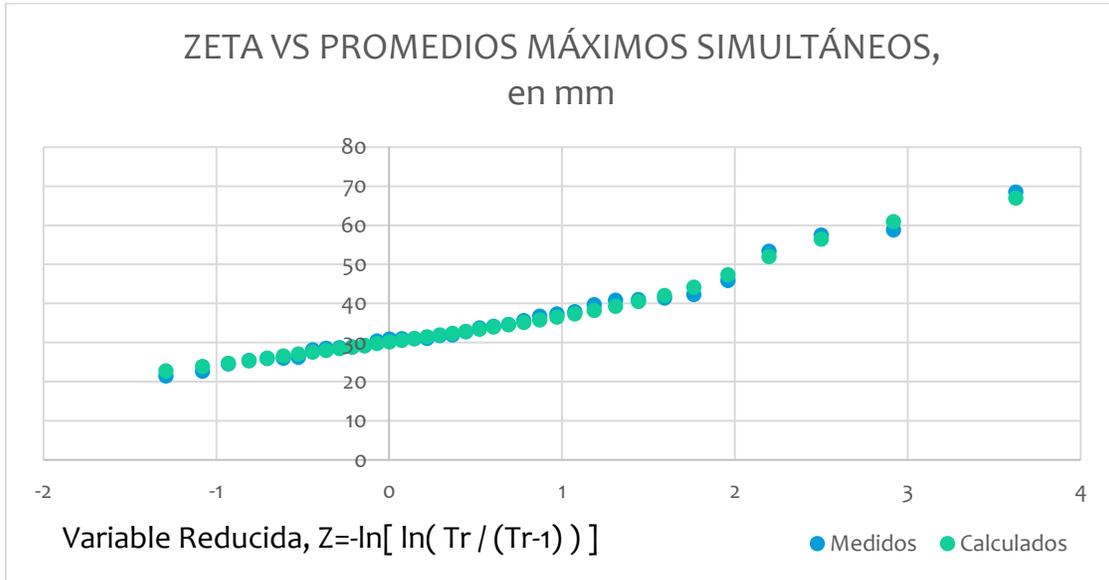


Figura 17. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18195.

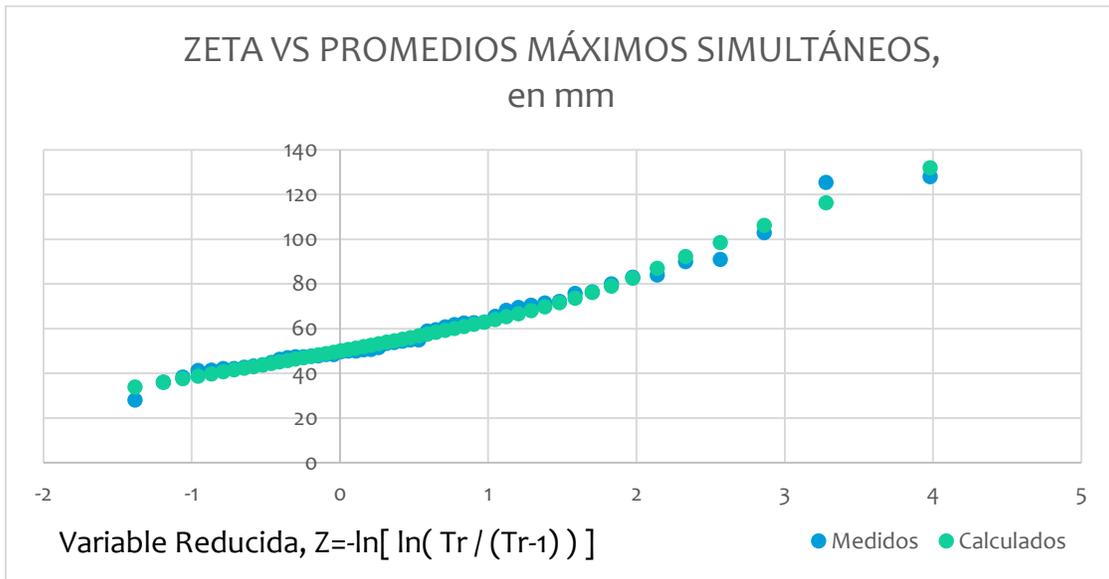


Figura 18. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18201.

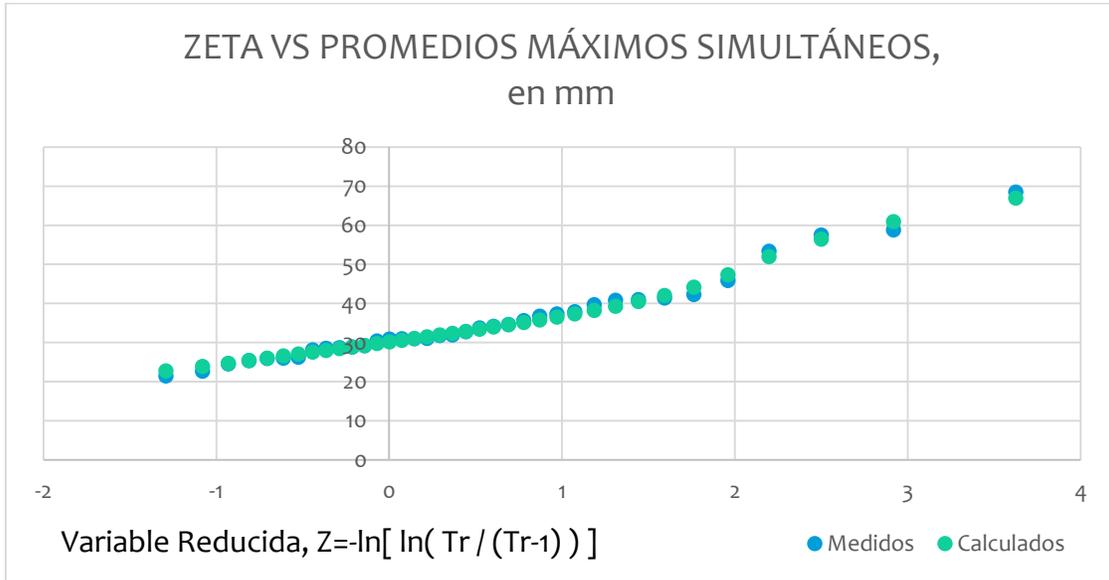


Figura 19. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18281.

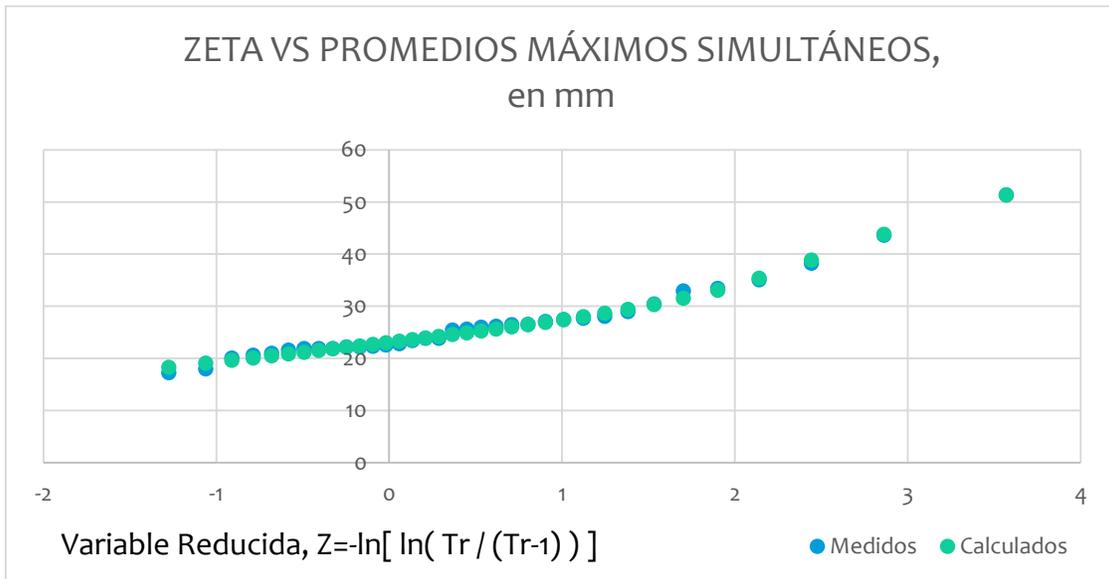


Figura 20. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18460.

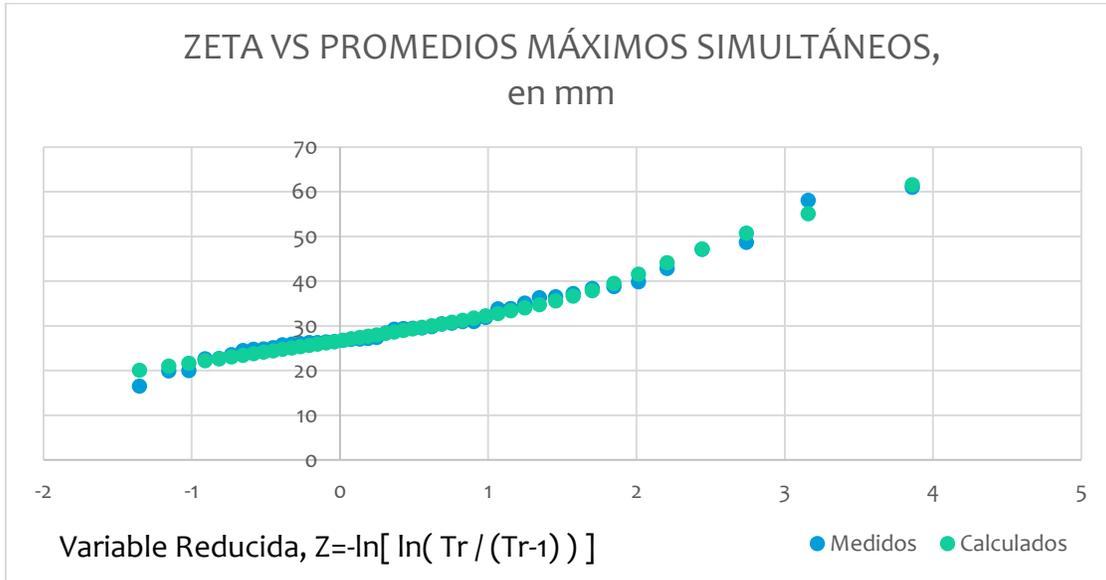


Figura 21. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18461.

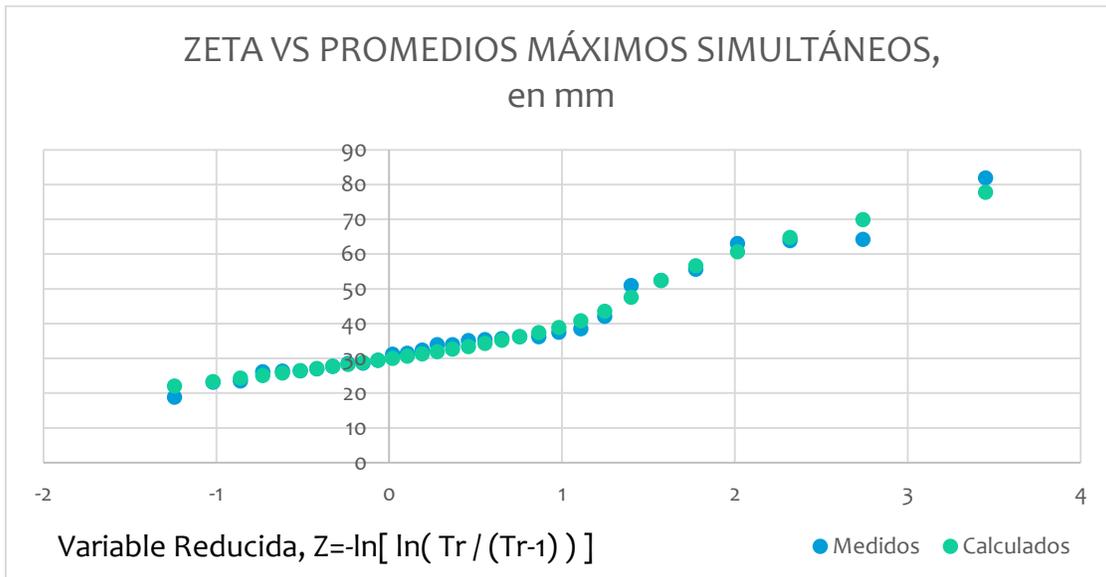


Figura 22. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18495.

