



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE
ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE
RETORNO**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN HIDRÁULICA

PRESENTA:

ING. MAURICIO GUILLERMO RAMÍREZ AMBRIZ

DIRECTOR DE TESINA: DR. RAMÓN DOMINGUEZ MORA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

DICIEMBRE 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. GABRIEL ECHAVEZ ALDAPE
Vocal 1: DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA
Vocal 2: DRA. MA. DEL ROSIO RUIZ URBANO
Vocal 3: DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ
Secretario: DR. JOSÉ LUIS ARAGÓN HERNÁNDEZ

Lugar donde se realizó la tesina: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM.

TUTOR DE TESINA:
DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

FIRMA

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Juana y Mauricio, por su apoyo incondicional a cada instante de mi formación, y que, a pesar de las dificultades, nunca dejaron de confiar en mí, dándome ese apoyo que necesitaba para realizar mis estudios.

A mis primos, Rodrigo y Salvador, a los cuales les puedo decir hermanos, viendo en ellos una fortaleza para seguir adelante.

A mi tía Hilda, que, gracias a sus consejos, estoy presentando este trabajo, por haberme dado ánimos para concluir todo lo iniciado, llevándola siempre en el fondo de mi corazón.

Al Dr. Ramón Domínguez Mora que gracias a sus conocimientos y paciencia pudo orientarme en toda mi tesina, siendo unas de las mejores personas que he conocido.

A Carito, Mario, Olaf, Adam, Edgar, Paty, Mau, Lalo, Cecy, Magaly, Coco, Robert y Sinuhé, siendo mis amigos del instituto con los cuales compartí muchas experiencias, las cuales no olvidaré, dándome cada uno parte de su carisma y su forma de ser.

A Gaby, que desde la prepa me mostró su gran amistad y aunque no nos frecuentemos mucho, sé que puedo contar con ella en cualquier momento.

A Jessica, que a pesar de a veces no entendernos muy bien, le agradezco su apoyo y cariño mostrado a cada instante, siendo de mis mejores apoyos en momentos difíciles.

Al Instituto de Ingeniería, por haberme dado la oportunidad de conocer a excelentes personas y poder ampliar mis conocimientos cursando un posgrado.

A la Universidad Nacional Autónoma de México la cuál considero la mejor universidad del país, sintiéndome orgulloso de pertenecer a esta gran institución.

Contenido

Introducción.....	6
1. Objetivos.....	11
1.1 Objetivo general.....	11
1.2 Objetivos específicos.....	11
2. Aspectos generales.....	13
2.1. Conceptos básicos.....	13
2.2. Antecedentes.....	16
2.3. Descripción de las zonas de estudio.....	16
3. Metodología.....	18
3.1. Obtención de la información.....	18
3.2. Características fisiográficas de la cuenca.....	18
3.3. Datos de escurrimiento.....	19
4. Funciones de distribución de probabilidad.....	26
4.1. Función de distribución Gumbel.....	26
4.2. Función de distribución doble Gumbel.....	28
4.3. Métodos de ajuste.....	29
5. Aplicación y análisis.....	31
5.1 Obtención de gastos para cada estación hidrométrica.....	37
5.2 Obtención de la precipitación para cada estación.....	52
5.3. Coeficientes de escurrimiento.....	83
6. Comparación de resultados.....	92
7. Conclusiones.....	95
8. Referencias bibliográficas.....	98



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 1 *INTRODUCCIÓN*

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Introducción.

El agua que forma parte del caudal de un río recorre diferentes caminos, desde el momento en que se precipita y alcanza la superficie terrestre, en donde parte de ella se infiltra y el resto de ella escurre, todo esto ocurre hasta que se incorpora al cauce de un río y alcanza la salida de una cuenca, esto constituye parte del ciclo hidrológico.

Es importante conocer los componentes del escurrimiento para elaborar cualquier estudio hidrológico como también los elementos que conforman un hidrograma antes de analizar la relación que existe entre la precipitación y el escurrimiento ocurridos en la cuenca de estudio.

La importancia de la relación entre estos fenómenos radica en que es normal que se carezca de suficientes datos de escurrimiento del sitio de interés, es decir, suelen abundar más los registros de precipitación. Dado que el flujo de un río es afectado principalmente por las variaciones de precipitación, las relaciones lluvia-escurrimiento son una herramienta valiosa para suplir la carencia de la información, pues permiten determinar el escurrimiento utilizando las características de la cuenca y los datos de precipitación. Es por ello que existen numerosos métodos para relacionar la precipitación en una cuenca con el escurrimiento de la misma, teniendo como principal importancia estimar las pérdidas al escurrimiento.

Para la estimación de estas pérdidas se buscan eventos que tengan registrados el hietograma de una tormenta y el hidrograma producido por la misma. Con estos datos se obtiene la lluvia efectiva con la cual se determinan los indicadores de las pérdidas, estos indicadores son tradicionalmente el coeficiente de escurrimiento, el índice de infiltración o el número de escurrimiento, ya que estas pérdidas constituyen un papel muy importante para determinar la relacion entre el caudal que escurre sobre el caudal precipitado.

Hay que mencionar que este proceso tiene varias limitaciones dentro de las que destacan la dificultad de aplicar los resultados para cuencas no aforadas y el no tomar en cuenta explícitamente la relación de estos indicadores con la magnitud de la tormenta.

Para obtener una avenida de diseño en una cuenca no aforada se requiere relacionar las pérdidas con las características de las cuencas y así obtener un indicador que esté ligado con el periodo de retorno asociado a un gasto con el cual se va a diseñar. Se puede recurrir a algunas tablas donde ya se reportan los resultados, esto es la de Número de Curva (Tabla 1.1), o las que nos proporcionan el libro de Aparicio y Chow (Tablas 1.2 y 1.3).

Tabla 1.1. Número de curva según la cobertura del suelo.

Uso de suelo y vegetación	Grupo hidrológico			
	A	B	C	D
Agricultura (de humedad, de riego, temporal)				
Condición hidrológica mala	72	81	88	91
Condición hidrológica regular	67	76	83	86
Condición hidrológica buena	62	71	78	81

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO**

Área sin vegetación aparente	77	86	91	94
Asentamiento humano				
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc	82	88	91	93
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Residencial 50 % ó más área impermeable	77	85	90	92
Residencial 50 % ó menos área impermeable	61	75	83	87
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeable)	81	88	91	93
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc	98	98	98	98
Calles y carreteras (pavimentados con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
Calles y carreteras de grava	76	85	89	91
Calles y carreteras de tierra	72	82	87	89
Bosque (cultivado, de encino, encino-pino, oyamel, pino, tascate, mesófilo de montaña)				
Condición hidrológica mala	45	66	77	83
Condición hidrológica regular	36	60	73	79
Condición hidrológica buena	25	55	70	77
Chaparral (Arbustos)	20	48	65	73
Cuerpo de agua	100	100	100	100
Erosión	68	79	86	89
Manglar	100	100	100	100
Matorral (con izotes, con rosetófilos acaules, crasicaule, desértico micrófilo, ..., subtropical)				
Condición hidrológica mala	48	67	77	83
Condición hidrológica regular	34	58	71	78
Condición hidrológica buena	20	48	65	73
Mezquital	68	79	86	92
Nopalera	39	61	74	84
Palmar	45	66	77	83
Pastizal (cultivado, halófilo, inducido, natural, natural-huizachal)				
Condición hidrológica mala	68	79	86	89
Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80
Plantación forestal				
Condición hidrológica mala	55	73	82	86
Condición hidrológica regular	44	65	76	82
Condición hidrológica buena	32	58	72	79
Pradera de alta montaña	30	58	71	78
Sabana	45	66	77	83
Selva (baja caducifolia, baja caducifolia y subcaducifolia, baja espinosa, mediana subcaducifolia)	45	66	77	83
Tular	68	79	86	92
Vegetación halófila	68	79	100	100
Vegetación secundaria	68	79	86	89

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 1.2. Valores del coeficiente de escurrimiento. Fuente: Aparicio 1989.

Tipo del área drenada	Coeficientes de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas comerciales	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	0.80
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

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 1.3. Coeficientes de escurrimiento para ser usados en método racional. Fuente: Ven Te Chow (1993).

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.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
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
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
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
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
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	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.4	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	0.3	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	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

En los tres casos se pueden cometer errores, el método del Número de Curva, tiende a sobreestimar el coeficiente de escurrimiento para tormentas con periodo de retorno alto; el método de Ven Te Chow (1993) establece una relación con el periodo de retorno y no con la magnitud de la tormenta; y los coeficientes de escurrimiento de Aparacio (1989) son iguales independientemente de la magnitud de la tormenta y del periodo de retorno.

Para los tres casos, la caracterización de las cuencas es pobre y no se tiene acceso a los datos utilizados para los estudios.

En relación con la aplicabilidad de los métodos, Aparicio y Chow proponen estimaciones a partir de datos fáciles de obtener; Aparicio en función del tipo de suelo sin tomar en consideración el uso del suelo; Chow en función a la pendiente de la cuenca y del uso del suelo sin tener en cuenta el tipo de suelo ni la geología de la capa superficial ni de las subyacentes; el Número de Curva también es función de estos parámetros, haciendo referencia a la primera capa del tipo de suelo pero no a la geología, este método es más desglosado pero no explica por ejemplo, el porqué de las diferencias entre matorrales, cultivos y vegetación.

Las descripciones anteriores hacen ver la necesidad de estudiar el problema lo más detalladamente posible para reducir los errores a la hora de encontrar los valores de escurrimiento, pretendiendo encontrar relaciones que nos permitan estimar la precipitación efectiva en términos de las características de las cuencas y de la magnitud de la lluvia.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Estimar coeficientes de escurrimiento asociados a diferentes periodos de retorno en diferentes cuencas de la República Mexicana, realizando en cada una de ellas un análisis estadístico para determinar cómo influyen las características fisiográficas de la cuenca.

1.2 Objetivos específicos

- Recabar información tanto climatológica como hidrométrica de cada cuenca.
- Obtener la simultaneidad de lluvias en cada cuenca para obtener un análisis de la precipitación en la misma.
- Extrapolar las precipitaciones asociándolas a diferentes periodos de retorno.
- Con los Factores de Reducción por Área (FRA) obtener, a partir de una lluvia puntual, una lluvia distribuida en toda la cuenca en función de su área.
- Realizar un análisis de la precipitación efectiva contra la precipitación total, para saber, conforme a la ordenada, si el coeficiente de escurrimiento utilizado es adecuado.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 2 *ASPECTOS GENERALES*

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

2. Aspectos generales

2.1. Conceptos básicos

2.1.1. Cuenca Hidrológica

Se define como el área que contribuye al escurrimiento directo y que proporciona parte o todo el flujo de la corriente principal y sus tributarios.

2.1.2. Características de la cuenca

El ciclo hidrológico visto a nivel de la cuenca se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otro, estos están controlados por las características geomorfológicas de la cuenca y su urbanización. Dichas características se clasifican en dos tipos.

1. Las que controlan el volumen de escurrimiento: Constituido por el área de la cuenca y el tipo de suelo.
2. Las que condicionan la velocidad de respuesta: Constituido por la pendiente de la cuenca, el orden de corrientes y los cauces.

A continuación se describen algunas de las características de mayor importancia por sus efectos en la relación precipitación – escurrimiento.

2.1.3. Parteaguas

Se define como la línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de cuencas vecinas.

2.1.4. Área de la cuenca

Superficie en proyección horizontal delimitada por el parteaguas.

2.1.5. Corriente principal

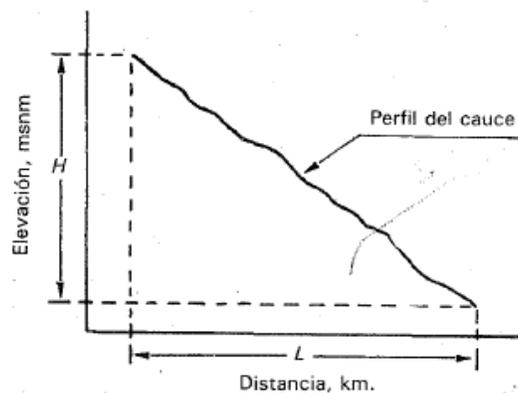
Corriente que pasa por la salida de la cuenca, siempre y cuando esta sea exorreica siendo las demás corrientes sus tributarios.

2.1.6. Orden de corrientes

Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene sólo tributarios de orden 1, etc. Dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc.

2.1.7. Pendiente del cauce principal

Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce, se define una pendiente media la cual es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividida entre su longitud media en planta.



2.1.8. Forma de la cuenca

Este parámetro fisiográfico mide la variación en elevación de una cuenca. La distribución espacial de la altitud en la cuenca es fundamental para caracterizar su condición morfológica, es decir, saber qué porcentaje de la cuenca corresponde a zonas de montaña, lomeríos, planicies, etc.

2.1.9. Esgurrimiento

El esgurrimiento se define como el agua de precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca. Según el curso que sigue el agua después de llegar a la superficie terrestre, el esgurrimiento puede ser: subterráneo, subsuperficial o superficial.