Ya con los datos de precipitación ajustados a una función de distribución se pueden, entonces, tener los datos extrapolados para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000 años) como se aprecia en la Tabla 24.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 24. Datos extrapolados, ajuste doble Gumbel para los promedios máximos, para cada estación hidrométrica.

Periodo de Retorno	Dato Extrapolado (P)						
	18129	18195	18201	18281	18460	18461	18495
2	30.70	34.35	54.58	32.42	24.57	28.63	32.69
5	43.52	54.62	71.95	41.08	30.15	36.01	50.56
10	58.68	67.67	89.99	52.94	36.60	44.73	63.96
20	69.27	76.73	108.91	61.42	45.04	53.20	72.58
50	79.59	87.29	130.32	69.14	54.52	61.91	82.53
100	86.63	94.91	145.26	74.36	60.99	67.88	89.68
200	93.45	102.40	159.74	79.38	67.23	73.65	96.71
500	102.30	112.19	178.55	85.93	75.29	81.15	105.89
1000	108.94	119.56	192.69	90.84	81.34	86.74	112.79
2000	115.59	126.93	206.73	95.68	87.44	92.33	119.69
5000	124.20	136.83	225.59	102.28	95.32	99.85	128.74
10000	130.85	144.21	239.63	106.89	101.32	105.44	135.63

4.2.2.1. Volumen total de lluvia.

Teniendo los datos de precipitación y el área de cada cuenca, se sabe entonces cuánto llueve para cada periodo de retorno; es decir, el volumen llovido, el volumen llovido para cada periodo de retorno de cada cuenca se muestra en la Tabla 25.

Tabla 25. Volumen estimado para diferentes periodos de retorno, aplicado a cada estación hidrométrica.

Periodo de Retorno	Volumen estimado en 1 día miles de m ³						
	18129	18195	18201	18281	18460	18461	18495
2	5262.0	58443.1	21559.1	54507.7	6088.4	10664.7	86821.4
5	7459.3	92930.5	28420.3	69067.8	7471.2	13413.7	134282.3
10	10057.8	115133.7	35546.1	89008.0	9069.5	16661.9	169871.4
20	11872.9	130548.4	43019.5	103265.4	11160.9	19817.0	192765.2
50	13641.7	148515.2	51476.4	116245.1	13510.1	23061.5	219191.4
100	14848.4	161479.9	57377.7	125021.5	15113.3	25285.3	238181.1
200	16017.3	174223.4	63097.3	133461.6	16659.6	27434.6	256852.1
500	17534.2	190880.1	70527.3	144474.1	18656.9	30228.4	281233.3
1000	18672.3	203419.4	76112.6	152729.3	20156.1	32310.7	299559.0
2000	19812.1	215958.7	81658.4	160866.8	21667.6	34392.9	317884.7
5000	21287.9	232802.6	89108.1	171963.4	23620.3	37194.1	341920.6
10000	22427.7	245358.9	94653.9	179714.2	25107.1	39276.4	360219.7

4.3. OBTENCIÓN DEL GASTO MEDIO DIARIO PARA CADA CUENCA

La información de gastos máximos anuales para un día de cada subcuenca se muestra de la Tabla 26 a la Tabla 32, los gastos se encuentran acomodados de mayor a menor y asociados a un periodo de retorno.

Tabla 26. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18129.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.75	43.00	69.62
2	3.04	21.50	51.53
3	2.63	14.33	47.66
4	2.33	10.75	40.92
5	2.09	8.60	37.66
6	1.90	7.17	20.84
7	1.73	6.14	20.35
8	1.58	5.38	18.46
9	1.45	4.78	15.15
10	1.33	4.30	14.74
11	1.22	3.91	14.28
12	1.12	3.58	13.66
13	1.02	3.31	13.46
14	0.93	3.07	13.40
15	0.85	2.87	12.14
16	0.76	2.69	11.88
17	0.69	2.53	11.87
18	0.61	2.39	10.29
19	0.54	2.26	9.96
20	0.47	2.15	9.90
21	0.40	2.05	9.27
22	0.33	1.95	8.72
23	0.27	1.87	8.24
24	0.20	1.79	8.07
25	0.14	1.72	7.28
26	0.07	1.65	6.61
27	0.01	1.59	6.53
28	-0.05	1.54	6.47
29	-0.12	1.48	5.60
30	-0.18	1.43	5.32
31	-0.24	1.39	5.05
32	-0.31	1.34	4.81
33	-0.38	1.30	4.68
34	-0.45	1.26	4.64
35	-0.52	1.23	4.38
36	-0.60	1.19	4.08
37	-0.68	1.16	4.07

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
38	-0.77	1.13	3.82
39	-0.86	1.10	2.56
40	-0.98	1.08	2.53
41	-1.12	1.05	2.42
42	-1.32	1.02	1.11

Tabla 27. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18195.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.02	21.00	462.80
2	2.30	10.50	455.00
3	1.87	7.00	452.00
4	1.55	5.25	442.90
5	1.30	4.20	378.40
6	1.09	3.50	212.40
7	0.90	3.00	209.20
8	0.73	2.63	176.80
9	0.58	2.33	158.20
10	0.44	2.10	156.61
11	0.30	1.91	153.41
12	0.17	1.75	147.73
13	0.04	1.62	135.72
14	-0.09	1.50	135.67
15	-0.23	1.40	128.70
16	-0.36	1.31	128.30
17	-0.51	1.24	121.80
18	-0.67	1.17	82.91
19	-0.86	1.11	81.26
20	-1.11	1.05	55.50

Tabla 28. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18201.⁵

Orden	Z	Tr	Q
1	3.28	27.00	644.88
2	2.56	13.50	226.11
3	2.14	9.00	213.34
4	1.83	6.75	201.23
5	1.59	5.40	155.54
6	1.38	4.50	132.31
7	1.20	3.86	83.09
8	1.05	3.38	81.52
9	0.90	3.00	81.23
10	0.77	2.70	73.13

⁵ El gasto de 644.88 m³/s ocurre en 1984 y las lluvias ocurridas en ese año para esta estación no justifican este gasto, por lo tanto fue removido para el análisis.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
11	0.65	2.45	73.05
12	0.53	2.25	71.20
13	0.42	2.08	70.53
14	0.31	1.93	70.11
15	0.21	1.80	60.24
16	0.11	1.69	57.71
17	0.01	1.59	52.28
18	-0.09	1.50	45.24
19	-0.20	1.42	44.92
20	-0.30	1.35	41.41
21	-0.41	1.29	41.09
22	-0.52	1.23	34.65
23	-0.65	1.17	23.48
24	-0.79	1.13	19.40
25	-0.96	1.08	14.04
26	-1.19	1.04	13.03

Tabla 29. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18281.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.45	32.00	171.00
2	2.74	16.00	118.00
3	2.32	10.67	116.00
4	2.01	8.00	113.89
5	1.77	6.40	113.00
6	1.57	5.33	106.00
7	1.40	4.57	102.00
8	1.25	4.00	101.00
9	1.11	3.56	89.10
10	0.98	3.20	88.10
11	0.86	2.91	84.50
12	0.76	2.67	83.50
13	0.65	2.46	81.20
14	0.55	2.29	80.20
15	0.46	2.13	79.10
16	0.37	2.00	72.50
17	0.28	1.88	68.50
18	0.19	1.78	67.70
19	0.10	1.68	66.60
20	0.02	1.60	65.90
21	-0.07	1.52	62.40
22	-0.15	1.45	60.50
23	-0.24	1.39	58.30
24	-0.33	1.33	56.90
25	-0.42	1.28	56.40

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
26	-0.52	1.23	53.40
27	-0.62	1.19	51.40
28	-0.73	1.14	43.20
29	-0.86	1.10	42.90
30	-1.02	1.07	42.30
31	-1.24	1.03	39.70

Tabla 30. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18460.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.94	52.00	51.48
2	3.24	26.00	39.17
3	2.82	17.33	30.65
4	2.53	13.00	25.82
5	2.29	10.40	25.64
6	2.10	8.67	23.85
7	1.93	7.43	23.75
8	1.79	6.50	22.20
9	1.66	5.78	21.66
10	1.54	5.20	21.24
11	1.44	4.73	21.10
12	1.34	4.33	20.98
13	1.25	4.00	20.20
14	1.16	3.71	20.10
15	1.08	3.47	19.40
16	1.00	3.25	18.90
17	0.93	3.06	18.20
18	0.86	2.89	16.85
19	0.79	2.74	16.72
20	0.72	2.60	15.68
21	0.66	2.48	15.54
22	0.60	2.36	15.40
23	0.54	2.26	15.40
24	0.48	2.17	15.30
25	0.42	2.08	15.30
26	0.37	2.00	15.10
27	0.31	1.93	15.00
28	0.26	1.86	14.70
29	0.20	1.79	13.62
30	0.15	1.73	13.30
31	0.10	1.68	13.20
32	0.05	1.63	12.81
33	-0.01	1.58	12.50
34	-0.06	1.53	12.19
35	-0.11	1.49	12.00

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
36	-0.16	1.44	11.90
37	-0.22	1.41	11.90
38	-0.27	1.37	11.83
39	-0.33	1.33	11.80
40	-0.38	1.30	11.69
41	-0.44	1.27	11.60
42	-0.50	1.24	11.50
43	-0.56	1.21	11.45
44	-0.63	1.18	11.26
45	-0.70	1.16	11.25
46	-0.77	1.13	10.50
47	-0.85	1.11	10.40
48	-0.94	1.08	9.80
49	-1.05	1.06	9.35
50	-1.18	1.04	8.22
51	-1.37	1.02	6.59

Tabla 31. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18461.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.35	29.00	44.66
2	2.64	14.50	33.15
3	2.21	9.67	31.80
4	1.91	7.25	31.00
5	1.66	5.80	29.22
6	1.46	4.83	28.80
7	1.29	4.14	25.80
8	1.13	3.63	25.05
9	0.99	3.22	24.90
10	0.86	2.90	24.60
11	0.74	2.64	24.60
12	0.63	2.42	20.10
13	0.52	2.23	20.00
14	0.42	2.07	18.80
15	0.32	1.93	18.60
16	0.22	1.81	18.10
17	0.13	1.71	17.81
18	0.03	1.61	17.30
19	-0.06	1.53	15.30
20	-0.16	1.45	14.80
21	-0.25	1.38	14.60
22	-0.35	1.32	14.50
23	-0.45	1.26	11.50
24	-0.56	1.21	11.45
25	-0.68	1.16	9.45

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
26	-0.82	1.12	9.18
27	-0.98	1.07	8.80
28	-1.21	1.04	8.31

Tabla 32. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18495.

Orden	Z	Tr	Q
1	3.70	41.00	747.65
2	3.00	20.50	732.00
3	2.58	13.67	707.00
4	2.28	10.25	663.00
5	2.04	8.20	518.54
6	1.84	6.83	504.00
7	1.68	5.86	448.00
8	1.53	5.13	443.00
9	1.39	4.56	399.25
10	1.27	4.10	377.22
11	1.16	3.73	363.00
12	1.06	3.42	351.00
13	0.96	3.15	314.00
14	0.87	2.93	310.00
15	0.79	2.73	309.00
16	0.70	2.56	307.00
17	0.62	2.41	287.00
18	0.55	2.28	285.00
19	0.47	2.16	282.00
20	0.40	2.05	256.00
21	0.33	1.95	253.00
22	0.26	1.86	247.00
23	0.19	1.78	230.20
24	0.13	1.71	227.00
25	0.06	1.64	227.00
26	-0.01	1.58	222.00
27	-0.07	1.52	219.00
28	-0.14	1.46	209.00
29	-0.21	1.41	199.88
30	-0.27	1.37	185.00
31	-0.34	1.32	180.00
32	-0.42	1.28	179.00
33	-0.49	1.24	174.72
34	-0.57	1.21	170.00
35	-0.65	1.17	167.00
36	-0.74	1.14	163.00
37	-0.84	1.11	117.00
38	-0.96	1.08	115.00

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Orden	Z	Tr	Q
39	-1.11	1.05	111.00
40	-1.31	1.03	89.50

4.3.1. EXTRAPOLACIÓN DE GASTOS MEDIANTE FACTORES REGIONALES POR GRUPO.

Teniendo gastos medios diarios máximos anuales para cada estación hidrométrica organizados (Tabla 26 a la Tabla 32) se realiza el ajuste regional para obtener la extrapolación a diferentes periodos de retorno de dichos gastos máximos anuales. Para ello es necesario tener la media de los gastos máximos anuales para un día de cada estación hidrométrica, ya que es la media el valor que se multiplica por el factor asociado a cada periodo de retorno para obtener los valores extrapolados, la lista de grupos a la que pertenece cada estación hidrométrica se muestra en la Tabla 33, al igual se muestran los gastos medios máximos anuales extrapolados regionalmente para cada periodo de retorno, separados por grupos en la Tabla 34 y la Tabla 35.

Tabla 33. Resumen de grupos para las estaciones hidrométricas con las que se trabajó.

Estación	Máximo	Media	Desv est	Coef var	Mínimo	Área, km ²	Media 1día	inst/1día	Grupo
18195	1230.2	534.515238	289.057	0.541	155	1701.4	215.781	2.477	1
18201	1116	264.983	242.082	0.914	28.12	395	100.952	2.625	3
18495	2873	891.102	527.682	0.592	365	2655.9	307.224	2.900	1
18461	297.47	112.922	56.465	0.500	40.9	372.5	20.435	5.526	3
18129	258	50.957	50.421	0.989	11	171.4	13.667	3.728	3
18281	673.56	316.476	114.098	0.361	173	1681.3	78.555	4.029	3
18460	107.75	55.994	21.378	0.382	12	247.8	16.709	3.351	3

Tabla 34. Gastos medios diarios máximos anuales, extrapolados, para las estaciones hidrométricas pertenecientes al grupo 1.

	Grupo 1	Tr años	Q					
			Factor	m ³ /s				
				18195	18281	18460	18461	18495
Media			13.67	78.55	16.71	20.44	307.22	
	0.83	2	10.52	68.34	14.54	17.78	267.28	
	1.29	5	19.68	102.91	21.89	26.77	402.46	
	1.77	10	40.05	136.68	29.07	35.56	534.57	
	2.36	20	58.63	161.82	34.42	42.10	632.88	
	3.11	50	79.95	190.10	40.44	49.45	743.48	
	3.66	100	95.26	209.74	44.61	54.56	820.29	
	4.2	200	110.16	229.38	48.79	59.67	897.09	
	4.91	500	129.70	254.52	54.14	66.21	995.41	
	5.44	1000	144.46	273.37	58.15	71.11	1069.14	

Estimación Regional de Coeficientes de Esguerrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

	Grupo 1	Tr	Q				
	Factor	años	m ³ /s				
			18195	18281	18460	18461	18495
Media			13.67	78.55	16.71	20.44	307.22
	5.97	2000	159.22	293.01	62.32	76.22	1145.95
	6.66	5000	178.77	317.36	67.50	82.56	1241.18
	7.19	10000	194.21	337.00	71.68	87.67	1317.99

Tabla 35. Gastos medios diarios máximos anuales, extrapolados, para las estaciones hidrométricas pertenecientes al grupo 3.

	Grupo 2	Tr	Q	
	Factor	años	m ³ /s	
			18129	18201
Media			13.67	79.20
	0.68	2	9.29	53.85
	1.28	5	17.49	101.37
	2.56	10	34.99	202.74
	3.48	20	47.56	275.60
	4.42	50	60.41	350.04
	5.08	100	69.43	402.31
	5.72	200	78.18	453.00
	6.55	500	89.52	518.73
	7.18	1000	98.13	568.62
	7.8	2000	106.61	617.72
	8.61	5000	117.68	681.87
	9.22	10000	126.01	730.18

Ya con los datos extrapolados obtenidos mediante la regionalización por grupos, se puede, como se muestra de la Figura 23. a la Figura 29, hacer la comparativa entre los datos medidos y los extrapolados para cada estación hidrométrica.

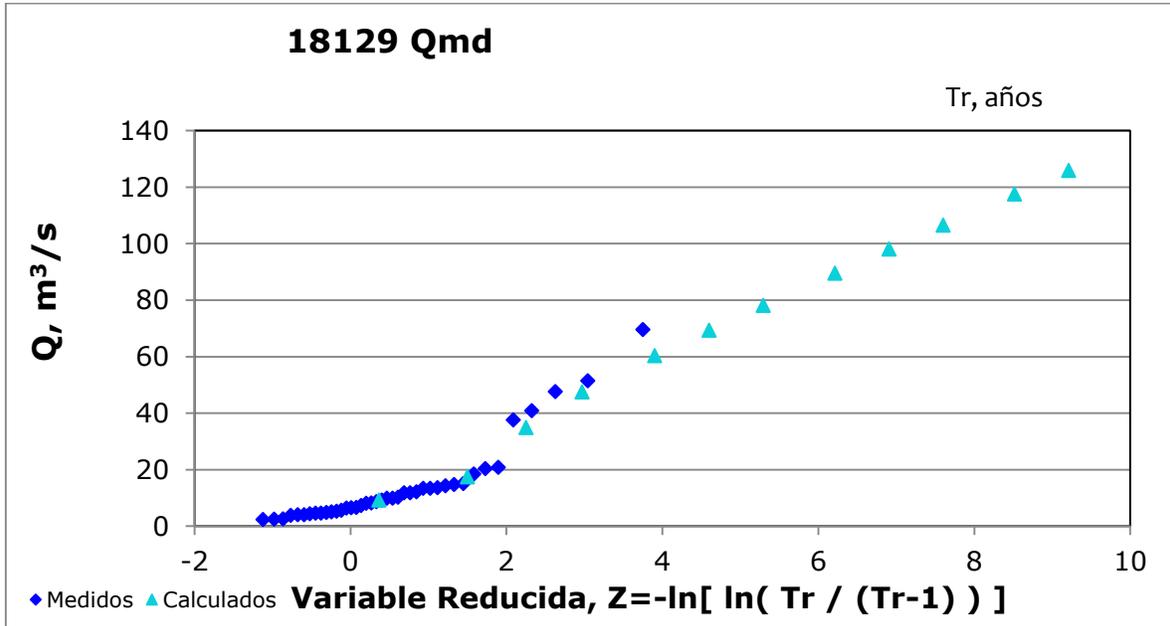


Figura 23. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18129.

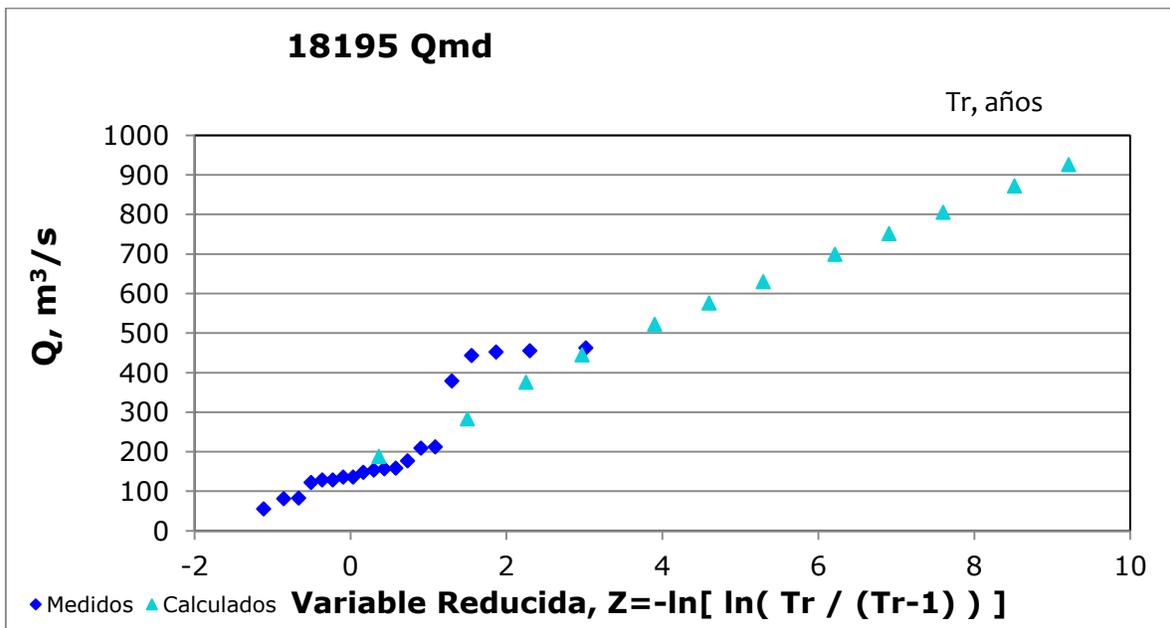


Figura 24. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos para la estación hidrométrica 18195.

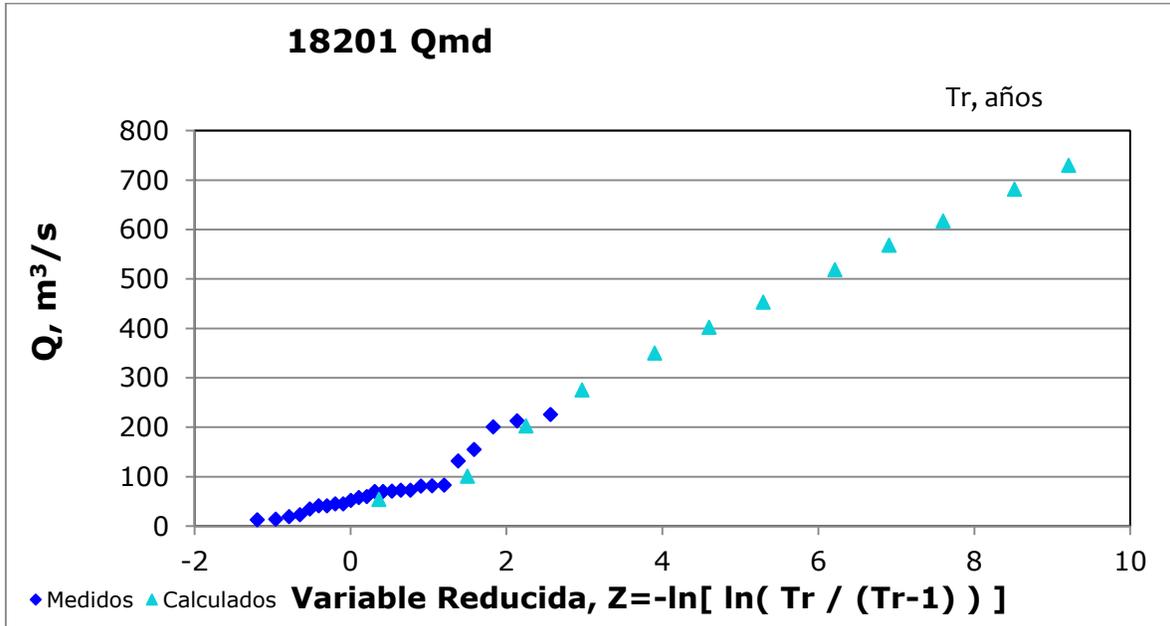


Figura 25. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18201.

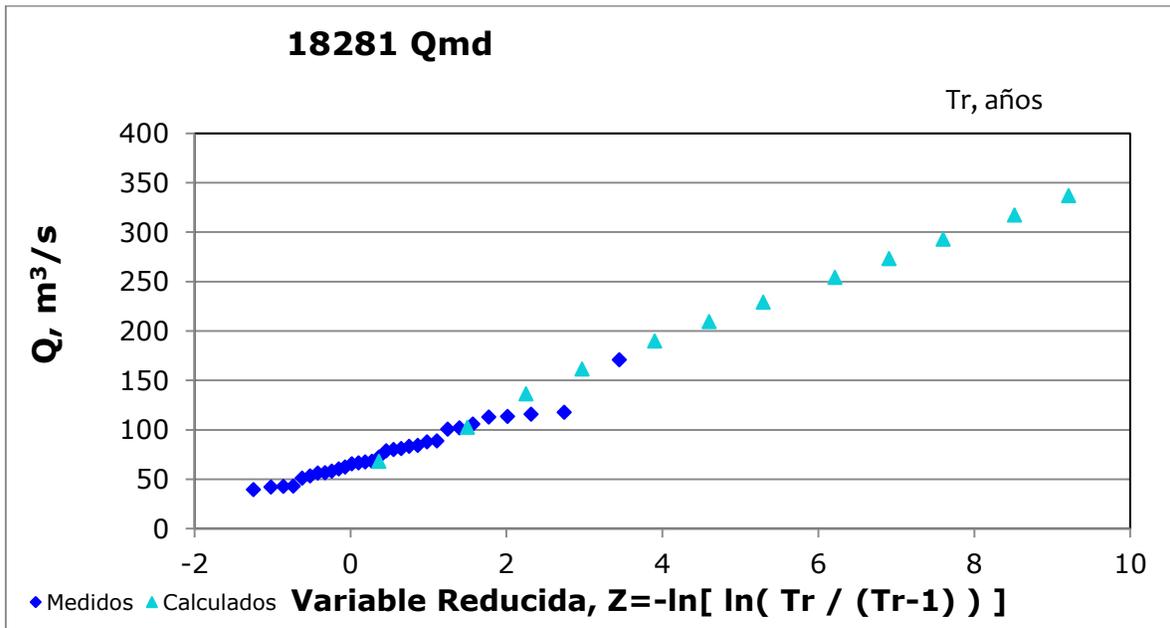


Figura 26. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18281.