El *esgurrimiento subterráneo* se constituye por la parte del agua de lluvia que se infiltra en el suelo hasta niveles inferiores al freático. El agua que se infiltra pero no llega al nivel freático, esgurre cerca de la superficie del suelo y prácticamente paralela a ella, formando el *esgurrimiento subsuperficial* (Aparicio, 2007).

Después, cuando las capas superiores del suelo se saturan, el agua llena las depresiones del terreno hasta adquirir la profundidad suficiente para sobrepasar la fuerza de retención superficial, momento en el cual empieza a fluir; a este tipo de esgurrimiento se le conoce como *esgurrimiento superficial* (Chow, 2004).

El esgurrimiento superficial se clasifica en dos tipos: el flujo de la superficie del terreno y el esgurrimiento en corrientes. El primero es el agua que fluye en una capa delgada a lo largo de una superficie ancha; sólo puede persistir en distancias cortas, antes de que las irregularidades en la superficie de la cuenca concentren el flujo en canales. Cuando el agua llega a un cauce bien definido forma el esgurrimiento en corrientes, en el que fluye a través de una trayectoria confinada, mucho más angosta que la del flujo en la superficie (Chow, 2004).

2.2. Antecedentes

2.3. Descripción de las zonas de estudio

Las zonas donde se realizarán los estudios, corresponden a diferentes regiones hidrológicas del país, estas son:

Región hidrológica 19

Esta región es de la costa grande de Guerrero, cubre el 19.5% de la superficie del estado, abarcando el suroeste de la entidad. Sus corrientes desaguan directamente en el océano pacífico. Las cuencas de esta región hidrológica y la porción de las mismas son: Río Atoyac y otros (8.06%), Río Coyuquilla y otros (5.80%) y Río Ixtapa y otros (5.64%). En esta región hidrológica las estaciones en estudio serán la 19008 y 19022 descritas más adelante.

Región hidrológica 10

La región hidrológica 10 abarca una superficie aproximada de 102,922 km², por lo que se sitúa en el sexto lugar, atendiendo a la extensión de las demás regiones hidrológicas del país. El 46.17% de su superficie se encuentra en el estado de Sinaloa, siendo las cuencas más importantes: Río Fuerte, Estero Bocorehuis, Bahía Lechuguilla-Ohuira-Navachiste, Río Sinaloa, Río Mocorito, Río Culiacán, Río Tamazula, Río San Lorenzo, entre otros. La estación en análisis para esta región hidrológica será la 10027 descrita más adelante.

Región hidrológica 23

Esta región corresponde a la costa de Chiapas con recursos de agua cortos caracterizados por crecidas anuales que vierten sus aguas al océano pacífico, esta región contiene cuatro cuencas hidrográficas que son: Río Suchiate, Río Huixtla, Río Pijijiapan y Mar Muerto. Los ríos generalmente no desembocan directamente al mar, sino en lagunas costeras o albuferas (laguna costera de escasa profundidad, semicerrada conectada con el océano y protegida por algún tipo de barrera generalmente arenosa). Destaca en importancia el Río Suchiate, por ser limítrofe entre la República de Guatemala y los Estados Unidos Mexicanos. Para esta región hidrológica la estación en estudio será la 23014 descrita más adelante.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 3 *METODOLOGÍA*

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

3. Metodología

La estimación de las pérdidas al escurrimiento, se basa en el análisis estadístico tanto de los gastos medios diarios registrados en las estaciones hidrométricas como de la precipitación registrada en las estaciones climatológicas; por medio de la relación entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen de la lluvia total se obtienen coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno.

3.1. Obtención de la información

En el presente trabajo se recurrieron a los datos del Clima Computarizado (CLICOM) del Instituto de Ingeniería del cual obtenemos registros de precipitación diaria, esta a su vez, se depura en los meses de más lluvia, dependiendo de la zona en la que se encuentren las cuencas a analizar, para poder obtener de esta forma el volumen llovido. (CLICOM, 2014).

Para los gastos, se recurrió al registro que tiene el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), de los cuales se obtiene información de las estaciones hidrométricas en diferentes años de registro, de esta forma, se hace el cálculo del volumen escurrido. (BANDAS, 2017).

3.2. Características fisiográficas de la cuenca

3.2.1. Longitud y pendiente del cauce principal

Para la obtención en cada cuenca tanto de la longitud como de la pendiente se recurrieron a los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2.2. Tiempo de concentración

Se define como el tiempo en que tarda una partícula de agua en recorrer una distancia desde el punto de entrada (más alejado) de la cuenca hasta la salida de la misma.

En el tiempo de concentración (T_c) se utilizó la longitud (L) y la pendiente del cauce principal (S_{cp}), con estos valores y usando la fórmula de Kirpich se determina como:

$$T_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S_{cp}^{0.385}} \dots \text{ (ec. 3.2.2.1)}$$

Donde:

T_c – *Tiempo de concentración*, (min).

L – *Longitud total del cauce principal*, (Km)

S_{cp} – *Pendiente del cauce principal*

3.2.3. Área drenada

Se obtiene la información del BANDAS; también puede obtenerse con herramienta SIG, donde podemos comparar con información que tenga ese registro, verificando si la herramienta es de gran exactitud.

3.2.4. Precipitación media (h_{p_m})

Para la precipitación media se utilizarán las estaciones climatológicas más cercanas a las cuencas, desarrollando radios proporcionales a las mismas, integrando así varias estaciones que influirán en el análisis. Es necesario resaltar que la cantidad de información que tenga cada estación es de gran importancia, así como el trabajo en la simultaneidad de lluvias que estas tengan. Al seleccionar cada estación, se procederá a extraer la información de la precipitación de cada una. Para obtener esta precipitación, se usa un valor promedio de h_p del registro, seleccionando el valor máximo para cada año en análisis.

3.3. Datos de escurrimiento

3.3.1. Simultaneidad de lluvias

Para el cálculo de la precipitación media de una cuenca, es importante considerar que los eventos extremos de lluvia no se presentan de forma homogénea en toda la cuenca; es decir, los valores máximos anuales de lluvia no se presentan de forma simultánea en todas

las estaciones. De este modo, si se calcula la precipitación media considerando el valor máximo puntual de cada estación se va a sobrestimar la lluvia media.

En estos casos, se selecciona un periodo en donde se pueda tener un mayor número de años de registro de las estaciones que estén dentro de radio de influencia de la cuenca, se calcula un promedio aritmético y se selecciona el valor máximo en cada año para realizar un análisis de frecuencia con la mejor función de distribución (menor error) y extrapolando nuestra muestra a diferentes periodos de retorno.

La simultaneidad se refiere a las lluvias registradas, en donde las estaciones que se lleguen a considerar en el estudio registren esas lluvias en un mismo día. Si en estas estaciones se registran lluvias en diferentes días estaremos hablando de un registro no simultáneo.

3.3.2. Volumen de escurrimiento (V_e)

Con los valores de gastos medios diarios extrapolados para distintos periodos de retorno se obtienen los valores del volumen de escurrimiento de la siguiente manera:

$$V_e = Q * t \dots \text{(ec. 3.3.2.1)}$$

Donde:

V_e – Volumen de Escurrimiento (m^3)

Q – Gasto medio diario (m^3/s)

t – Duración en hrs en un día, que es igual a 86400 s

3.3.3. Cálculo del volumen llovido (V_{ll})

El volumen llovido se considera al volumen en toda la cuenca en el que se presentó la precipitación total, es igual a la precipitación total por el área de la cuenca, se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_{ll} = P_s * A \dots \text{(ec. 3.3.3.1)}$$

Donde:

V_{ll} – Volumen Llovido (m^3)

P_s – Precipitación total simultánea (mm)

A – Área de cada cuenca en unidades consistentes (km^2)

3.3.4. Coeficiente de escurrimiento (C_e)

El cálculo del coeficiente de escurrimiento tiene una variedad de formas de estimación. Se consideran dos; una es cuando no se tienen datos ni de precipitación ni de gastos, se estima conforme a las características o tipo de zonas con las que cuenta la cuenca, a partir de tablas. Cuando se cuentan con datos, se recurre a diferentes ecuaciones que implican parámetros que se pueden calcular basándose en dichos datos.

3.3.4.1 Formas tradicionales de estimación del coeficiente de escurrimiento

Cuando no se cuenta con datos, Aparicio (2007), propone los coeficientes de escurrimiento (C_e) de la tabla 3.3.4.1.1 que dependen del uso de suelo y la pendiente. Estos valores son comúnmente utilizados en la fórmula racional para calcular gastos de diseño.

Tabla 3.3.4.1.1. Valores del coeficiente de escurrimiento. Fuente: Aparicio 2007.

Tipo del área (drenada)	Coeficientes de escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas comerciales	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	0.80
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

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

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

Cuando se tienen datos medidos, una forma de estimar los coeficientes de escurrimiento es el criterio del United States Soil Conservation Service (USSCS).

Según este criterio, la relación entre el coeficiente de escurrimiento y la altura de precipitación total de una tormenta se describe de la siguiente forma:

$$C_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P^2 + 0.8P} \quad \dots \quad (ec. 3.3.4.1.1)$$

Donde:

P – Es la altura total de precipitación de la tormenta

S – Es un parámetro por determinar, con las mismas unidades de P

El parámetro S se puede estimar si se conocen varias parejas de valores (P , C_e); el valor de S puede tomarse como el que hace que la varianza del error cometido al calcular C_e con la ecuación 3.3.4.1.1, con respecto al coeficiente de escurrimiento real, sea mínima.

Este método tiene un inconveniente ya que requiere que la cuenca esté aforada, es decir, que se hayan medido gastos de salida al mismo tiempo que las precipitaciones. Dado que la mayor parte de las cuencas del país no están aforadas, con frecuencia no se cuenta con estos datos, por lo tanto es necesario tener otros métodos con los que se pueda estimar la altura de lluvia efectiva a partir de la total y las características de la cuenca.

3.3.4.2 Método propuesto para estimar el coeficiente de escurrimiento

Chow (1994) definió el coeficiente de escurrimiento como la relación entre el escurrimiento directo y la intensidad promedio de la precipitación en una tormenta. Sin embargo, a causa de la variabilidad de la intensidad de precipitación, este valor es difícil de determinar utilizando la información observada, por lo que también puede definirse como la relación entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen de precipitación en la cuenca, en un periodo de tiempo dado.

La ecuación se estructura de la siguiente forma:

$$Ce = \frac{V_e}{V_{ll}} \quad \dots \quad (ec. 3.3.4.2.1)$$

Donde:

Ce – Coeficiente de Escurrimiento

V_e – Volumen de Escurrimiento Directo (*m*³)

V_{ll} – Volumen Llovido en la Cuenca (*m*³)

En nuestro caso se utilizará esta fórmula para los análisis consecuentes, ya que resulta más preciso y confiable debido a que utilizamos valores ya medidos, resultando así valores más apegados a la realidad.

3.3.5. Estimación de la precipitación en exceso (*P_e*)

La precipitación en exceso se calcula por medio del producto entre el coeficiente de escurrimiento *Ce* y la precipitación total simultánea *Ps*.

$$P_e = Ce * P_s \quad \dots \quad (ec. 3.3.5.1)$$

3.3.6. Estimación de la precipitación efectiva

Para relacionar la precipitación efectiva con la precipitación total (P) se realiza un ajuste lineal a las parejas de datos obtenidas para diferentes periodos de retorno y del coeficiente de escurrimiento calculado (C_e), obteniendo la ecuación de la forma:

$$P_{efectiva} = P * C_e \quad \dots \quad (ec.3.3.6.1)$$

3.3.7. Coeficiente de Determinación

Se define como el grado de confiabilidad que se le puede dar a un análisis estadístico midiendo la proporción de la varianza original de y que se explica al condicionarla al valor de x .



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 4 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

4. Funciones de distribución de probabilidad

Existen numerosas funciones de densidad de probabilidad, para este trabajo se desarrollan algunas de ellas, estas fueron seleccionadas por ser de uso frecuente en problemas hidrológicos, las cuales se definen a continuación.

4.1. Función de distribución Gumbel

Esta función de distribución se utiliza para determinar la probabilidad de que se presenten grandes avenidas, debido a que se ajusta a los valores máximos.

Se dice que una variable aleatoria tiene una función de distribución Gumbel si:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \dots (ec. 4.1.1)$$

La función de densidad Gumbel está dado por:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]} \quad \dots (ec. 4.1.2)$$

Donde:

α y β – *parámetros de forma y escala, respectivamente*

x – *variable aleatoria*

Los parámetros α y β se estiman por el método de momentos, de los cuales se muestran en las ec. (4.1.3 y 4.1.4), respectivamente.

$$\alpha = \frac{1.2825}{s} \quad \dots (ec. 4.1.3)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.45s \quad \dots (ec. 4.1.4)$$

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Donde:

s es la desviación estándar que se calcula con la siguiente ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \dots (ec. 4.1.5)$$

\bar{x} representa la media de la muestra, la cual se calculará con la siguiente ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \dots (ec. 4.1.6)$$

Para una variable reducida se define como:

$$y = -\alpha(x - \beta) \quad \dots (ec. 4.1.7)$$

Si sustituimos la variable reducida en la función de distribución de probabilidad se tiene que:

$$F(x) = e^{-e^y} \quad \dots (ec. 4.1.8)$$

Despejando “y” de la ecuación anterior, aplicando logaritmo natural en dos ocasiones se obtiene. Esta variable la denominaremos Z en la escala Gumbel.

$$y = -\text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{F(x)} \right) \right] \quad \dots (ec. 4.1.9)$$

Los parámetros estadísticos de esta función están dados por:

Media:

$$\mu = \beta + \frac{0.5772157}{\alpha} \quad \dots (ec. 4.1.10)$$

Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} \quad \dots (ec. 4.1.11)$$

4.2. Función de distribución doble Gumbel

La función de distribución Doble Gumbel se utiliza cuando los gastos máximos anuales de una cuenca pueden ser provocados por causas diferentes de un año a otro. Entre estos fenómenos hidrológicos, están las avenidas ocasionadas por deshielos, ciclones o lluvias de invierno.