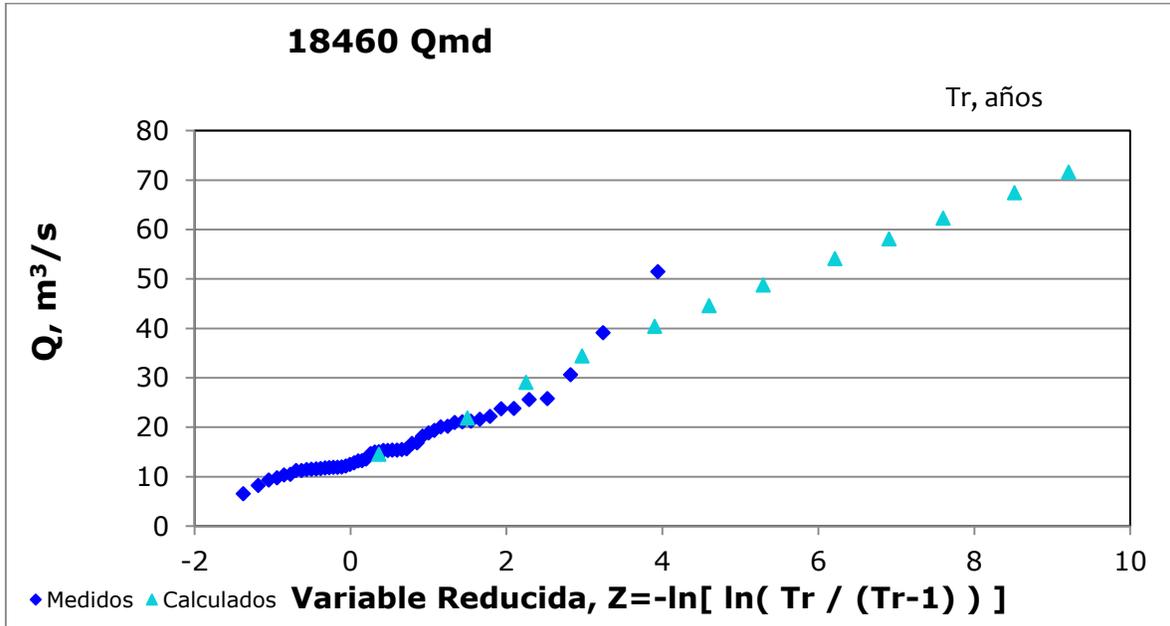


Figura 27. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18460.

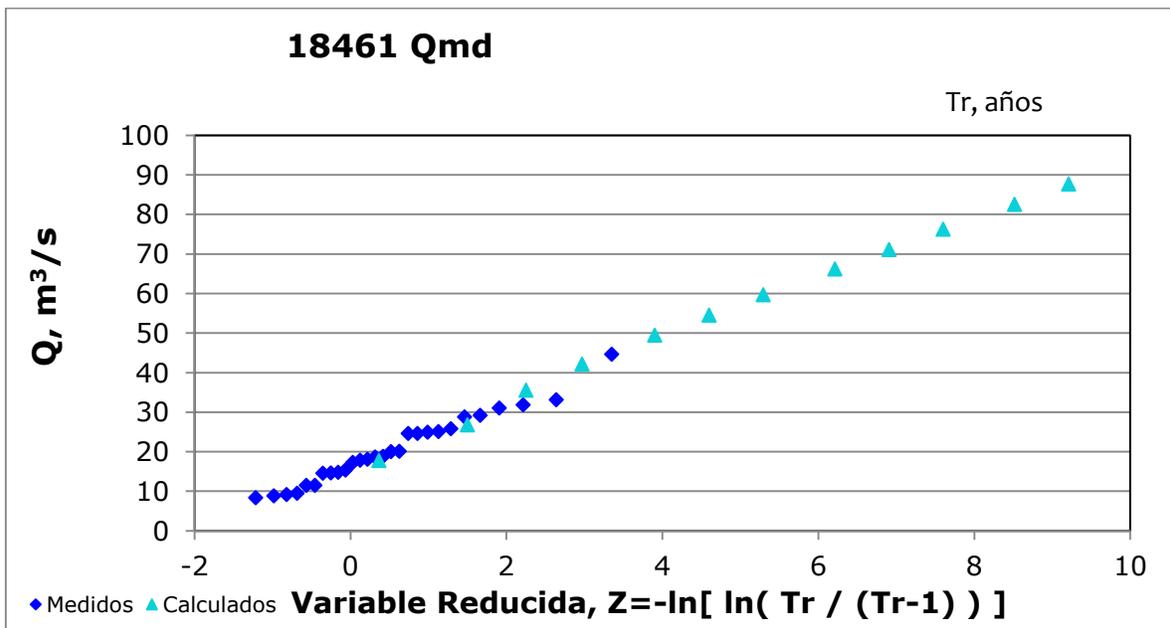


Figura 28. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18461.

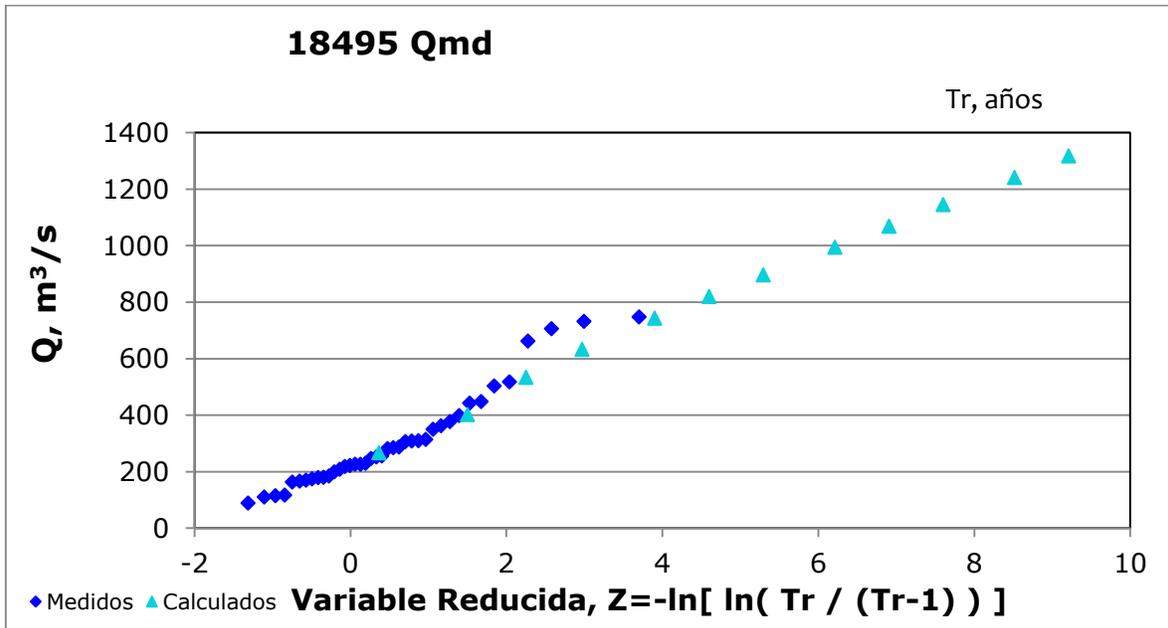


Figura 29. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18495.

4.4. COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO.

Con la información de precipitación y gastos, se sabe cómo se comporta cada cuenca respecto a lo que llueve y lo que escurre. El cálculo se aplica a varios periodos de retorno, los mismos para los que se extrapolaron los cálculos de lluvias y de gastos. De la Tabla 36 a la Tabla 42 se muestra dicho cálculo⁶ estimado.

Tabla 36. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18129.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	6206.4	802.99	0.13
5	8731.1	1511.50	0.17
10	11257.6	3023.01	0.27
20	14287.9	4109.40	0.29
50	18019.3	5219.41	0.29
100	20648.6	5998.78	0.29
200	23197.3	6754.53	0.29
500	26507.0	7734.64	0.29
1000	29000.9	8478.59	0.29
2000	31457.0	9210.72	0.29
5000	34679.4	10167.22	0.29
10000	37288.1	10887.55	0.29

⁶ La ecuación empleada utiliza el volumen de escurrimiento y el volumen llovido $Ce = V_e/V$

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 37. Coeficientes de esgurrimento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18195.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	58443.1	16219.86	0.28
5	92930.5	24423.01	0.26
10	115133.7	32439.72	0.28
20	130548.4	38405.64	0.29
50	148515.2	45117.31	0.30
100	161479.9	49778.19	0.31
200	174223.4	54439.07	0.31
500	190880.1	60404.99	0.32
1000	203419.4	64879.43	0.32
2000	215958.7	69540.31	0.32
5000	232802.6	75319.80	0.32
10000	245358.9	79980.68	0.33

Tabla 38. Coeficientes de esgurrimento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18201.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	21559.1	4652.88	0.22
5	28420.3	8758.36	0.31
10	35546.1	17516.71	0.49
20	43019.5	23811.78	0.55
50	51476.4	30243.70	0.59
100	57377.7	34759.72	0.61
200	63097.3	39138.90	0.62
500	70527.3	44818.15	0.64
1000	76112.6	49128.90	0.65
2000	81658.4	53371.23	0.65
5000	89108.1	58913.63	0.66
10000	94653.9	63087.53	0.67

Estimación Regional de Coeficientes de Esguurrimento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 39. Coeficientes de esguurrimento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18281.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	54507.7	5904.79	0.11
5	69067.8	8891.11	0.13
10	89008.0	11809.57	0.13
20	103265.4	13981.45	0.14
50	116245.1	16424.81	0.14
100	125021.5	18121.58	0.14
200	133461.6	19818.36	0.15
500	144474.1	21990.24	0.15
1000	152729.3	23619.14	0.15
2000	160866.8	25315.92	0.16
5000	171963.4	27419.93	0.16
10000	179714.2	29116.70	0.16

Tabla 40. Coeficientes de esguurrimento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18460.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	6088.4	1255.99	0.21
5	7471.2	1891.20	0.25
10	9069.5	2511.97	0.28
20	11160.9	2973.94	0.27
50	13510.1	3493.66	0.26
100	15113.3	3854.57	0.26
200	16659.6	4215.49	0.25
500	18656.9	4677.46	0.25
1000	20156.1	5023.94	0.25
2000	21667.6	5384.86	0.25
5000	23620.3	5832.39	0.25
10000	25107.1	6193.31	0.25

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 41. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18461.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	10664.7	1536.06	0.14
5	13413.7	2312.92	0.17
10	16661.9	3072.12	0.18
20	19817.0	3637.10	0.18
50	23061.5	4272.71	0.19
100	25285.3	4714.11	0.19
200	27434.6	5155.51	0.19
500	30228.4	5720.49	0.19
1000	32310.7	6144.23	0.19
2000	34392.9	6585.63	0.19
5000	37194.1	7132.96	0.19
10000	39276.4	7574.36	0.19

Tabla 42. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18495.

Tr	V	V _e 1 día	Ce
años	Miles de m ³	Miles de m ³	
2	86821.4	23093.41	0.27
5	134282.3	34772.84	0.26
10	169871.4	46186.83	0.27
20	192765.2	54680.96	0.28
50	219191.4	64236.85	0.29
100	238181.1	70872.89	0.30
200	256852.1	77508.93	0.30
500	281233.3	86003.06	0.31
1000	299559.0	92373.65	0.31
2000	317884.7	99009.69	0.31
5000	341920.6	107238.38	0.31
10000	360219.7	113874.42	0.32

4.5. MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA.

Para cada subcuenca se empleó el método del número de curva para obtener la precipitación efectiva para los diferentes periodos de retorno empleando la fórmula descrita en el la sección 2.5.17:

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

El número N para cada estación hidrométrica fue calculado con programas SIG, la precipitación total es la obtenida anteriormente para cada periodo de retorno. En la Tabla 43 y la Tabla 44 se muestran las precipitaciones obtenidas con el método del número N para cada estación hidrométrica.

Tabla 43. Precipitación efectiva para cada periodo de retorno calculado con el método del número de curva (Número N), para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281.

Tr	18129		18195		18201		18281	
	P	Pe (N=80)	P	Pe (N=66)	P	Pe (N=76)	P	Pe (N=67)
Años	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	36.21	6.35	34.35	0.48	54.58	12.51	32.42	0.41
5	50.94	14.37	54.62	5.08	71.95	22.96	41.08	1.83
10	65.68	24.10	67.67	9.99	89.99	35.47	52.94	5.09
20	83.36	37.22	76.73	14.09	108.91	49.83	61.42	8.20
50	105.13	54.79	87.29	19.46	130.32	67.15	69.14	11.50
100	120.47	67.81	94.91	23.67	145.26	79.73	74.36	13.95
200	135.34	80.80	102.40	28.06	159.74	92.22	79.38	16.47
500	154.65	98.08	112.19	34.12	178.55	108.80	85.93	19.94
1000	169.2	111.33	119.56	38.89	192.69	121.49	90.84	22.69
2000	183.53	124.54	126.93	43.84	206.73	134.23	95.68	25.50
5000	202.33	142.06	136.83	50.70	225.59	151.54	102.28	29.50
10000	217.55	156.38	144.21	55.98	239.63	164.55	106.89	32.38

⁷ 2.5.1 Número de escurrimiento, página 5

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 44. Precipitación efectiva para cada periodo de retorno calculado con el método del número de curva (Número N), para las estaciones hidrométricas 18460 a 18495.

Tr	18460		18461		18495	
	P	Pe (N=59)	P	Pe (N=76)	P	Pe (N=66)
Años	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	24.57	0.69	28.63	1.71	32.69	0.31
5	30.15	0.15	36.01	3.98	50.56	3.83
10	36.6	0.01	44.73	7.56	63.96	8.47
20	45.04	0.51	53.2	11.76	72.58	12.15
50	54.52	1.89	61.91	16.69	82.53	16.97
100	60.99	3.26	67.88	20.35	89.68	20.75
200	67.23	4.89	73.65	24.08	96.71	24.71
500	75.29	7.39	81.15	29.17	105.89	30.18
1000	81.34	9.52	86.74	33.12	112.79	34.50
2000	87.44	11.89	92.33	37.19	119.69	38.98
5000	95.32	15.23	99.85	42.82	128.74	45.07
10000	101.32	17.97	105.44	47.12	135.63	49.86

Se puede entonces comparar la precipitación obtenida con cada método. En la Tabla 45 y la Tabla 46 se analiza numéricamente la precipitación y la precipitación efectiva (por el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N) para cada periodo de retorno, así mismo de la Figura 30. a la Figura 36. se puede ver la comparación entre los valores de precipitación efectiva obtenidos mediante el método del coeficiente de escurrimiento y el del número N para cada estación hidrométrica.

Tabla 45. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281.

Tr	18129			18195			18201			18281		
	P	Pe (Ce)	Pe (N)									
Años	mm	mm	mm									
2	36.21	4.68	6.35	34.35	9.53	0.48	54.58	11.78	12.51	32.42	3.51	0.41
5	50.94	8.82	14.37	54.62	14.35	5.08	71.95	22.17	22.96	41.08	5.29	1.83
10	65.68	17.64	24.10	67.67	19.07	9.99	89.99	44.35	35.47	52.94	7.02	5.09
20	83.36	23.98	37.22	76.73	22.57	14.09	108.91	60.28	49.83	61.42	8.32	8.20
50	105.13	30.45	54.79	87.29	26.52	19.46	130.32	76.57	67.15	69.14	9.77	11.50
100	120.47	35.00	67.81	94.91	29.26	23.67	145.26	88.00	79.73	74.36	10.78	13.95
200	135.34	39.41	80.80	102.40	32.00	28.06	159.74	99.09	92.22	79.38	11.79	16.47
500	154.65	45.13	98.08	112.19	35.50	34.12	178.55	113.46	108.80	85.93	13.08	19.94
1000	169.2	49.47	111.33	119.56	38.13	38.89	192.69	124.38	121.49	90.84	14.05	22.69
2000	183.53	53.74	124.54	126.93	40.87	43.84	206.73	135.12	134.23	95.68	15.06	25.50
5000	202.33	59.32	142.06	136.83	44.27	50.70	225.59	149.15	151.54	102.28	16.31	29.50
10000	217.55	63.52	156.38	144.21	47.01	55.98	239.63	159.72	164.55	106.89	17.32	32.38

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 46. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18460 a la 18495.

Tr	18460			18461			18495		
	P	Pe (Ce)	Pe (N)	P	Pe (Ce)	Pe (N)	P	Pe (Ce)	Pe (N)
Años	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2	24.57	5.07	0.69	28.63	4.12	1.71	32.69	8.70	0.31
5	30.15	7.63	0.15	36.01	6.21	3.98	50.56	13.09	3.83
10	36.6	10.14	0.01	44.73	8.25	7.56	63.96	17.39	8.47
20	45.04	12.00	0.51	53.2	9.76	11.76	72.58	20.59	12.15
50	54.52	14.10	1.89	61.91	11.47	16.69	82.53	24.19	16.97
100	60.99	15.56	3.26	67.88	12.66	20.35	89.68	26.69	20.75
200	67.23	17.01	4.89	73.65	13.84	24.08	96.71	29.18	24.71
500	75.29	18.88	7.39	81.15	15.36	29.17	105.89	32.38	30.18
1000	81.34	20.27	9.52	86.74	16.49	33.12	112.79	34.78	34.50
2000	87.44	21.73	11.89	92.33	17.68	37.19	119.69	37.28	38.98
5000	95.32	23.54	15.23	99.85	19.15	42.82	128.74	40.38	45.07
10000	101.32	24.99	17.97	105.44	20.33	47.12	135.63	42.88	49.86

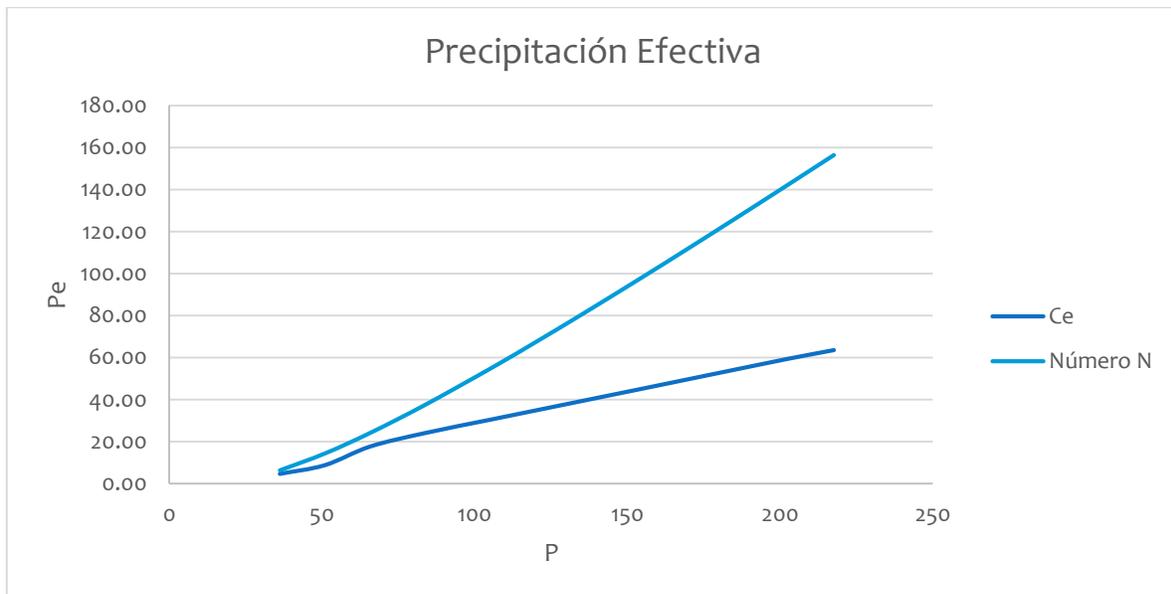


Figura 30. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18129.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

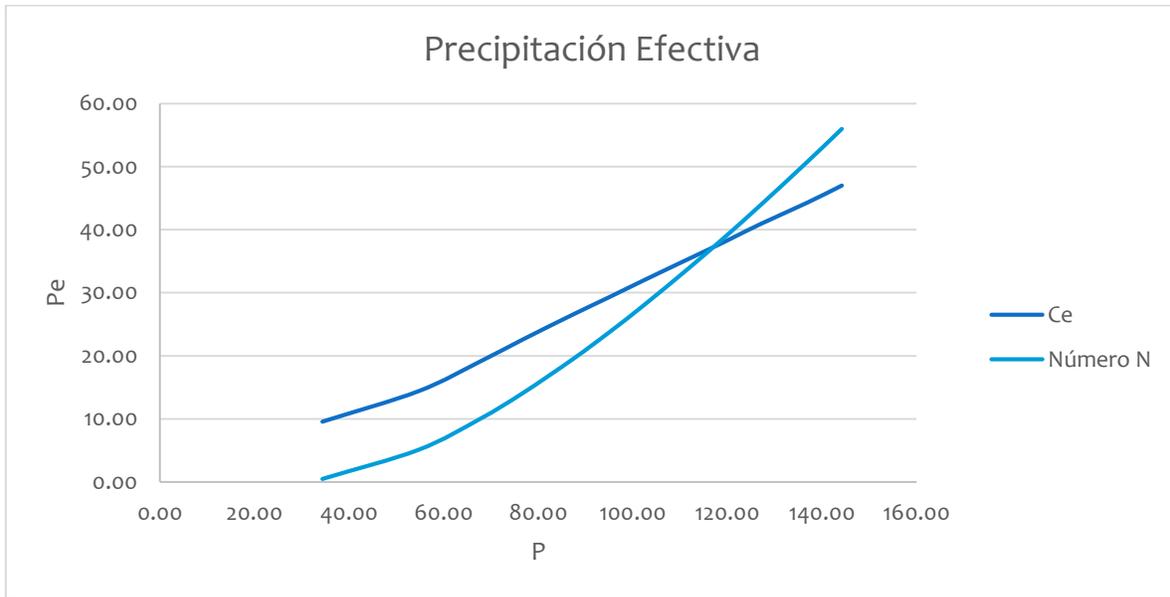


Figura 31. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18195.

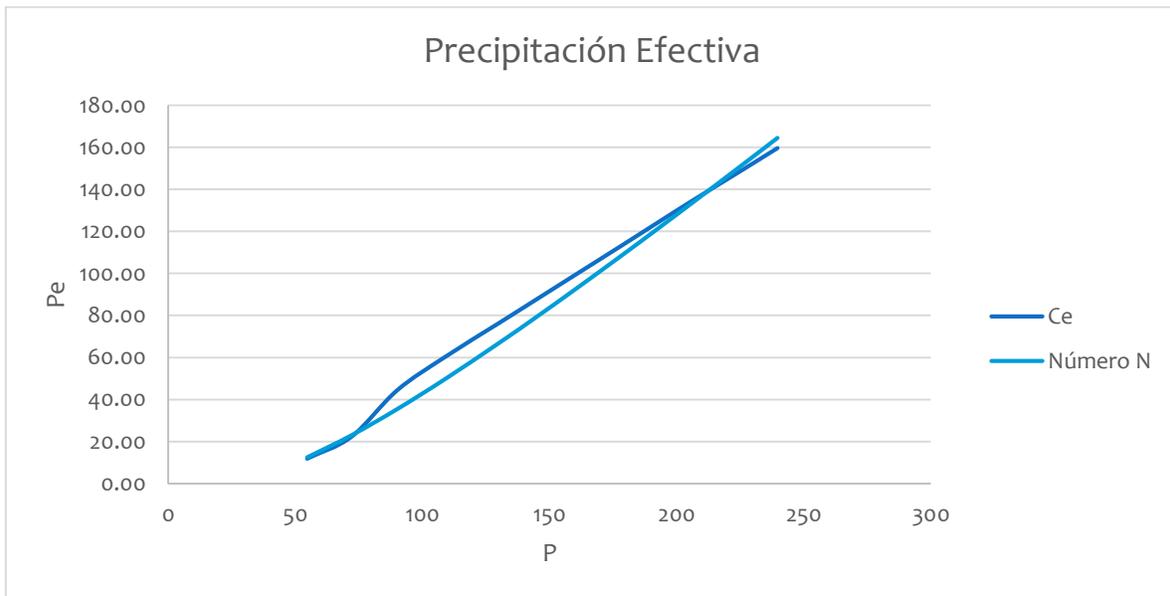


Figura 32. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18201.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

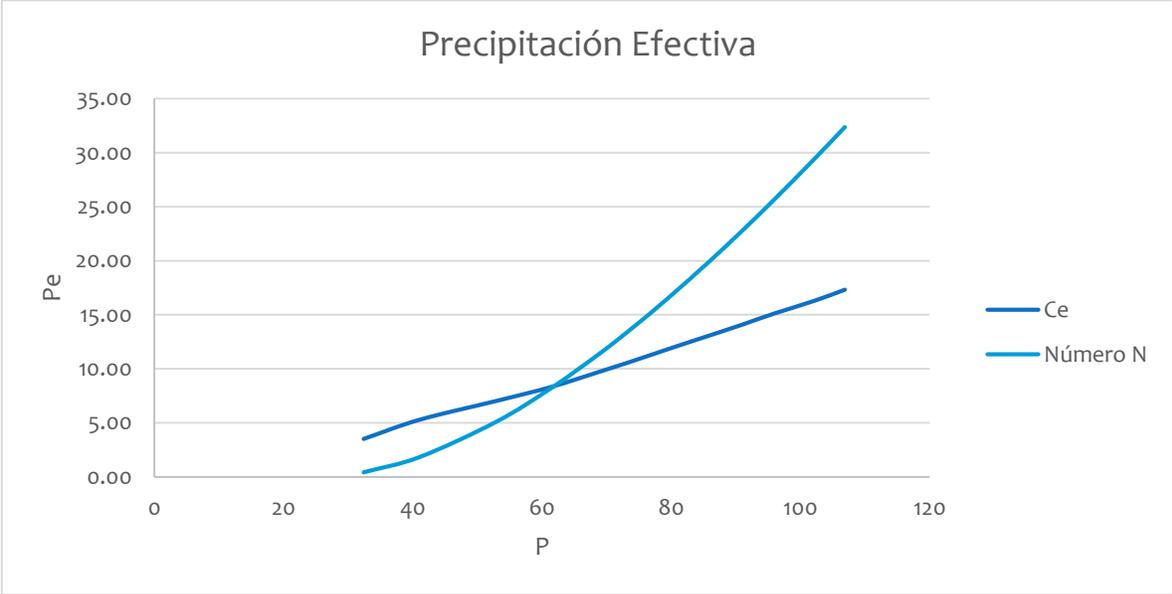


Figura 33. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18281.