La ecuación de la función es de la forma:

$$F(x) = p \left(e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right) + (1-p) \left(e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right) \quad \dots (ec. 4.2.1)$$

Donde podemos definir lo siguiente:

$$y_1 = \alpha_1(x - \beta_1)$$

$$y_2 = \alpha_2(x - \beta_2)$$

Por lo tanto su función de densidad es:

$$f(x) = p\alpha_1(e^{-e^{-y_1}})^{e^{-y_1}} + \left((1-p)\alpha_2 e^{-e^{-y_2}} \right)^{e^{-y_2}} \quad \dots (ec. 4.2.2)$$

Al graficar la distribución quedando en el eje de las abscisas los valores de "y" se escribe de la siguiente forma:

$$y = -Ln Ln \left[\frac{F(x)}{F(x) - 1} \right] \quad \dots (ec. 4.2.3)$$

Se utilizarán en los análisis estas dos funciones (Gumbel y Doble Gumbel) debido a que tienen un mejor ajuste a las muestras que se tienen, desarrollando posteriormente extrapolaciones para asociar las precipitaciones simultáneas (P_s) a cada periodo de retorno.

4.3. Métodos de ajuste

Ajustar una función de distribución a un grupo de datos significa encontrar la función que, por los datos de la muestra, representa mejor la población de valores posibles de la variable en estudio.

Para el proceso de ajuste se tiene dos fases: la identificación del tipo de función de distribución adecuada y el cálculo de los parámetros del tipo de función seleccionada.

Para identificar el tipo de función que más se ajusta a nuestra muestra es recomendable construir primero el histograma de frecuencias para ver la magnitud de las posibles asimetrías y la forma general del histograma y compararlos con la de las diferentes funciones. También es útil, en este proceso, apelar a la experiencia adquirida en estudios anteriores sobre cuál es la función que mejor se ajusta a determinado tipo de variable.

Para estimar el valor de los parámetros que “mejor” se ajustan a los datos de la muestra, existen algunos criterios que difieren en cuanto a lo que se considera como “mejor” en cada uno; los más comunes son: el criterio de ajuste “por momentos”; el de ajuste por “máxima verosimilitud”; el criterio denominado “de momentos L” y el de ajuste “por mínimos cuadrados”. El primero es fácil de aplicar con calculadora y los dos últimos requieren de un proceso más complejo para el que generalmente se requiere un programa de computadora. El programa AX.EXE (Jiménez, 1996) ofrece una solución rápida de ajuste por los criterios de “momentos” y de “máxima verosimilitud”.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 5 *APLICACIÓN Y ANÁLISIS*

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

5. Aplicación y análisis

Con los datos de precipitación y gastos se realizaron diversos análisis para obtener coeficientes de escurrimiento de acuerdo a sus características en diferentes cuencas de las diferentes regiones hidrológicas. Por ejemplo, en el estudio del año 2013 se contaba con datos de precipitación y de gastos a los que, se les realizó el análisis de comparación de la precipitación efectiva en función de las precipitaciones totales lo que dio resultados muy distorsionados (pendientes con valores mayores a 1).

En este trabajo se efectuaron tanto las actualizaciones como el mejoramiento de los resultados de estudios previos, eligiendo estaciones donde se observó un registro con cantidad y calidad adecuada de información, realizando una depuración para cada estación climatológica y, dependiendo de la región hidrológica a la que pertenezca, se seleccionan los meses de mayor lluvia.

A la vez, también se generan los gastos a partir de los registros que se tienen de las mismas, principalmente de la base de datos del BANDAS perteneciente a la CONAGUA, estos gastos se extrapolarán a distintos periodos de retorno y se les aplicará un factor regional para dimensionar cada gasto y obtener un volumen de escurrimiento que es una parte esencial en el análisis de los coeficientes de escurrimiento.

Las estaciones hidrométricas a las que se realizaron análisis para un mejoramiento con resultados coherentes son las siguientes:

Tabla 5.1. Estaciones a mejorar el modelo regresivo

Clave	Nombre	RH Perteneciente
19008	KM. 21+000	19
19022	LA SALITRERA	19
10027	EL BLEDAL	10
23014	SAN DIEGO	23

En estudios previos de las estaciones 19008, 19022, 10027 y 23014 se encontraron valores ilógicos de las precipitaciones efectivas en función a las precipitaciones totales. Estos resultados se presentan a continuación:

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 19008

Tabla 5.2. Resultados previos en la estación 19008.

Área [km ²] 296						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	103.1	8.9	65.6	19.4	0.46	30.1
5	231.7	20.0	93.7	27.7	0.72	67.6
10	363.7	31.4	127.4	37.7	0.83	106.2
20	479.3	41.4	158.4	46.9	0.88	139.9
50	615.7	53.2	193.2	57.2	0.93	179.7
100	713.7	61.7	217.7	64.4	0.96	208.3
200	810.1	70.0	241.6	71.5	0.98	236.5
500	935.8	80.8	272.8	80.7	1.00	273.1
1000	1030.7	89.1	296.3	87.7	1.02	300.9
2000	1125.7	97.3	319.5	94.6	1.03	328.6
5000	1252.9	108.2	349.9	103.6	1.05	365.7
10000	1346.4	116.3	373.1	110.4	1.05	393.0

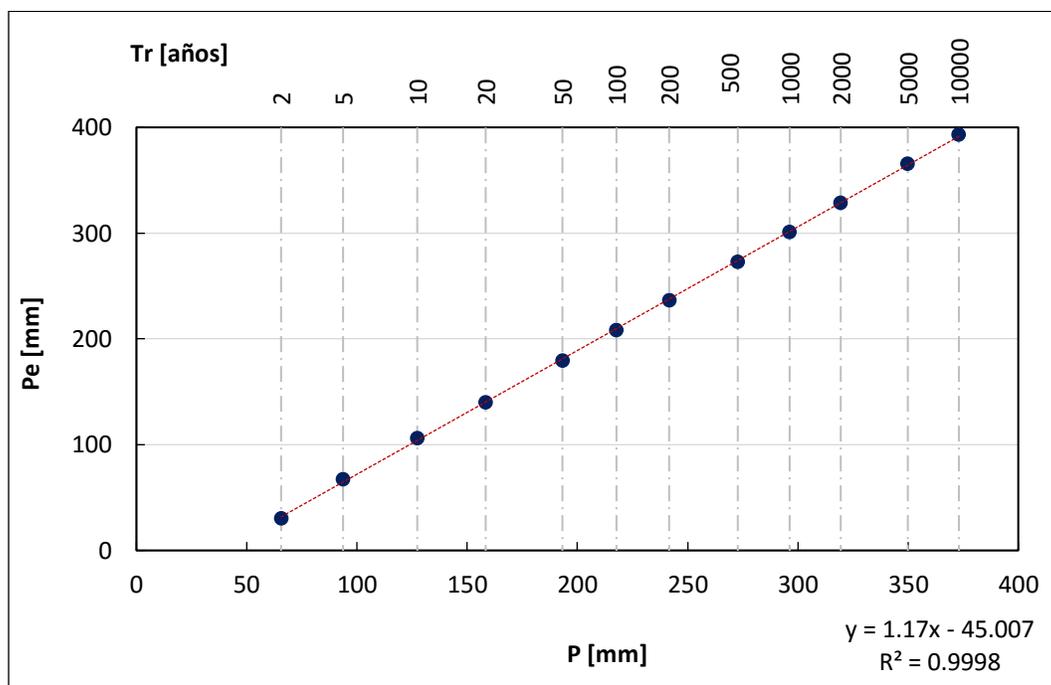


Figura 5.1. Comparación de la precipitación efectiva en función de la precipitación total en la estación 19008.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 19022

Tabla 5.3. Resultados previos en la estación 19022.

Área [km ²]		824.3				
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	164.5	14.2	41.5	34.2	0.42	17.2
5	516.9	44.7	64.4	53.1	0.84	54.2
10	845.2	73.0	84.4	69.6	1.05	88.6
20	1072.9	92.7	102.0	84.1	1.10	112.5
50	1340.3	115.8	123.0	101.3	1.14	140.5
100	1533.5	132.5	138.0	113.8	1.17	160.7
200	1723.6	148.9	152.8	126.0	1.18	180.7
500	1972.8	170.4	172.2	142.0	1.20	206.8
1000	2160.8	186.7	186.7	153.9	1.21	226.5
2000	2348.9	202.9	201.4	166.0	1.22	246.2
5000	2591.9	223.9	220.7	181.9	1.23	271.7
10000	2777.1	239.9	235.6	194.2	1.24	291.1

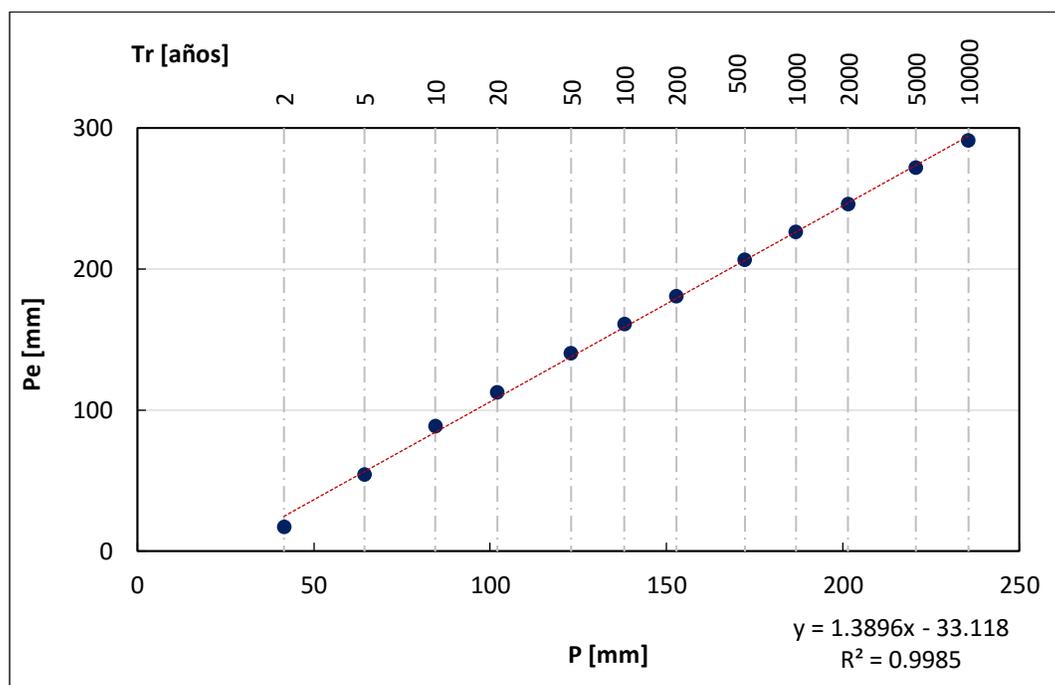


Figura 5.2. Comparación de la precipitación efectiva en función de la precipitación total en la estación 19022.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 10027

Tabla 5.4. Resultados previos en la estación 10027.

Área [km ²] 369.34						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	55.6	4.8	52.3	19.3	0.25	13.0
5	116.9	10.1	80.0	29.5	0.34	27.4
10	205.7	17.8	97.1	35.9	0.50	48.1
20	286.1	24.7	110.9	41.0	0.60	66.9
50	379.0	32.7	127.5	47.1	0.70	88.7
100	446.2	38.5	139.5	51.5	0.75	104.4
200	511.7	44.2	151.4	55.9	0.79	119.7
500	597.9	51.7	167.0	61.7	0.84	139.9
1000	662.6	57.3	178.7	66.0	0.87	155.0
2000	727.3	62.8	190.5	70.4	0.89	170.1
5000	814.4	70.4	206.3	76.2	0.92	190.5
10000	874.1	75.5	217.3	80.3	0.94	204.5

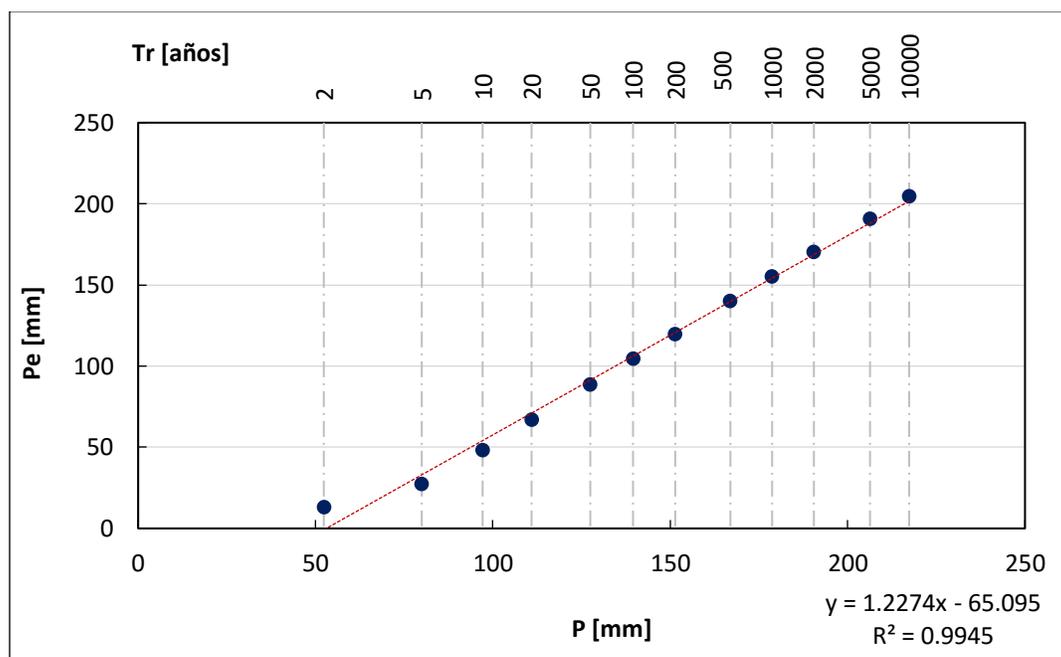


Figura 5.3. Comparación de la precipitación efectiva en función de la precipitación total en la estación 10027.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 23014

Tabla 5.5. Resultados previos en la estación 23014.

Área [km ²] 80.4						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
p2	63.1	5.4	112.5	9.0	0.60	67.8
5	104.6	9.0	164.6	13.2	0.68	112.4
10	134.3	11.6	194.9	15.7	0.74	144.3
20	158.8	13.7	216.7	17.4	0.79	170.7
50	189.2	16.3	242.3	19.5	0.84	203.4
100	210.8	18.2	260.8	21.0	0.87	226.5
200	232.3	20.1	278.9	22.4	0.90	249.6
500	260.5	22.5	302.7	24.3	0.93	279.9
1000	282.0	24.4	320.8	25.8	0.95	303.0
2000	303.5	26.2	338.8	27.2	0.96	326.2
5000	331.0	28.6	362.4	29.1	0.98	355.7
10000	351.8	30.4	380.4	30.6	0.99	378.0

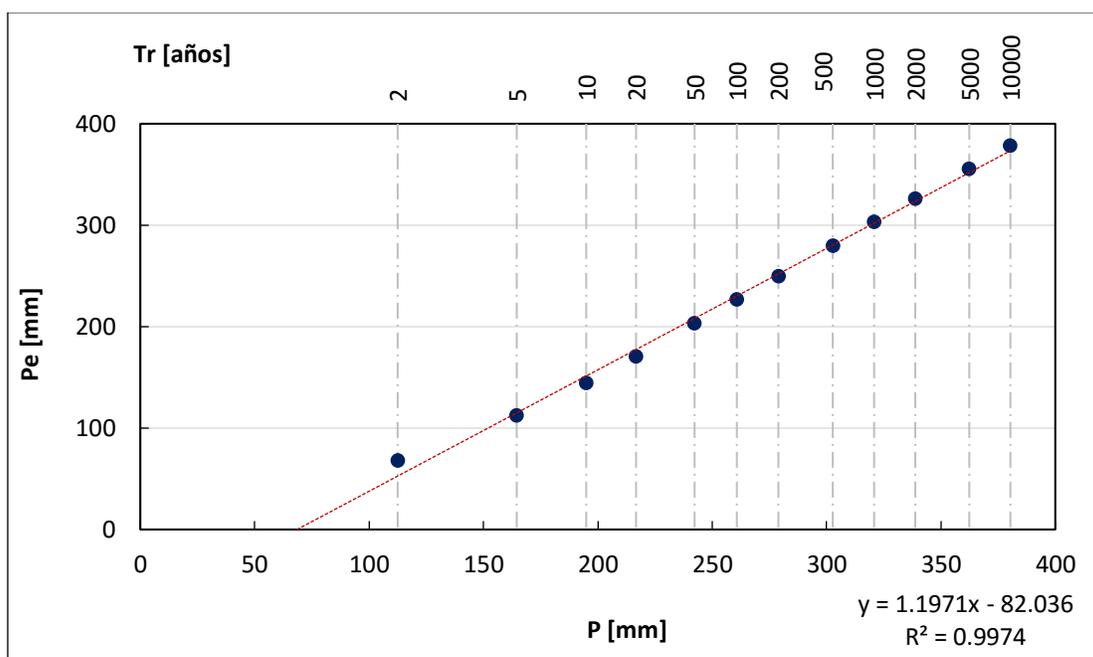


Figura 5.4. Comparación de la precipitación efectiva en función de la precipitación total en la estación 23014.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Al observar los registros que se tienen de estas estaciones, se notan algunas incongruencias en las pendientes ya que todas rebasan el valor de 1. En este estudio se buscó mejorar estos valores contemplando diferentes factores los cuales son explicados más adelante.

Al término de cada análisis se obtuvo una gráfica de precipitación total contra precipitación efectiva, con la cual, se determinaron las pendientes y ordenadas junto a los coeficientes de escurrimiento y se compararon, los resultados previos.

Así para cada estación, se obtuvieron los gastos medios máximos en un día, se extrapolaron a diferentes periodos de retorno, y se obtuvieron los volúmenes de escurrimiento; por otro lado, se obtuvo la precipitación media (simultánea) para distintos periodos de retorno, obteniendo los volúmenes de lluvia y el coeficiente de escurrimiento; finalmente se comparó la precipitación efectiva en función de la precipitación total (recta) y observaremos los nuevos coeficientes de escurrimiento.

Las estaciones 19008 (KM.21+000) y 19022 (LA SALITRERA) correspondientes a la RH19, las estaciones 10027 (EL BLEDAL) perteneciente a la RH10 y 23014 (SAN DIEGO) perteneciente a la RH23, son las estaciones que se seleccionaron para mejorar los coeficientes de escurrimiento, los resultados previos que se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Estaciones analizadas y resultados previos.

CLAVE	NOMBRE	PENDIENTE	ORDENADA	COEF. DETER
19008	KM. 21+000	1.1700	-45.0070	0.9998
19022	LA SALITRERA	1.3896	-33.1180	0.9985
10027	EL BLEDAL	1.2274	-65.095	0.9945
23014	SAN DIEGO	1.1971	-82.036	0.9974

En los valores mostrados en la tabla 5.6, las pendientes son mayores a uno, una pendiente igual a uno significa que toda la precipitación escurre, lo cual es ilógico.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

5.1 Obtención de gastos para cada estación hidrométrica

Para comparar las precipitaciones efectivas contra las totales necesitamos obtener los gastos medios máximos en un día, estos gastos son los siguientes acomodados de mayor a menor asociado a diferentes periodos de retorno:

Estación 19008

Tabla 5.1.1. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno estación 19008.

Tr	Z	Q_{medido}
[años]	-Ln(Ln(Tr/(Tr-1)))	[m³/s]
38.00	3.62	578.45
19.00	2.92	476.68
12.67	2.50	399.12
9.50	2.20	334.83
7.60	1.96	298.69
6.33	1.76	254.81
5.43	1.59	238.32
4.75	1.44	216.07
4.22	1.31	215.32
3.80	1.19	210.08
3.45	1.07	175.34
3.17	0.97	163.22
2.92	0.87	156.28
2.71	0.78	152.69
2.53	0.69	141.34
2.38	0.61	139.55
2.24	0.53	135.88
2.11	0.44	125.19
2.00	0.37	86.50
1.90	0.29	76.24
1.81	0.22	75.75
1.73	0.15	65.51
1.65	0.07	65.37
1.58	0.00	64.92
1.52	-0.07	63.01
1.46	-0.14	60.72
1.41	-0.21	58.21
1.36	-0.28	45.90
1.31	-0.37	45.83
1.27	-0.44	44.97

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1.23	-0.52	37.42
1.19	-0.61	32.12
1.15	-0.71	25.36
1.12	-0.80	24.88
1.09	-0.91	17.82
1.06	-1.05	14.11

Estación 19022

Para esta estación se consideraron dos casos: con los datos completos y eliminando algunos, la eliminación de datos es debido a que cuando usamos los datos completos hay variaciones muy drásticas en los registros de gastos de cada año, lo cual puede afectar el análisis puesto a que podrían contener errores de medición, se analizarán los resultados de cada uno de los dos casos.

Registro completo de gastos asociados a un periodo de retorno

Tabla 5.1.2. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno con registro completo en estación 19022.

Tr	Z	Q_{medido}
[años]	-Ln(Ln(Tr/(Tr-1)))	[m³/s]
21.00	3.02	1055.81
10.50	2.30	928.20
7.00	1.87	696.03
5.25	1.55	539.05
4.20	1.30	374.31
3.50	1.09	333.05
3.00	0.90	326.49
2.63	0.74	256.77
2.33	0.58	156.34
2.10	0.44	125.68
1.91	0.30	112.87
1.75	0.17	109.63
1.62	0.04	104.75
1.50	-0.09	94.09
1.40	-0.23	92.22
1.31	-0.37	88.62
1.24	-0.50	81.20
1.17	-0.66	75.25
1.11	-0.84	62.26
1.05	-1.11	46.52

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Registro con reducción de datos

Tabla 5.1.3. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno con reducción de datos estación 19022.

Tr	Z	Q _{medido}
[años]	$-\ln(\ln(\text{Tr}/(\text{Tr}-1)))$	[m ³ /s]
16.00	2.74	374.31
8.00	2.01	333.05
5.33	1.57	326.49
4.00	1.25	256.77
3.20	0.98	156.34
2.67	0.76	125.68
2.29	0.56	112.87
2.00	0.37	109.63
1.78	0.19	104.75
1.60	0.02	94.09
1.45	-0.16	92.22
1.33	-0.33	88.62
1.23	-0.52	81.20
1.14	-0.74	75.25
1.07	-1.00	62.26

Estación 10027

Tabla 5.1.4. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno estación 10027.

Tr	Z	Q _{medido}
[años]	$-\ln(\ln(\text{Tr}/(\text{Tr}-1)))$	[m ³ /s]
60.00	4.09	363.66
30.00	3.38	277.80
20.00	2.97	271.35
15.00	2.67	255.69
12.00	2.44	248.97
10.00	2.25	231.78
8.57	2.09	178.36
7.50	1.94	161.24
6.67	1.82	151.24
6.00	1.70	139.54
5.45	1.60	135.73
5.00	1.50	133.61
4.62	1.41	128.79
4.29	1.33	114.54

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

4.00	1.25	106.15
3.75	1.17	93.60
3.53	1.10	92.34
3.33	1.03	91.02
3.16	0.97	89.48
3.00	0.90	82.20
2.86	0.84	81.36
2.73	0.78	79.71
2.61	0.73	79.64
2.50	0.67	66.96
2.40	0.62	66.32
2.31	0.57	65.01
2.22	0.51	64.96
2.14	0.46	62.25
2.07	0.42	60.59
2.00	0.37	59.12
1.94	0.32	54.88
1.88	0.28	47.95
1.82	0.23	47.63
1.76	0.17	46.36
1.71	0.13	43.48
1.67	0.09	42.85
1.62	0.04	42.42
1.58	0.00	40.77
1.54	-0.05	39.25
1.50	-0.09	37.77
1.46	-0.14	37.38
1.43	-0.18	37.08
1.40	-0.23	33.06
1.36	-0.28	32.92
1.33	-0.33	29.98
1.30	-0.38	26.20
1.28	-0.42	25.65
1.25	-0.48	24.82
1.22	-0.54	23.81
1.20	-0.58	21.94
1.18	-0.63	21.52
1.15	-0.71	19.92
1.13	-0.77	15.87
1.11	-0.84	15.73

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1.09	-0.91	14.81
1.07	-1.00	13.09
1.05	-1.11	10.60
1.03	-1.26	8.45

Estación 23014

Para esta estación también se consideraron dos casos, el primero es elegir los años que tengan tanto registro de lluvia como de gastos, excluyendo los años que difieran con esta condición, la segunda es contemplar todos los registros de gastos y aplicar un factor regional, las dos condiciones se muestran en las tablas 5.1.5 y 5.1.6 respectivamente.

Tabla 5.1.5. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno contemplando sólo los años que cuenten con registros tanto de lluvia como de gastos.