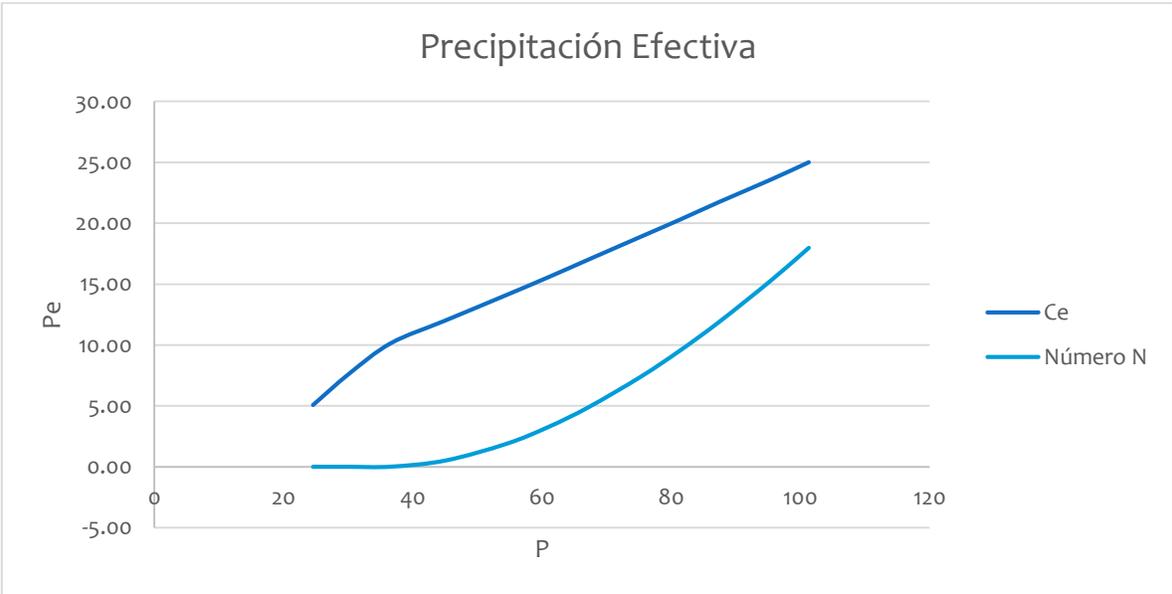


Figura 34. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18460.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

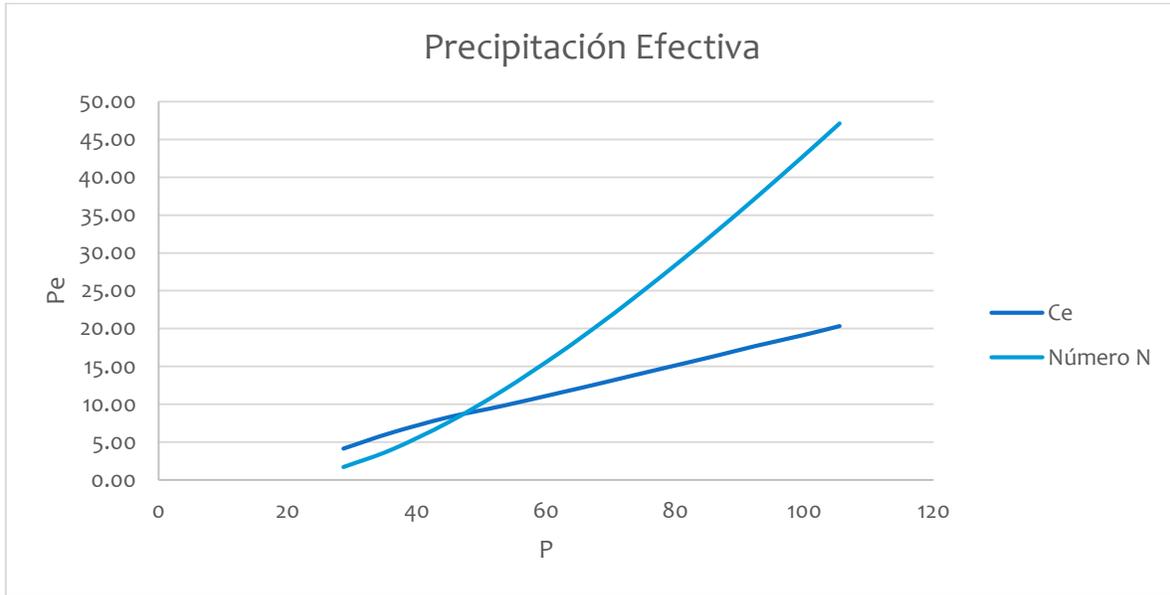


Figura 35. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18461.

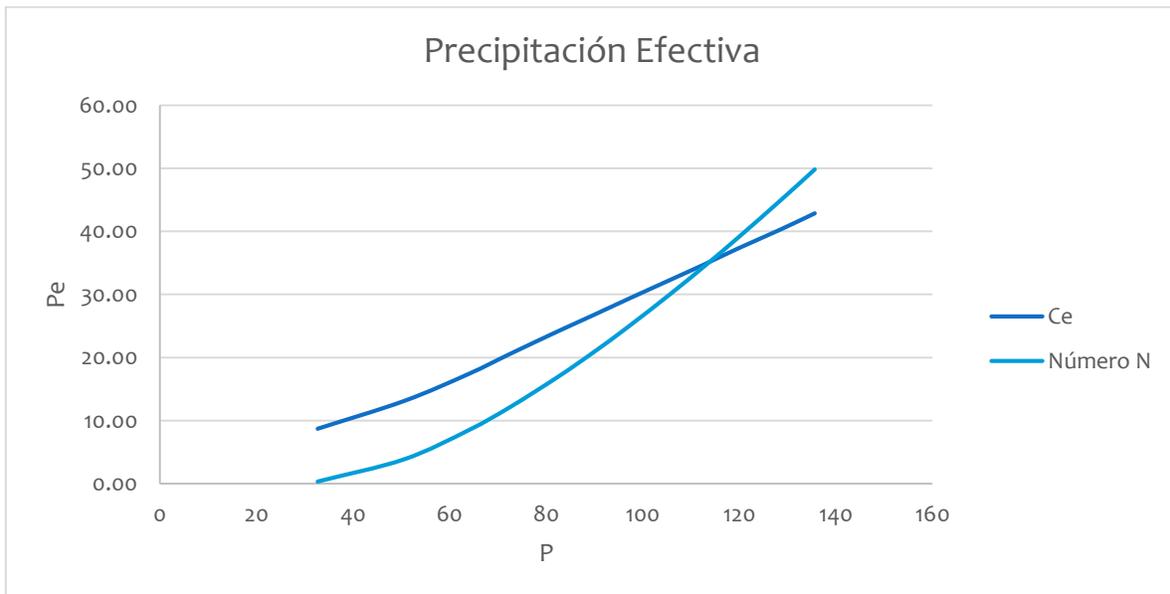


Figura 36. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18495.

Una última comparativa es analizar el coeficiente de escurrimiento tanto con el método del Coeficiente de escurrimiento, como con el método del número N, en la Tabla 47 y la Tabla 48 se observa esta comparativa, y de la Figura 37. a la Figura 43. se puede observar el comportamiento precipitación (P) contra coeficiente de escurrimiento (Ce) para cada estación hidrométrica.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 47. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281.

Tr	18129			18195			18201			18281		
	P	Ce	Ce (N)									
Años	mm			mm			mm			mm		
2	36.21	0.13	0.18	34.35	0.28	0.01	54.58	0.22	0.23	32.42	0.11	0.01
5	50.94	0.17	0.28	54.62	0.26	0.09	71.95	0.31	0.32	41.08	0.13	0.04
10	65.68	0.27	0.37	67.67	0.28	0.15	89.99	0.49	0.39	52.94	0.13	0.10
20	83.36	0.29	0.45	76.73	0.29	0.18	108.91	0.55	0.46	61.42	0.14	0.13
50	105.13	0.29	0.52	87.29	0.30	0.22	130.32	0.59	0.52	69.14	0.14	0.17
100	120.47	0.29	0.56	94.91	0.31	0.25	145.26	0.61	0.55	74.36	0.14	0.19
200	135.34	0.29	0.60	102.40	0.31	0.27	159.74	0.62	0.58	79.38	0.15	0.21
500	154.65	0.29	0.63	112.19	0.32	0.30	178.55	0.64	0.61	85.93	0.15	0.23
1000	169.2	0.29	0.66	119.56	0.32	0.33	192.69	0.65	0.63	90.84	0.15	0.25
2000	183.53	0.29	0.68	126.93	0.32	0.35	206.73	0.65	0.65	95.68	0.16	0.27
5000	202.33	0.29	0.70	136.83	0.32	0.37	225.59	0.66	0.67	102.28	0.16	0.29
10000	217.55	0.29	0.72	144.21	0.33	0.39	239.63	0.67	0.69	106.89	0.16	0.30

Tabla 48. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18460 a la 18495.

Tr	18460			18461			18495		
	P	Ce	Ce (N)	P	Ce	Ce (N)	P	Ce	Ce (N)
Años	mm			mm			mm		
2	24.57	0.21	0.03	28.63	0.14	0.06	32.69	0.27	0.01
5	30.15	0.25	0.01	36.01	0.17	0.11	50.56	0.26	0.08
10	36.6	0.28	0.00	44.73	0.18	0.17	63.96	0.27	0.13
20	45.04	0.27	0.01	53.2	0.18	0.22	72.58	0.28	0.17
50	54.52	0.26	0.03	61.91	0.19	0.27	82.53	0.29	0.21
100	60.99	0.26	0.05	67.88	0.19	0.30	89.68	0.30	0.23
200	67.23	0.25	0.07	73.65	0.19	0.33	96.71	0.30	0.26
500	75.29	0.25	0.10	81.15	0.19	0.36	105.89	0.31	0.29
1000	81.34	0.25	0.12	86.74	0.19	0.38	112.79	0.31	0.31
2000	87.44	0.25	0.14	92.33	0.19	0.40	119.69	0.31	0.33
5000	95.32	0.25	0.16	99.85	0.19	0.43	128.74	0.31	0.35
10000	101.32	0.25	0.18	105.44	0.19	0.45	135.63	0.32	0.37

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

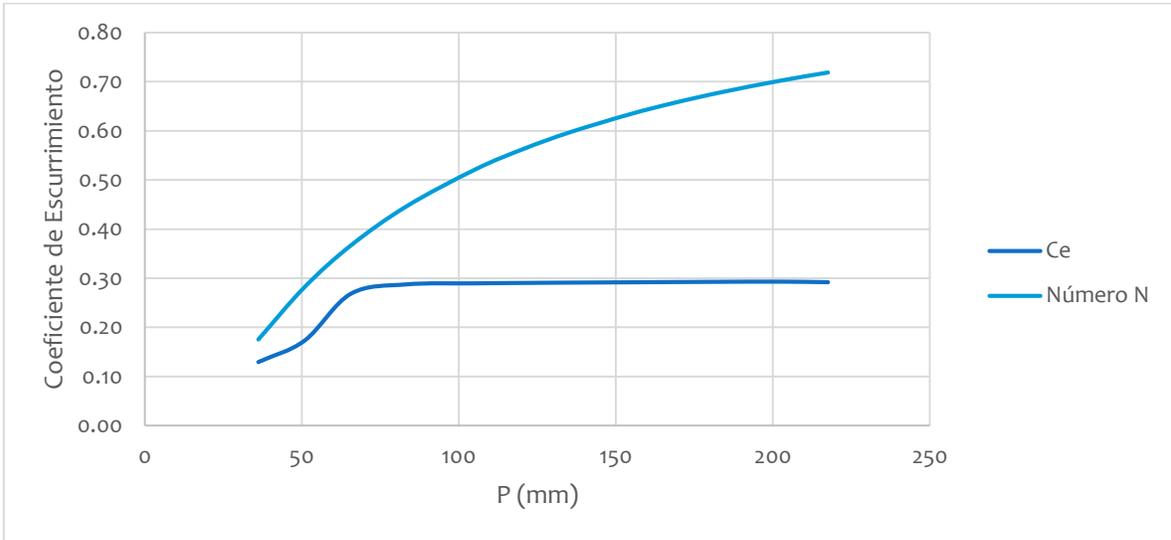


Figura 37. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18129.