Tr	Z	Q_{medido}
[años]	$-\ln(\ln(\text{Tr}/(\text{Tr}-1)))$	[m³/s]
30.00	3.38	191.00
15.00	2.67	151.74
10.00	2.25	146.40
7.50	1.94	121.20
6.00	1.70	116.53
5.00	1.50	115.10
4.29	1.33	113.43
3.75	1.17	104.79
3.33	1.03	95.98
3.00	0.90	85.13
2.73	0.78	77.70
2.50	0.67	76.69
2.31	0.57	74.30
2.14	0.46	72.41
2.00	0.37	68.23
1.88	0.28	63.82
1.76	0.17	63.64
1.67	0.09	62.65
1.58	0.00	61.44
1.50	-0.09	57.10
1.43	-0.18	55.49
1.36	-0.28	44.24
1.30	-0.38	41.98

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO**

1.25	-0.48	37.75
1.20	-0.58	36.53
1.15	-0.71	35.95
1.11	-0.84	28.11
1.07	-1.00	25.11
1.03	-1.26	17.34

Tabla 5.1.6. Registro de gastos asociados a un periodo de retorno contemplando todos los registros para la estación 23014.

Tr	Z	Q_{medido}
[años]	-Ln(Ln(Tr/(Tr-1)))	[m ³ /s]
34.00	3.51	191.00
17.00	2.80	151.74
11.33	2.38	146.40
8.50	2.08	121.20
6.80	1.84	116.53
5.67	1.64	115.10
4.86	1.47	113.43
4.25	1.32	104.79
3.78	1.18	95.98
3.40	1.05	91.38
3.09	0.94	85.13
2.83	0.83	77.70
2.62	0.73	76.69
2.43	0.63	74.30
2.27	0.54	72.41
2.13	0.46	68.23
2.00	0.37	63.82
1.89	0.28	63.64
1.79	0.20	62.65
1.70	0.12	61.44
1.62	0.04	60.47
1.55	-0.04	57.10
1.48	-0.12	55.49
1.42	-0.20	44.24

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1.36	-0.28	41.98
1.31	-0.37	37.75
1.26	-0.46	36.53
1.21	-0.56	35.95
1.17	-0.66	28.11
1.13	-0.77	27.84
1.10	-0.87	27.45
1.06	-1.05	25.11
1.03	-1.26	17.34

5.1.1. Extrapolación de gastos mediante factores regionales por grupo

A los gastos medios máximos diarios en cada estación hidrométrica, se le realizará una técnica de estimación regional para obtener una extrapolación a diferentes periodos de retorno. Es necesario tener la media de cada una de las estaciones para multiplicarla por cada uno de los factores asociados a cada periodo de retorno, obteniendo así los valores extrapolados de gastos. Estos factores se obtuvieron de estudios previos para la región hidrológica 23. (Estudio CENAPRED, Estimación de Factores de Reducción por Área, RH 19).

En la estación 23014 los factores regionales utilizados son los que se muestran a continuación:

Tabla 5.1.1.1. Agrupación de factores regionales en estación 23014.

No.	REG.	REG.	REG.
	MET. 1	MET. 2	MET. 3
1	0.8	0.85	0.81
2	1.33	1.41	1.31
3	1.88	1.81	1.93
4	2.6	2.14	2.51
5	3.46	2.55	3.08
6	4.06	2.84	3.48
7	4.63	3.13	3.86
8	5.38	3.51	4.35
9	5.94	3.8	4.72
10	6.5	4.09	5.09
11	7.25	4.46	5.58
12	7.83	4.74	5.97

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Dado que la media de los gastos medios diarios para esta estación es de 74.210, los gastos extrapolados aplicando los factores para cada región son los siguientes:

Tabla 5.1.1.1. Aplicación de los factores regionales a los gastos extrapolados estación 23014.

Tr	Z	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)	Q (m3/s)
Años		(AX, DG)	(REG. 1)	(REG. 2)	(REG. 3)
2	0.37	66.88	59.37	63.08	60.11
5	1.50	118.17	98.70	104.64	97.21
10	2.25	143.86	139.51	134.32	143.22
20	2.97	163.09	192.95	158.81	186.27
50	3.90	185.89	256.77	189.23	228.57
100	4.60	202.41	301.29	210.76	258.25
200	5.30	218.65	343.59	232.28	286.45
500	6.21	239.95	399.25	260.48	322.81
1000	6.91	255.91	440.81	282.00	350.27
2000	7.60	272.18	482.36	303.52	377.73
5000	8.52	293.20	538.02	330.98	414.09
10000	9.21	309.72	581.06	351.75	443.03

Se elegirá la región 2 debido a que en los análisis anteriores las estaciones que tienen el coeficiente de variación similar se agruparon y este grupo responde mejor a las características de la cuenca.

El volumen de escurrimiento (tabla 5.1.1.1) se obtiene multiplicando el gasto obtenido por el tiempo en segundos que dura 1 día (86400 segundos), para dejarlo en unidades de metros cúbicos [m³].

Los ajustes en cada estación se muestran en las siguientes figuras y tablas en donde los gastos de las diferentes tablas se han afectado por sus diversos factores.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la estación 19008, al correr el programa AX, se obtiene la figura 5.1.1.1 y los gastos extrapolados a distintos periodos de retorno que se muestran en la tabla 5.1.1.3.

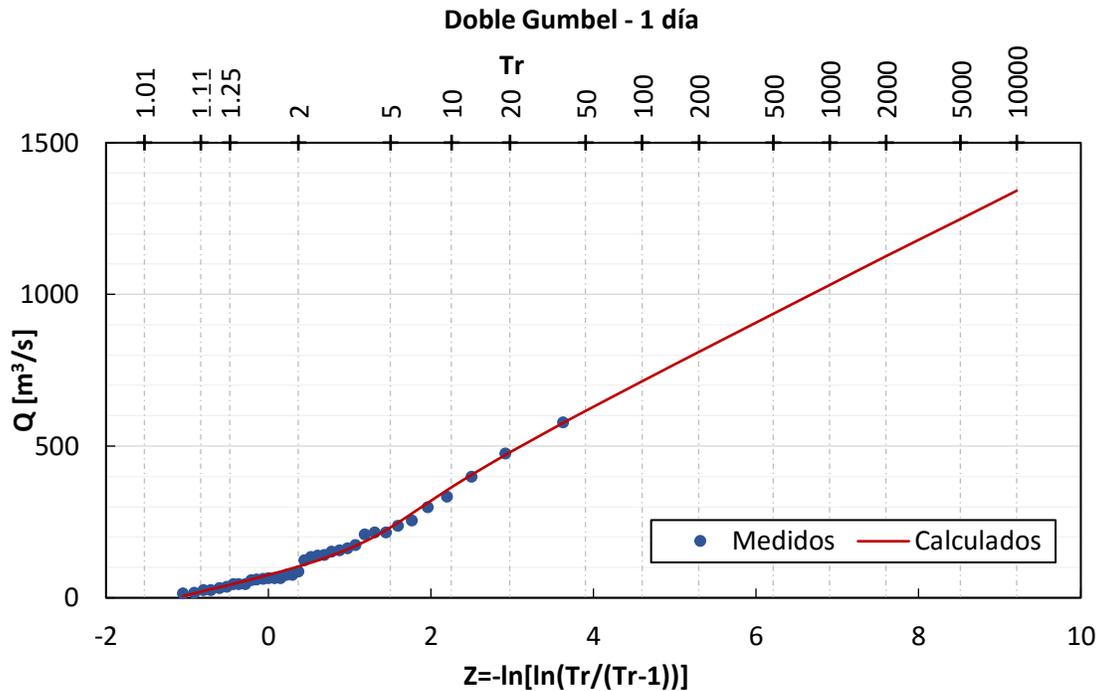


Figura 5.1.1.1. Ajuste para la función Doble Gumbel estación 19008.

Tabla 5.1.1.3. Extrapolaciones a diferentes periodos de retorno estación 19008.

Tr [años]	Q [m3/s]
2	103.1
5	231.7
10	363.7
20	479.3
50	615.7
100	713.7
200	810.1
500	935.9
1000	1030.9
2000	1125.9
5000	1248.2
10000	1341.8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la estación 19022 al utilizar los datos completos se obtiene la función de distribución que se muestra en la figura 5.1.1.2, a partir de la cual se estiman los gastos medios que se muestran en la tabla 5.1.1.4.

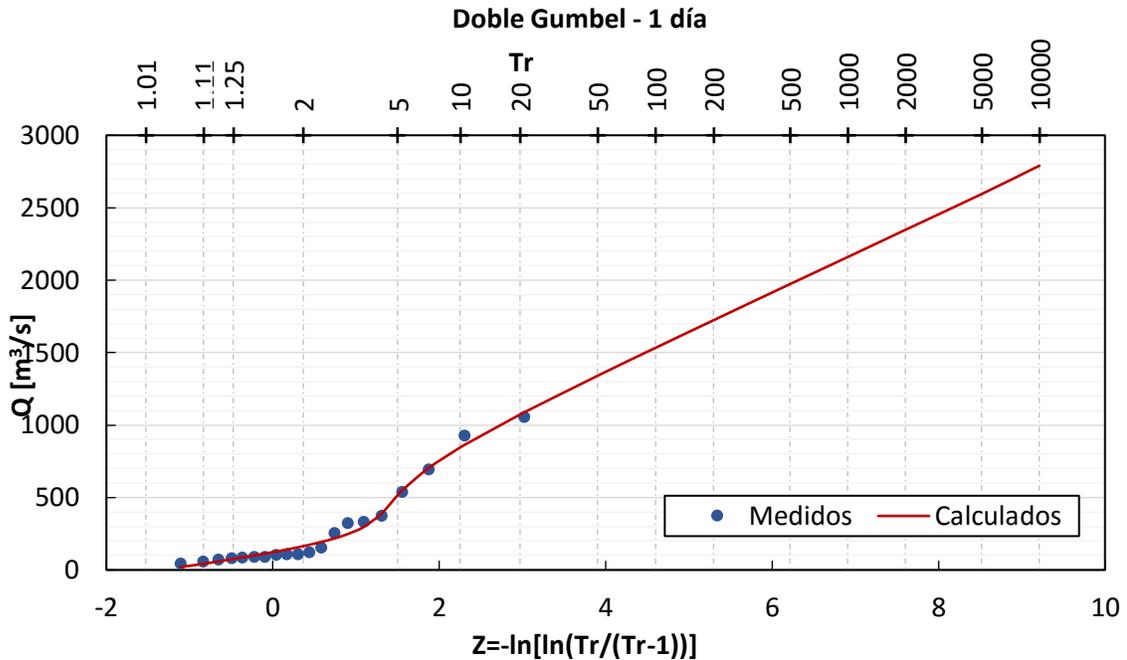


Figura 5.1.1.2. Ajuste para la función Doble Gumbel estación 19022.

Tabla 5.1.1.4. Datos extrapolados a diferentes periodos de retorno estación 19022.

Tr [años]	Q [m3/s]
2	164.5
5	516.9
10	845.2
20	1072.9
50	1340.2
100	1533.4
200	1723.6
500	1972.6
1000	2159.3
2000	2347.2
5000	2594.3
10000	2789.9

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Al excluir algunos datos de esta estación debido a que algunos dan una variación con respecto a las otras muestras de diferentes años, causando ciertas alteraciones a los resultados, se obtienen los resultados que se muestran en la figura 5.1.1.3 y los gastos medios extrapolados en la tabla 5.1.1.5.

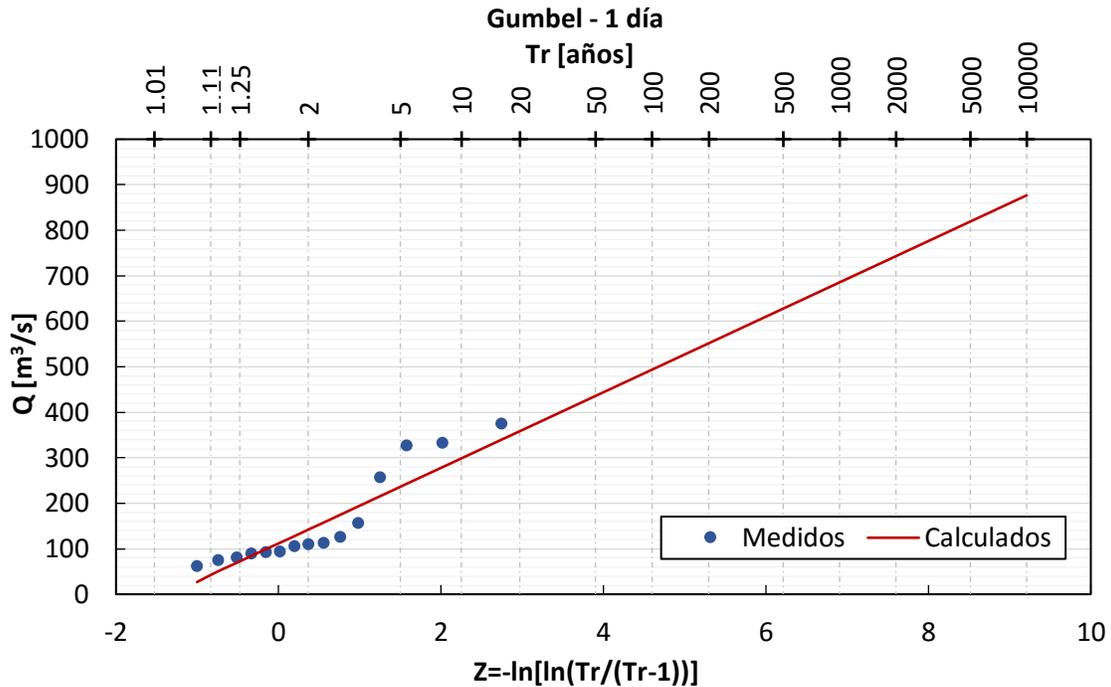


Figura 5.1.1.3. Ajuste Gumbel para la estación 19022.

Tabla 5.1.1.5. Extrapolaciones a diferentes periodos de retorno para la estación 19022.

Tr	Q_{calculado}
[años]	[m³/s]
2	142.1
5	236.2
10	298.6
20	358.4
50	435.8
100	493.8
200	551.6
500	627.8
1000	685.5
2000	743.1
5000	819.2
10000	876.8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

En la estación 10027 se obtiene la función de ajuste que se muestra en la figura 5.1.1.4 y los gastos extrapolados en la tabla 5.1.1.6.

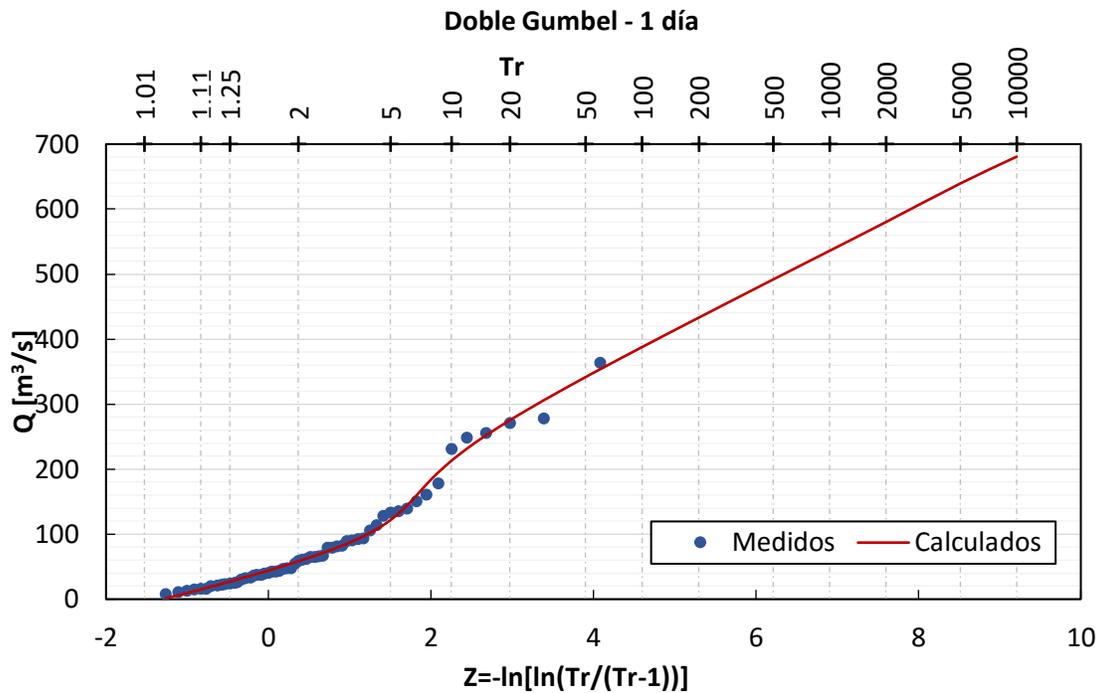


Figura 5.1.1.4. Ajuste Doble Gumbel para la estación 10027.

Tabla 5.1.1.6. Extrapolaciones a diferentes periodos de retorno para la estación 10027.

Tr [Años]	Q (m ³ /s)
2	58.3
5	121.5
10	212.7
20	275.2
50	341.5
100	387.9
200	432.9
500	491.8
1000	535.9
2000	580.1
5000	639.5
10000	680.7

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la estación 23014 se obtiene la función de ajuste que se muestra en la figura 5.1.1.5 y los gastos extrapolados en la tabla 5.1.1.7 en la que se contemplaron los años de registro que tienen tanto información de lluvia como de gastos.

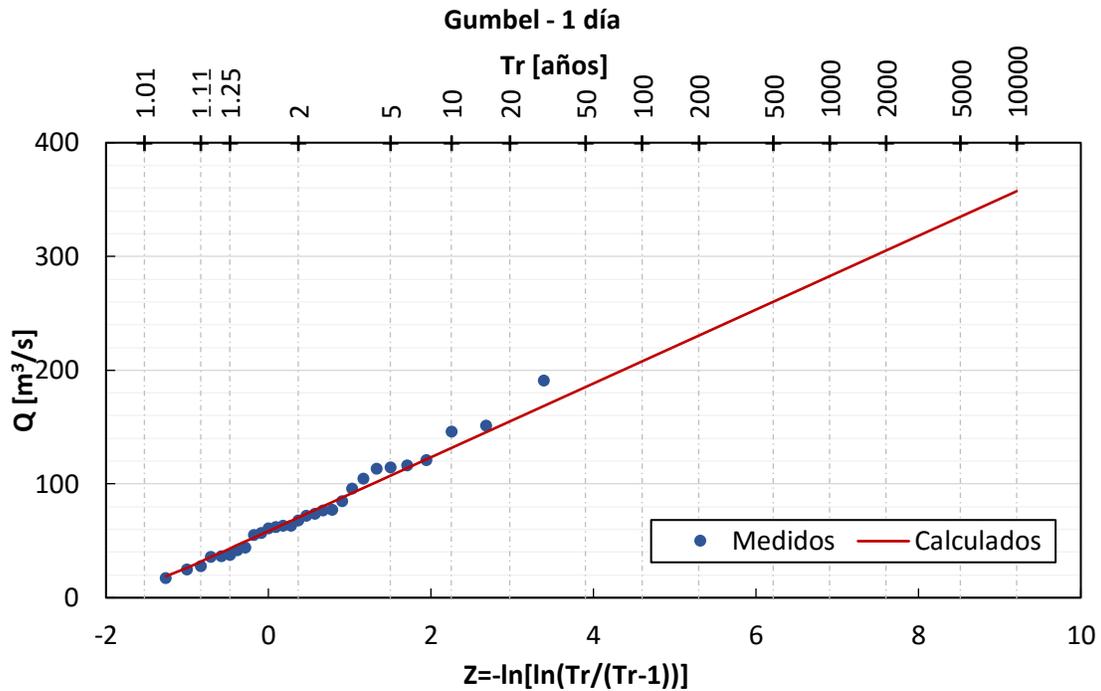


Figura 5.1.1.5. Ajuste Gumbel para la estación 23014 contemplando los años de registro que cuentan con información tanto de lluvia como de gastos.

Tabla 5.1.1.7. Extrapolaciones a diferentes periodos de retorno para la estación 23014 contemplando los años de registro que cuentan con información tanto de lluvia como de gastos.

Tr	Q _{calculado}
[años]	[m ³ /s]
2	70.5
5	107.2
10	131.6
20	154.9
50	185.2
100	207.8
200	230.4
500	260.1
1000	282.6
2000	305.1
5000	334.9
10000	357.3

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

En el segundo caso, para la estación 23014 se obtiene la función de ajuste que se muestra en la figura 5.1.1.6 y los gastos extrapolados en la tabla 5.1.1.8 en la que se contemplaron los registros completos de gastos y se aplicó el factor regional.

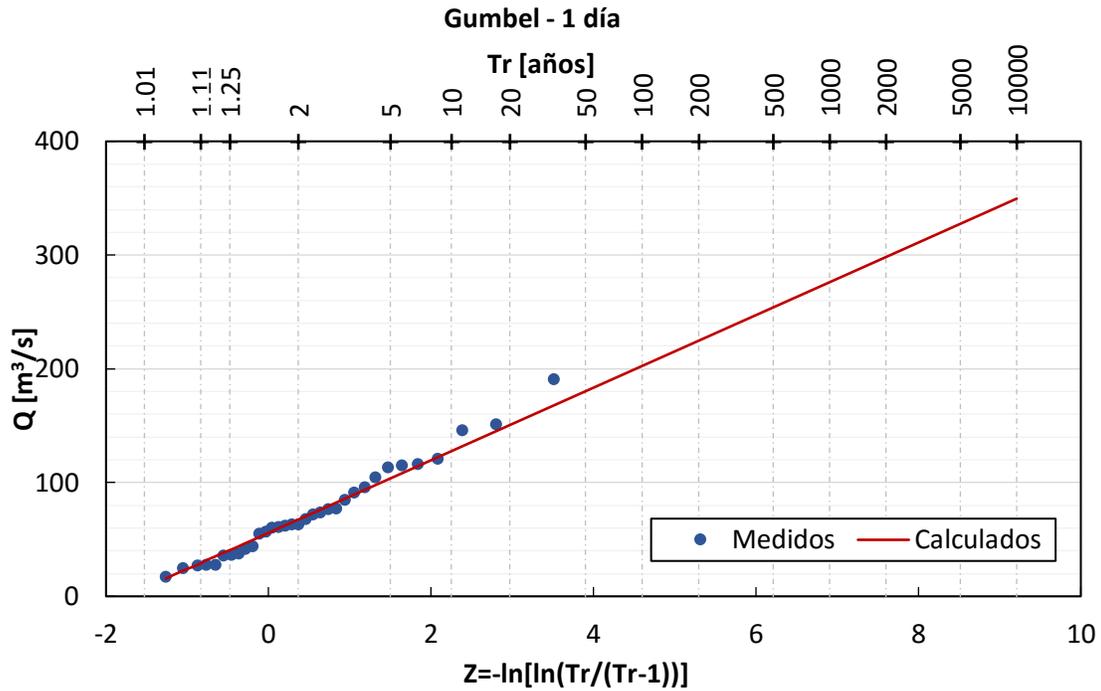


Figura 5.1.1.6. Ajuste Gumbel para la estación 23014 contemplando todos los registros de gastos.

Tabla 5.1.1.8. Extrapolaciones a diferentes periodos de retorno para la estación 23014 contemplando todos los registros de gastos usando factor regional.

Tr	$Q_{\text{calculado}}$
[años]	[m^3/s]
2.00	63.1
5.00	104.6
10.00	134.3
20.00	158.8
50.00	189.2
100.00	210.8
200.00	232.3
500.00	260.5
1000.00	282.0
2000.00	303.5
5000.00	331.0
10000.00	351.8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

5.1.2. Volumen de escurrimiento

Con los datos extrapolados de los gastos se obtienen los volúmenes de escurrimiento en cada estación de análisis multiplicándolos por los segundos de 1 día (86400); estos volúmenes se pueden observar en las tablas 5.1.2.1 y 5.1.2.2.

Tabla 5.1.2.1. Volúmenes de escurrimiento asociados a distintos periodos de retorno caso 1.

ESTACIÓN	19008	19022*	10027	23014*
Tr [años]	V _{esc} [hm ³]			
2	8.9	14.2	5.0	6.1
5	20.0	44.7	10.5	9.3
10	31.4	73.0	18.4	11.4
20	41.4	92.7	23.8	13.4
50	53.2	115.8	29.5	16.0
100	61.7	132.5	33.5	18.0
200	70.0	148.9	37.4	19.9
500	80.8	170.4	42.5	22.5
1000	89.1	186.6	46.3	24.4
2000	97.3	202.8	50.1	26.4
5000	108.2	224.1	55.3	28.9
10000	116.3	241.0	58.8	30.9

Tabla 5.1.2.2. Volúmenes de escurrimiento asociados a distintos periodos de retorno caso 2.

ESTACIÓN	19022+	23014+
Tr [años]	V _{esc} [hm ³]	V _{esc} [hm ³]
2	12.3	5.8
5	20.4	9.0
10	25.8	11.0
20	31.0	13.0
50	37.7	15.6
100	42.7	17.5
200	47.7	19.4
500	54.2	21.9
1000	59.2	23.9
2000	64.2	25.8
5000	70.8	28.3
10000	75.8	30.2

*Estaciones considerando primer caso: Estación 19022 ocupando todos los registros, estación 23014 contemplando que los años de registro tengan información de lluvia y de gastos.

+Estaciones considerando segundo caso: Estación 19022 ocupando menos datos, estación 23014 contemplando todos los registros de gastos.

5.2 Obtención de la precipitación para cada estación

Con base en la siguiente figura se seleccionaron las estaciones de apoyo para realizar el análisis en la estación 19008.