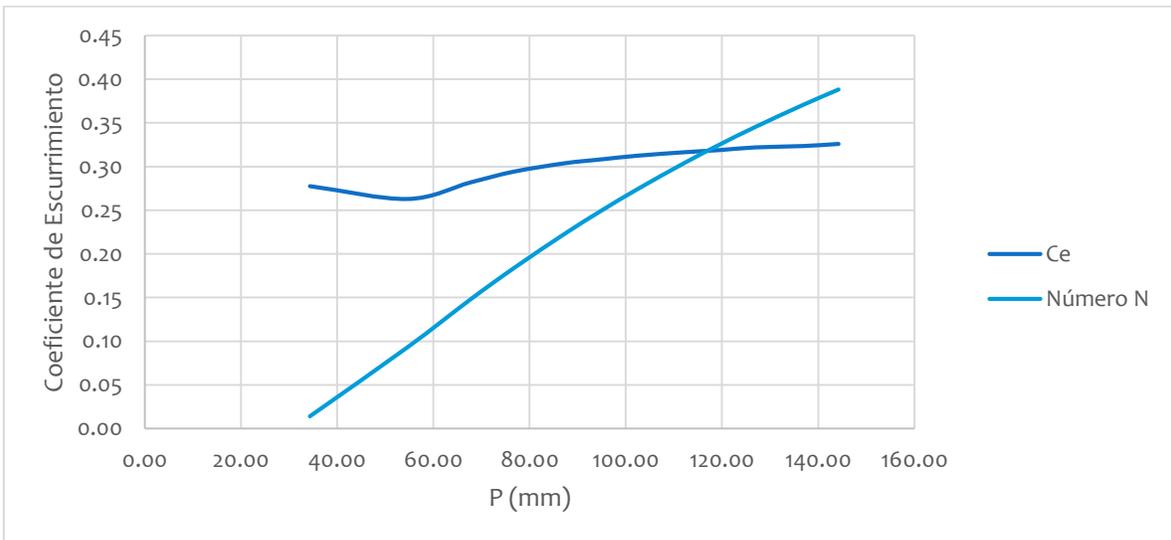


Figura 38. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18195.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

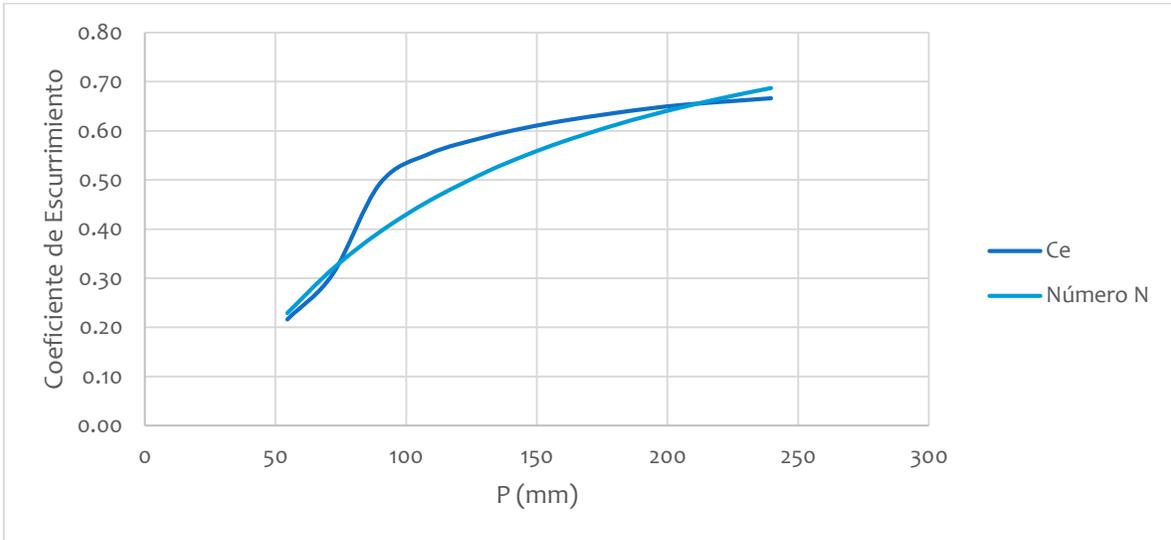


Figura 39. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18201.

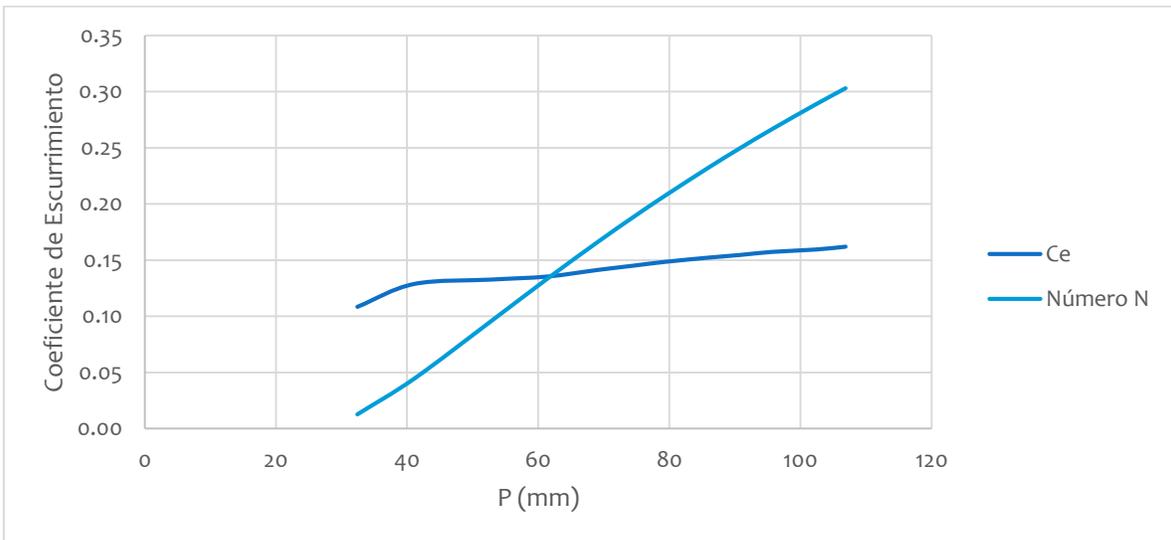


Figura 40. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18281.

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

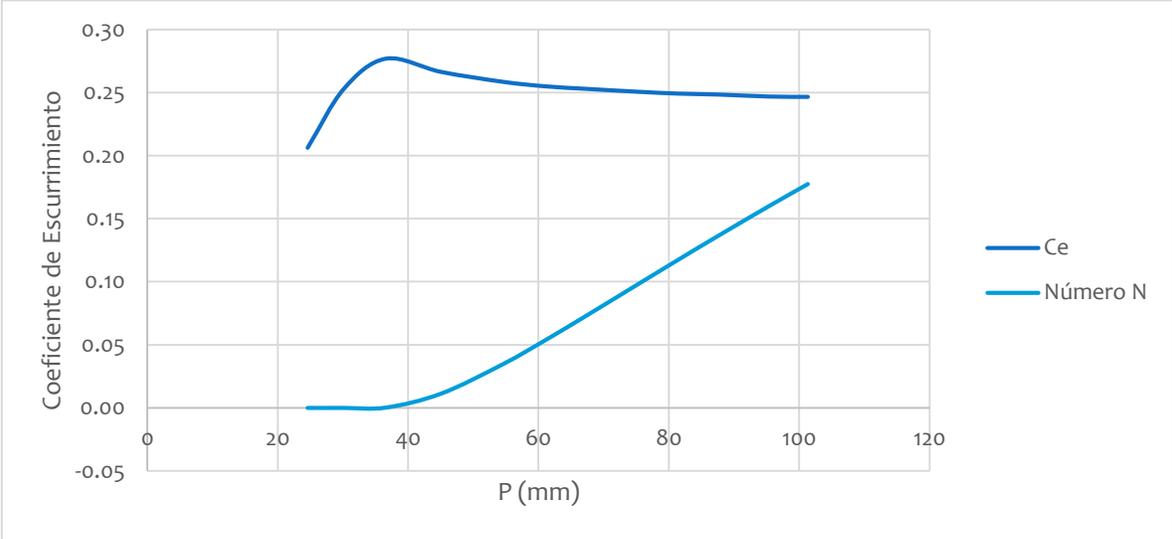


Figura 41. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18460.

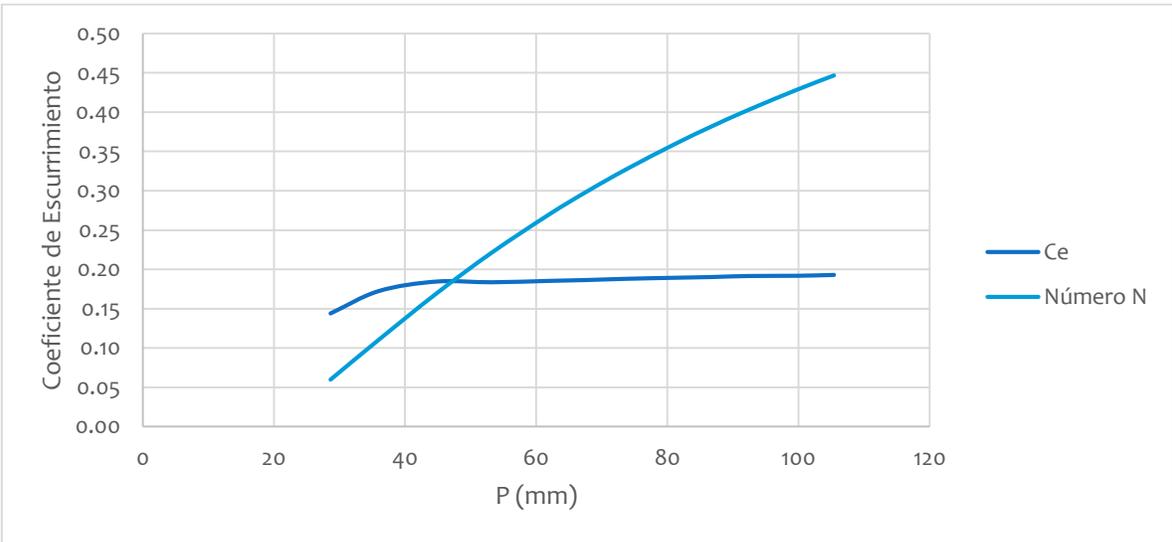


Figura 42. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18461.