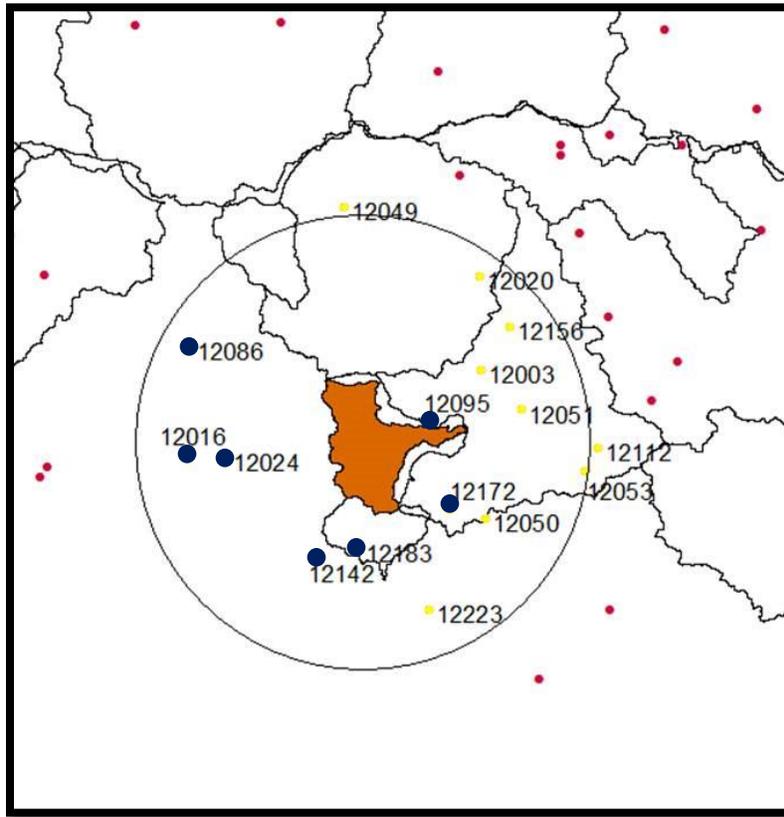


Figura 5.2.1. Estaciones de apoyo para la cuenca de la estación hidrométrica 19008.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la cuenca de la estación hidrométrica 19008 se contemplaron las siguientes estaciones climatológicas:

Tabla 5.2.1. Estaciones para la 19008.

ESTACIÓN	NOMBRE	CUENCA	SUBCUENCA
12016	CARRERA LARGA	RIO ATOYAC BAJO	RIO COYUCA
12024	COYUCA DE BENITEZ	RIO ATOYAC BAJO	RIO COYUCA
12086	TEPETIXTLA	RIO ATOYAC BAJO	RIO COYUCA
12095	XALTIANGUIS (CFE)	RIO PAPAGAYO	RIO OMITLAN
12142	ACAPULCO DE JUAREZ (SMN)	RIO ATOYAC BAJO	RIO COYUCA
12172	ACAPULCO KM 21	RIO PAPAGAYO	RIO OMITLAN
12183	LA SABANA	RIO ATOYAC BAJO	RIO COYUCA

Para la cuenca de la estación hidrométrica 19022 las estaciones de apoyo fueron las siguientes:

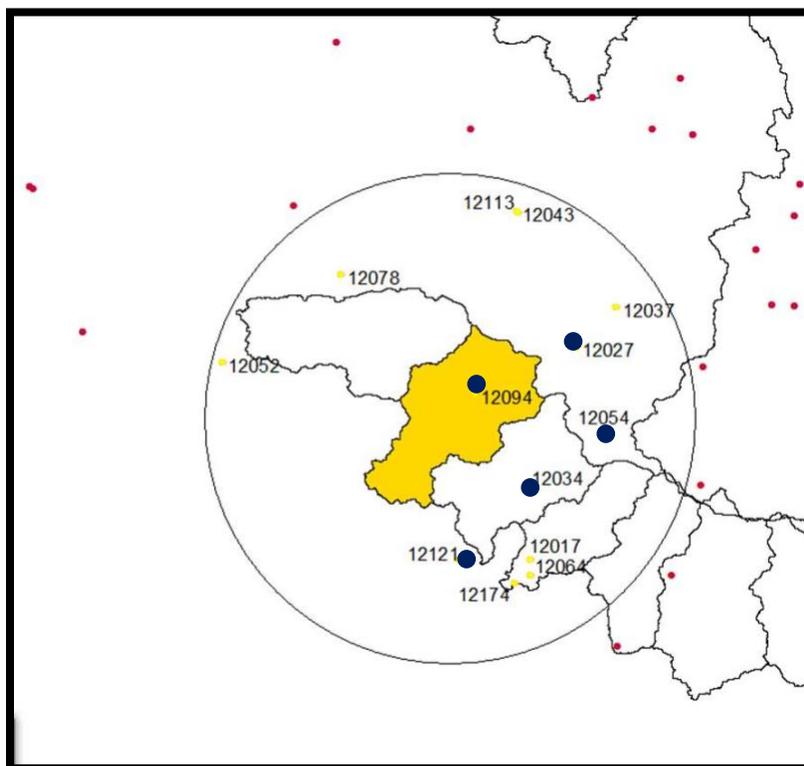


Figura 5.2.2. Estaciones de apoyo para la 19022.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la estación 19022 se contemplaron las siguientes estaciones climatológicas:

Tabla 5.2.2. Estaciones para la 19022.

ESTACIÓN	NOMBRE	CUENCA	SUBCUENCA
12027	CUNDANCITO	RIO BALSAS-ZIRANDARO	RIO EL ESPIRITU
12034	EL CAMALOTE	RIO COYUQUILLA	RIO PETATLAN
12054	LAS PILAS DEL RIO FRIO	RIO BALSAS-ZIRANDARO	RIO EL ESPIRITU
12094	VALLECITOS	RIO IXTAPA	RIO LA TIGRA
12121	SAN JERONIMITO	RIO COYUQUILLA	RIO PETATLAN

Para la estación 10027 ubicada en el estado de Sinaloa se ubican las siguientes estaciones climatológicas:

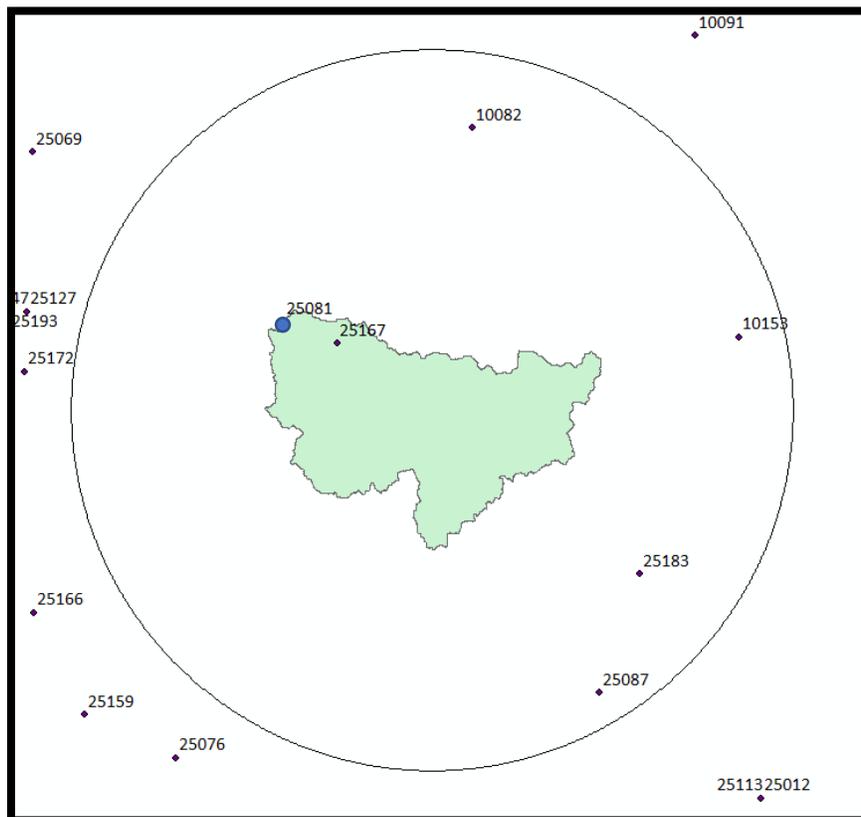


Figura 5.2.3. Cuenca de la estación 10027 ubicada en el estado de Sinaloa.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 5.2.3. Estaciones para la 10027.

ESTACIÓN	NOMBRE	CUENCA	SUBCUENCA
25081	SANALONA II	RIO CULIACAN	PRESA SANALONA
25167	SAN LORENZO	RIO CULIACAN	PRESA SANALONA

Se seleccionó la estación climatológica 25081 como se muestra en la figura, la estación 25167 no se usó en el análisis debido a que no cuenta con suficientes registros.

En la estación 23014 se cuentan con las siguientes estaciones climatológicas:

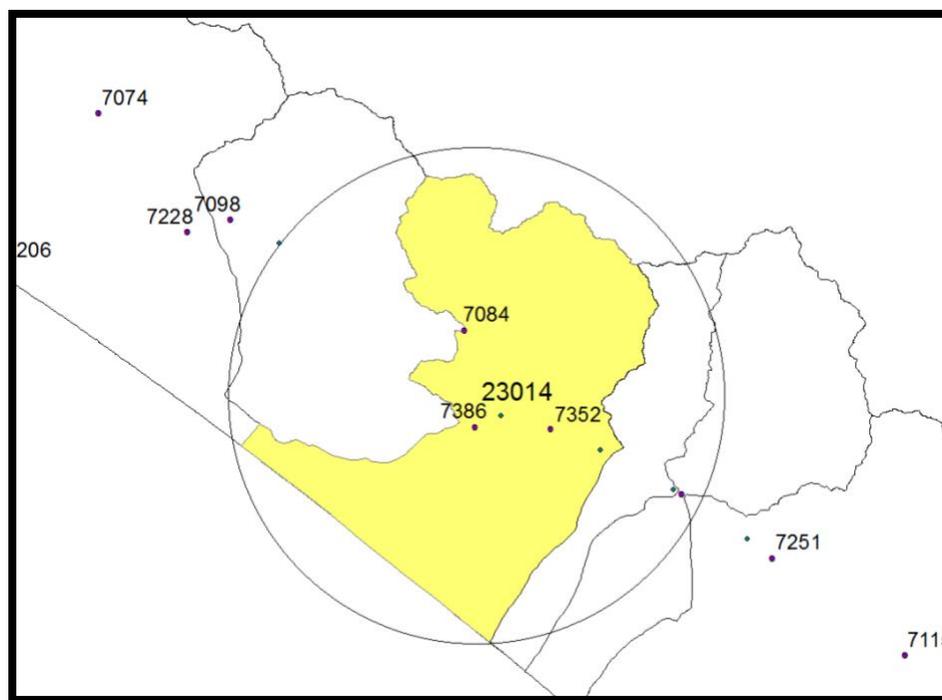


Figura 5.2.4. Estaciones contempladas inicialmente para la estación 23014.

Tabla 5.2.4. Estaciones para la 23014.

ESTACIÓN	NOMBRE	CUENCA	SUBCUENCA
7084	JESUS CHIAPAS	RIO PIJJIAPAN	ESTERO LA CARRETA
7386	SAN ISIDRO	RIO PIJJIAPAN	ESTERO LA CARRETA
7352	SAN DIEGO	RIO PIJJIAPAN	ESTERO LA CARRETA

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para esta estación se consideró la estación climatológica 7084 “JESUS CHIAPAS” por contar con una información aceptable para realizar el análisis.

5.2.1. Procedimiento de depuración en CLICOM

Para realizar el análisis para precipitaciones se recurrió a la Base de Datos CLICOM (Clima Computarizado)

Primero se depuraron los datos (años) que no se consideran en el análisis teniendo como referencia las precipitaciones en cada una de las estaciones que consideramos, esto para poder tener más información y poder hacer un mejor análisis.

A continuación se explica el procedimiento que se realizó para la depuración en una de las estaciones (19008):

1.- Se seleccionó la estación a depurar arrojando los datos que esta tiene.

Station-Id	Element-Code	Año	Mes	Valor_1	Valor_2	Valor_3	Valor_4	Valor_5	Valor_6	Valor_7	Valor_8	Valor_9	Valor_10	Valor_11	Valor_12	Valor_13	Valor_14	Valor_15
00012095	005	1961	2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	6	3.5	0.0	0.0	0.0	1.5	6.0	1.0	1.0	80.0	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	46.5
00012095	005	1961	7	0.0	6.5	0.0	0.0	1.5	0.0	4.0	37.0	24.0	25.5	2.5	0.0	24.5	27.5	24.5
00012095	005	1961	8	0.0	0.0	2.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	1.5	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	9	9.0	5.5	23.5	1.0	0.0	0.0	4.5	5.5	79.0	5.5	56.5	52.5	59.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
00012095	005	1961	11	1.5	0.0	0.0	10.5	2.5	28.5	6.5	0.0	3.5	80.0	1.0	3.5	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1961	12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1962	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1962	2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1962	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00012095	005	1962	4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0

Figura 5.2.1.1. Base de datos del CLICOM.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

2.- Observando la información de esa misma estación se procede a la depuración por años.

Esta depuración es necesaria debido a que en los registros en cada una de las estaciones contempla todos los meses de cada año, pero en nuestro análisis tomaremos en cuenta los meses de mayor lluvia dependiendo de la region en que se encuentre cada estación.

005	00012142	1975	12	19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
005	00012142	1976	1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
005	00012142	1976	5	23 24 25 26 27 28 29 30
005	00012142	1976	10	22 23 24 25
005	00012142	1981	9	8 9 10 11 12 13 14 15 16 17
005	00012142	1985	1	7 8 9 10 11 12 13
005	00012142	1985	9	14 15

14 15 1 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Eliminar Mes

¿ Desea Eliminar algun Mes ? Si No

Meses Faltantes por Año				
Element-Code	Station-Id	Year	Description	
005	00012142	1972	ENERO FEBRERO MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO	
005	00012142	2015	MARZO ABRIL MAYO JUNIO JULIO AGOSTO SEPTIEMBRE OCTUBRE NOVIEMBRE DICIEMBRE	

14 15 1 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31

Eliminar Año

¿ Desea Eliminar algun Año ? Si No

Año: Eliminar

Anterior
Siguiente

Figura 5.2.1.2. Depuración por años.