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

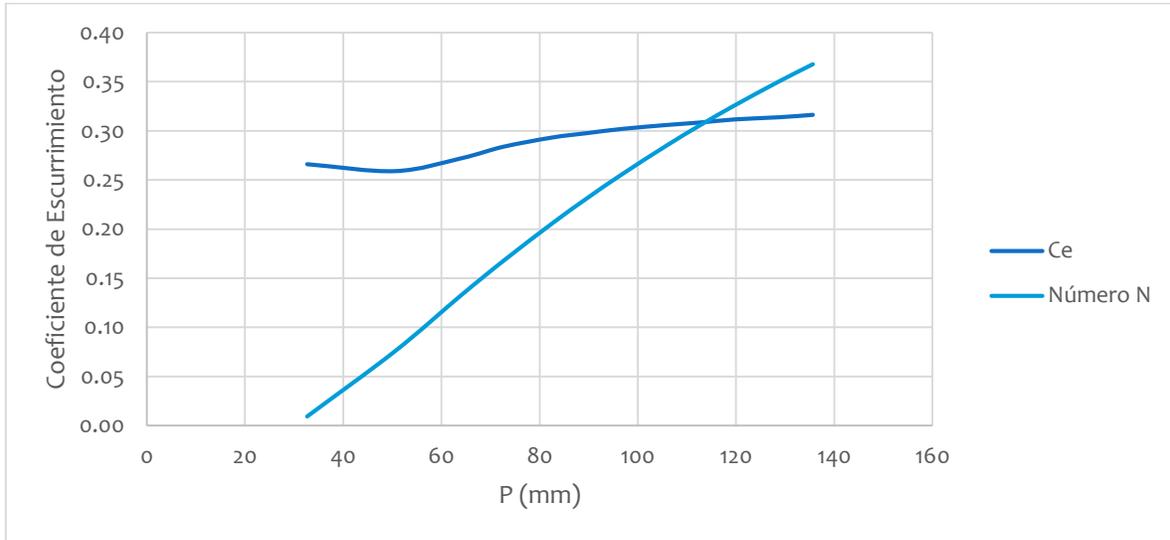


Figura 43. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18495.

Como se observa en las gráficas anteriores, el coeficiente de escurrimiento se sobreestima al emplear el método del número N, así mismo, aunque pertenezcan al mismo grupo para realizar las extrapolaciones de gastos, el coeficiente de escurrimiento difiere para cada cuenca, puede que esto se deba en gran medida a la ubicación geográfica de cada cuenca, lo cual viene repercutiendo directamente en la precipitación total, también extrapolada para cada periodo de retorno.

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Del análisis del comportamiento para diferentes periodos de retorno del coeficiente de escurrimiento para cada estación hidrométrica mediante los métodos propuestos (método del coeficiente de escurrimiento y método del número N), se concluye que se deben reconsiderar los métodos que se utilizan actualmente para obtener las relaciones lluvia-escurrimiento; es decir, calcular la lluvia efectiva o el coeficiente de escurrimiento, los cuales están directamente relacionados.

Si se considera el tipo y uso de suelo (método del número N) se deben rehacer estudios orientados a México, ya que los números de escurrimiento están calibrados en el extranjero, así mismo ampliar las tablas para incluir una mayor diversidad de características de las cuencas que influyan en el proceso de infiltración y por ello, en el valor del número N y con esto reducir la incertidumbre al momento de calcular la lluvia efectiva y el coeficiente de escurrimiento.

Al obtener los resultados por ambos métodos se notó que el comportamiento de los coeficientes de escurrimiento es diferente, siendo el del número N el que notoriamente se acercará a 1 en una forma más rápida para todos los casos, esto sobreestima el coeficiente de escurrimiento para periodos de retorno mayores.

El coeficiente de escurrimiento, obtenido a partir de mediciones de lluvias y escurrimiento en las cuencas estudiadas, que tiene valores razonables en la mayoría de los casos, o el de la cuenca de la estación 18129 en la que los gastos máximos estimados no fueron consistentes, muy probablemente debido a que se encuentra seis kilómetros aguas abajo de la cortina de la presa Vicente C. Villaseñor y ello altera la medición de la estación hidrométrica, porque el flujo del agua no es natural, sino controlado.

No quiere decir que se invalide el método del número N, simplemente es un método que requiere ciertas precisiones para emplearlo en la Región Hidrológica 18, ya que a lo largo del tiempo el que esté calibrado en el extranjero afecta los resultados, y es en los datos extrapolados en los que el margen de error es mayor.

Así mismo, para estaciones con precipitaciones más grandes, es decir, mayores a 200 mm, el método del coeficiente de escurrimiento y el de los números de escurrimiento se comportan de forma similar, con ligeras variaciones. Por ello, se plantearía la hipótesis de que el método de los números de escurrimiento es más efectivo en cuencas con precipitaciones mayores a los 200 mm, nuevamente exceptuando a la estación 18129 (por la cortina de la presa que se encuentra aguas arriba).

De la Figura 37. a la Figura 43. se presentan las comparaciones finales, que son de precipitación contra coeficiente de escurrimiento se observa la influencia de la magnitud de la lluvia para ambos métodos. Al presentar gráficamente el coeficiente de escurrimiento que corresponde a cada método contra la lluvia total, se aprecia que la diferencia es importante, y que el método de los números de escurrimiento tiende a crecer considerablemente, más que el método del coeficiente de escurrimiento.

Se propone el método del coeficiente de escurrimiento para realizar el análisis, debido a que se han considerado otros factores que no se relacionan con el tipo y uso de suelo, que son los datos medidos de lluvia y escurrimiento.

El tomar en cuenta la simultaneidad de lluvias mejora la estimación de lo llovió principalmente en las cuencas grandes, porque en no llueve uniformemente en toda su extensión cuando ocurre un evento de precipitación.

El método del coeficiente de escurrimiento, aplicado de la forma en la que ha ocurrido en este trabajo de investigación, puede ser el principio para cambiar la forma en la que se analizan las relaciones lluvia-escurrimiento, para no utilizar tablas que generen incertidumbre. Sin embargo, hace falta aplicar este procedimiento en un mayor número de cuencas para tener resultados concluyentes a este respecto.

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 6 BIBLIOGRAFÍA

6. Bibliografía

- Agia, C. N. (2010). *Estadísticas del Agua en la cuenca del Río Balsas, 2010*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Aparicio Mijares, F. J. (2004). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. México, D.F.: LIMUSA.
- Campos Aranda, D. F. (2010). *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis Potosí.
- Centro Virtual de Información del Agua. (26 de Enero de 2015). *Agua.org.mx*. Obtenido de http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=15096:acuerdo-por-el-que-se-dan-a-conocer-los-estudios-tecnicos-de-aguas-nacionales-superficiales-de-la-region-hidrologica-numero-18-balsas&catid=1334:cuenca-del-rio-balsas&Itemid=110
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- CONAGUA. (26 de Enero de 2015). *CONAGUA*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/atlas/ciclo09.html>
- Escalante Sandoval, C. A., & Reyes Chávez, L. (2008). *Técnicas estadísticas en hidrología*. México, D.F.: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Guichard Romero, D., Arellano Monterrosas, J. L., González Pascacio, S., Aguilar Suárez, M. Á., Domínguez Mora, R., & Muciño Porras, J. J. (2014). Calibración de los Números de Ecurrimiento en Microcuencas de la Región Hidrológica 23 (Costa de Chiapas). *XXIII Congreso Nacional de Hidráulica*, (pág. 7). Puerto Vallarta.
- Organismo de Cuenca Balsas. (26 de Enero de 2015). *CONAGUA*. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/OCB07/Contenido/Documentos/EstadisticasBALSAS.pdf>

ESTIMACIÓN REGIONAL DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO. APLICACIÓN A LA REGIÓN HIDROLÓGICA NO 18.

CAPÍTULO 7 ÍNDICES

7. ÍNDICES

7.1. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de suelo en la Región Hidrológica No 18.	10
Tabla 2. Uso de suelo en la Región Hidrológica No 18.	11
Tabla 3. Valores del coeficiente de escurrimiento (Aparicio Mijares, 2004).	14
Tabla 4. Coeficientes de escurrimiento para ser usados en el método racional.	15
Tabla 5. Tanteos para encontrar el valor correcto de la capacidad de infiltración media (ϕ).	17
Tabla 6. Resumen de grupos para la Región Hidrológica No 18.	23
Tabla 7. Factores para el gasto de diseño regional por grupos, Región Hidrológica No 18.	25
Tabla 8. Estaciones hidrométricas de la Región Hidrológica No 18 y sus características.	28
Tabla 9. tc y factor Qm.	29
Tabla 10. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18129.	30
Tabla 11. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18195.	30
Tabla 12. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18201.	32
Tabla 13. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18281.	33
Tabla 14. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18460.	34
Tabla 15. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18461.	35
Tabla 16. Estaciones climatológicas que se usaron para la estación hidrométrica 18495.	37
Tabla 17. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18129.	38
Tabla 18. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18195.	39
Tabla 19. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18201.	40
Tabla 20. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18281.	41
Tabla 21. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18460.	42
Tabla 22. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18461.	43
Tabla 23. Simultaneidad de estaciones climatológicas para la estación hidrométrica 18495.	45
Tabla 24. Datos extrapolados, ajuste doble Gumbel para los promedios máximos, para cada estación hidrométrica.	50
Tabla 25. Volumen estimado para diferentes periodos de retorno, aplicado a cada estación hidrométrica.	50
Tabla 26. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18129.	51
Tabla 27. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18195.	52
Tabla 28. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18201.	52
Tabla 29. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18281.	53
Tabla 30. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18460.	54
Tabla 31. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18461.	55
Tabla 32. Gastos medios máximos anuales para un día, estación hidrométrica 18495.	56
Tabla 33. Resumen de grupos para las estaciones hidrométricas con las que se trabajó.	57
Tabla 34. Gastos medios diarios máximos anuales, extrapolados, para las estaciones hidrométricas pertenecientes al grupo 1.	57
Tabla 35. Gastos medios diarios máximos anuales, extrapolados, para las estaciones hidrométricas pertenecientes al grupo 3.	58
Tabla 36. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18129.	62
Tabla 37. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18195.	63
Tabla 38. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18201.	63

Estimación Regional de Coeficientes de Ecurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Tabla 39. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18281. _____	64
Tabla 40. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18460. _____	64
Tabla 41. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18461. _____	65
Tabla 42. Coeficientes de escurrimiento calculado para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18495. _____	65
Tabla 43. Precipitación efectiva para cada periodo de retorno calculado con el método del número de curva (Número N), para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281. _____	66
Tabla 44. Precipitación efectiva para cada periodo de retorno calculado con el método del número de curva (Número N), para las estaciones hidrométricas 18460 a 18495. _____	67
Tabla 45. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281. _____	67
Tabla 46. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18460 a la 18495. _____	68
Tabla 47. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18129 a la 18281. _____	72
Tabla 48. Análisis del coeficiente de escurrimiento obtenido por ambos métodos, para las estaciones hidrométricas 18460 a la 18495. _____	72

7.2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuenca del Río Balsas. _____	7
Figura 2. Subregiones y cuencas hidrológicas de la Región Hidrológica número 18 Balsas. _____	8
Figura 3. Distribución de los tipos de suelo en la Región Hidrológica No 18. _____	10
Figura 4. Usos del suelo en la Región Hidrológica No 18. _____	12
Figura 5. Precipitación Efectiva para diferentes números de escurrimiento. _____	13
Figura 6. Hietograma e hidrograma para el ejemplo de índice de infiltración media. _____	16
Figura 7. Ajuste del Grupo 1 por el método Estaciones-Año. _____	24
Figura 8. Ajuste del Grupo 2 por el método Estaciones-Año. _____	24
Figura 9. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18129. _____	29
Figura 10. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18195. _____	30
Figura 11. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18201. _____	32
Figura 12. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18281. _____	33
Figura 13. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18460. _____	34
Figura 14. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18461. _____	35
Figura 15. Estaciones climatológicas relacionadas con la estación hidrométrica 18495. _____	36
Figura 16. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18129. _____	46
Figura 17. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18195. _____	47
Figura 18. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18201. _____	47
Figura 19. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18281. _____	48
Figura 20. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18460. _____	48

Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento. Aplicación a la Región Hidrológica no 18.

Figura 21. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18461.	49
Figura 22. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 18495.	49
Figura 23. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18129.	59
Figura 24. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos para la estación hidrométrica 18195.	59
Figura 25. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18201.	60
Figura 26. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18281.	60
Figura 27. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18460.	61
Figura 28. Comparación entre los datos medidos y extrapolados para gastos medios diarios máximos anuales para la estación hidrométrica 18461.	61
Figura 29.	62
Figura 30. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18129.	68
Figura 31. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18195.	69
Figura 32. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18201.	69
Figura 33. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18281.	70
Figura 34. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18460.	70
Figura 35. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18461.	71
Figura 36. Precipitación contra Precipitación efectiva, comparando el método del coeficiente de escurrimiento y el método del número N para diferentes periodos de retorno, estación hidrométrica 18495.	71
Figura 37. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18129.	73
Figura 38. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18195.	73
Figura 39. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18201.	74
Figura 40. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18281.	74
Figura 41. Comparativa de precipitación contra coeficiente de escurrimiento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18460.	75

Estimación Regional de Coeficientes de Esgurrimento. Aplicación a la Región
Hidrológica no 18.

Figura 42. Comparativa de precipitación contra coeficiente de esgurrimento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18461. _____ 75

Figura 43. Comparativa de precipitación contra coeficiente de esgurrimento para ambos métodos para la estación hidrométrica 18495. _____ 76