3.- Para que los datos que se han modificado se pondran valores casi nulos puesto a que no influyen en demasia a nuestros resultados.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Limpiar Datos

Es necesario limpiar los datos, indique el valor.

Sustituir (-99999)

Figura 5.2.1.3. Limpiar datos.

4.- Se generan los máximos de las estaciones depuradas.

Generar Máximos

Estacion: Elemento:

Máximos

Figura 5.2.1.4. Generación de Máximos.

5.- Se realiza análisis de simultaneidad, al cual se le hará un ajuste con el factor de reducción por áreas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Consultar Maximos

¿ Desea elegir varias estaciones ?
 Si No

Elemento: Estacion:

00012016
00012024
00012086
00012095
00012142
00012172
00012183



Figura 5.2.1.5. Generación del análisis de simultaneidad.

El análisis de simultaneidad considera las estaciones que el mismo día registraron precipitaciones, la no simultaneidad se entiende las precipitaciones que se registran en una estación en cierto día sin que necesariamente sea la misma lluvia en las demás estaciones.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

A continuación se da un ejemplo del análisis de simultaneidad, en la cual podemos identificar las estaciones que se analizaron, el máximo anual con su respectivo promedio simultáneo, el promedio no simultáneo y su factor de reducción por área.

ANIO	ESTACION	NO. ESTACIONES	MÁX.ANUAL	PROMEDIO S/Sim	FACTOR RED.ÁREA	ELEMENTO	ENE_1
1970	PROMEDIO	3	74.6666667	111.3333333	0.670658683		0
1971	12016		86.5			5	0
1971	12024		158.5			5	0
1971	12086		85.5			5	0
1971	12095		141			5	0
1971	12172		83.5			5	0
1971	PROMEDIO	5	57.5	111	0.518018018		0
1972	12016		208.5			5	0
1972	12024		208.5			5	0
1972	12086		60			5	0
1972	12095		60			5	0
1972	12142		102			5	0
1972	12172		103			5	0
1972	PROMEDIO	6	88.4166667	123.6666667	0.714959569		0
1973	12016		250.5			5	0
1973	12024		152.5			5	0
1973	12086		238			5	0
1973	12095		218			5	0
1973	12142		193.8			5	0
1973	12172		187.5			5	0
1973	PROMEDIO	6	159.55	206.7166667	0.771829396		0
1974	12016		148.5			5	0
1974	12086		200			5	0
1974	12095		131			5	0
1974	12142		260			5	0
1974	12172		211.5			5	0
1974	PROMEDIO	5	119.9	190.2	0.630389064		0
1975	12016		125.5			5	0
1975	12024		55			5	0
1975	12086		120			5	0
1975	12095		95			5	0
1975	12142		186.5			5	0
1975	12172		112.2			5	0
1975	PROMEDIO	6	81.95	115.7	0.708297321		0

Figura 5.2.1.6. Tabla de simultaneidad de lluvias.

Primeramente se obtienen los valores diarios en cada estación en estudio, posteriormente se obtienen tanto los valores máximos anuales como el promedio; estos se extrapolan asociándolos a diferentes periodos de retorno, se aplican los FRA obteniendo un análisis más preciso y se compararan las precipitaciones totales contra las efectivas.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

5.2.2. Ajuste de promedios máximos de cada estación

Los registros de lluvia para la estación hidrométrica 19008 se muestran en la tabla 5.2.2.1, su ajuste en la figura 5.2.2.1 y su extrapolación a distintos periodos de retorno en la tabla 5.2.2.2.

Tabla 5.2.2.1. Precipitaciones máximas de cada estación en análisis para hidrométrica 19008.

AÑO	12016 P [mm]	12024 P [mm]	12086 P [mm]	12095 P [mm]	12142 P [mm]	12172 P [mm]	12183 P [mm]
1949		61.0					
1950		25.2					
1951							
1952							
1953							
1954	220.0						
1955	321.0						
1956	94.5						
1957	80.0						
1958	140.0	18.9					
1959	80.0						
1960	183.0	86.0					
1961	123.9	128.0					
1962	73.0	94.0		97.0			
1963				91.0			
1964	98.5			97.5			
1965	89.0	16.4		98.5			
1966	71.5		76.5	83.5			
1967	195.5	95.5	81.0	83.5			
1968	161.5	67.5	24.0	60.0			
1969	87.5	87.5		127.5			
1970	75.0	124.5		134.5			
1971	86.5	158.5		141.0			
1972	208.5	208.5	60.0	60.0			
1973	250.5	152.5	238.0	218.0		187.5	
1974	148.5	14.0	200.0	131.0	260.0	211.5	
1975	125.5		120.0	95.0	186.5	112.2	
1976	163.5	60.5		220.5	148.5	170.0	
1977	112.5	14.5	68.0	98.0	102.0	60.0	
1978	53.5		201.0	157.4	103.2	163.6	
1979	84.5	25.0	80.0	81.9	115.0	88.5	
1980	112.5	50.5	67.0	74.3	153.5	74.0	93.2

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1981	103.0	49.5	124.0	168.8	267.0	232.0	208.5
1982	104.5	115.0	85.0	79.0	64.3	81.6	92.2
1983	93.0	58.0	20.0	118.6	79.0	101.0	67.1
1984	263.5	58.5		37.3	87.0	80.0	295.0
1985	76.5	60.5	82.0		98.2	64.6	120.5
1986	102.0	75.5	45.0	76.0	96.5	97.6	141.7
1987	71.0	71.0		62.0	63.5	68.5	65.5
1988	137.5	120.0	100.0	159.0	153.5	174.6	174.0
1989	152.5		143.0	125.0	256.5	146.2	134.0
1990	128.5		111.5	68.0	55.0	78.0	100.0
1991	64.5		53.0	92.0	86.5	76.0	105.0
1992	90.5		40.0	73.0	146.0	80.0	126.0
1993	119.0		48.0	172.0	186.0	143.0	197.0
1994	100.0		52.0	97.0	73.0	55.0	94.5
1995	146.5		65.0	132.0	186.5	190.0	258.0
1996	283.5		51.0	146.0	195.0	164.5	197.0
1997	207.9			144.0	360.0	218.0	316.3
1998	74.6		93.0	132.0	179.5	113.0	129.5
1999	188.0		69.5	109.0	135.1	130.0	135.9
2000	68.0			94.0	200.0	98.5	96.3
2001	225.8				161.7	107.0	159.5
2002	148.4		75.0		146.5	160.1	6.0
2003	119.0				117.8	43.0	
2004	160.6		92.0		97.5		
2005	102.0		74.0		182.0		
2006	103.9		35.5		273.4		
2007	182.6		27.0		213.5		285.3
2008	107.9				133.2	108.2	150.1
2009	87.2				113.7	192.1	82.1
2010	95.8				102.3	151.2	76.8
2011			13.0		165.0		33.1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

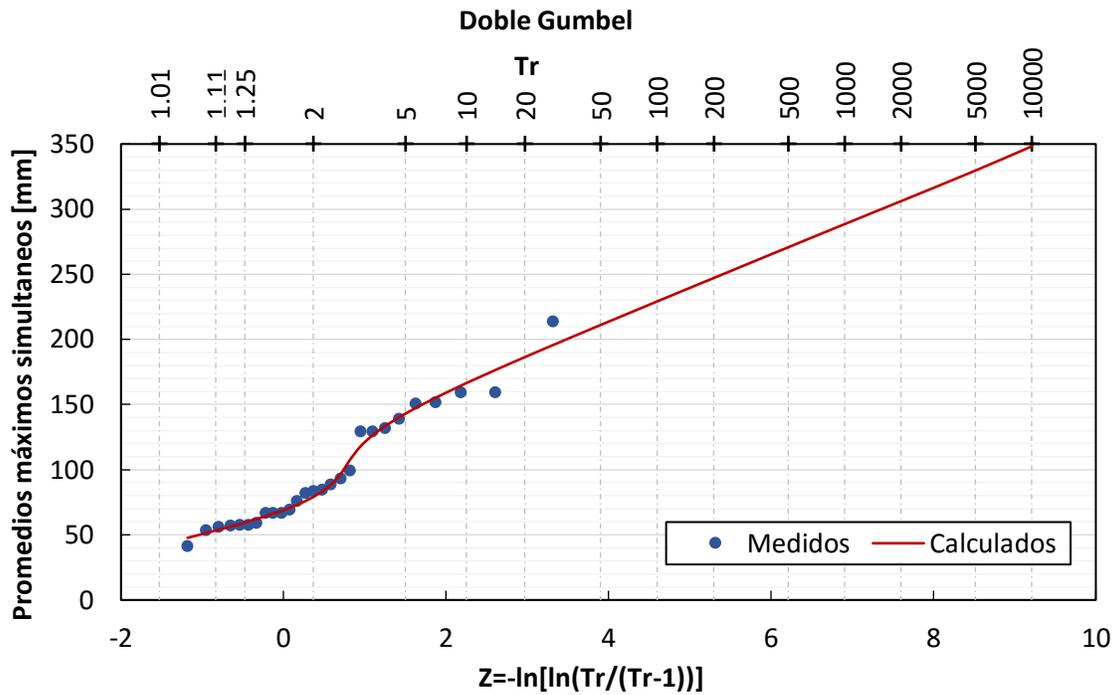


Figura 5.2.2.1. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 19008.

Tabla 5.2.2.2. Precipitaciones máximas simultáneas asociadas a distintos periodos de retorno estación 19008.

Tr	P
[años]	[mm]
2	79.1
5	142.9
10	166.4
20	186.4
50	211.1
100	229.2
200	247.1
500	270.8
1000	288.5
2000	306.1
5000	329.6
10000	348.2

Los registros de lluvia para la estación hidrométrica 19022 se muestran en la tabla 5.2.2.3, su ajuste en la figura 5.2.2.2 y su extrapolación a distintos periodos de retorno en la tabla 5.2.2.4.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 5.2.2.3. Registros de precipitación máxima en cada estación climatológica para la hidrométrica 19022.

AÑO	12027 P [mm]	12034 P [mm]	12054 P [mm]	12094 P [mm]	12121 P [mm]
1961					105.0
1962				60.0	44.0
1963	20.0	74.0		23.5	50.0
1964	75.0	37.0		67.5	60.0
1965	74.0	89.0		62.0	80.5
1966	81.0	137.0		60.0	122.0
1967	65.0	102.9	99.5	230.0	200.0
1968	59.0	42.0	62.0	45.0	97.5
1969	55.5		45.0	40.0	62.0
1970	60.0	36.0	103.5	40.0	50.0
1971	40.0	83.0	89.0	55.0	110.0
1972	66.0	77.0	90.0	40.0	93.0
1973	40.0	66.0	100.0	90.5	38.0
1974	60.0	77.0	30.0	73.0	99.5
1975	60.0		53.0	45.0	118.0
1976	57.0	220.0	61.0	120.0	185.0
1977	40.0	120.0	122.0	45.0	62.0
1978	57.0	87.0	92.0	82.0	81.7
1979	52.0	100.0	47.0	47.0	141.5
1980	42.0	67.0	67.4	76.0	74.7
1981	57.0	67.0	63.0	60.0	50.8
1982	42.0	35.0	60.0	49.0	40.5
1983	44.0	62.0			95.5
1984	60.7				53.4
1985	30.0	45.0			87.5
1986	26.5	20.0		42.0	
1987	80.0	32.0	32.0	55.0	54.0
1988	42.5	100.0	40.0	77.5	204.8
1989	39.5	50.0	55.0	60.0	91.0
1990	142	30.0	35.0	45.0	74.0
1991	49.5	60.0	29.0	42.0	100.0
1992	46.5	52.5	39.0	40.0	151.0
1993	113.5	41.5	38.0	89.0	103.0
1994	75.0	45.5	55.0	90.0	80.0
1995	31.5	75.0	88.5	131.5	110.3
1996	64.0	65.0	250.0	32.0	94.3
1997	48.0	74.0	41.0		90.2
1998	68.0	83.0	25.0	46.5	148.0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1999	30.0	81.5	25.0	155.5	212.0
2000	55.0		52.6	31.0	128.5
2001	65.7	72.5	22.5	40.3	31.0
2002	44.0	94.0		89.5	210.5
2003	61.2	67.0	90.0	62.0	60.0
2004	42.5	82.0		42.0	86.0
2005	66.5	87.0		40.0	102.0
2006	67.5	81.0		60.0	78.5
2007	26.0			180.2	229.8
2008	25.0	70.0	40.0	60.0	
2009	35.0		9.5	60.0	
2010	37.5	103.0		160.0	
2011	75.0	62.0	99.0	210.0	
2012	64.5	52.0	35.0	120.0	
2013	60.0	217.0	220.0	185.0	
2014	62.8		125.0	50.0	

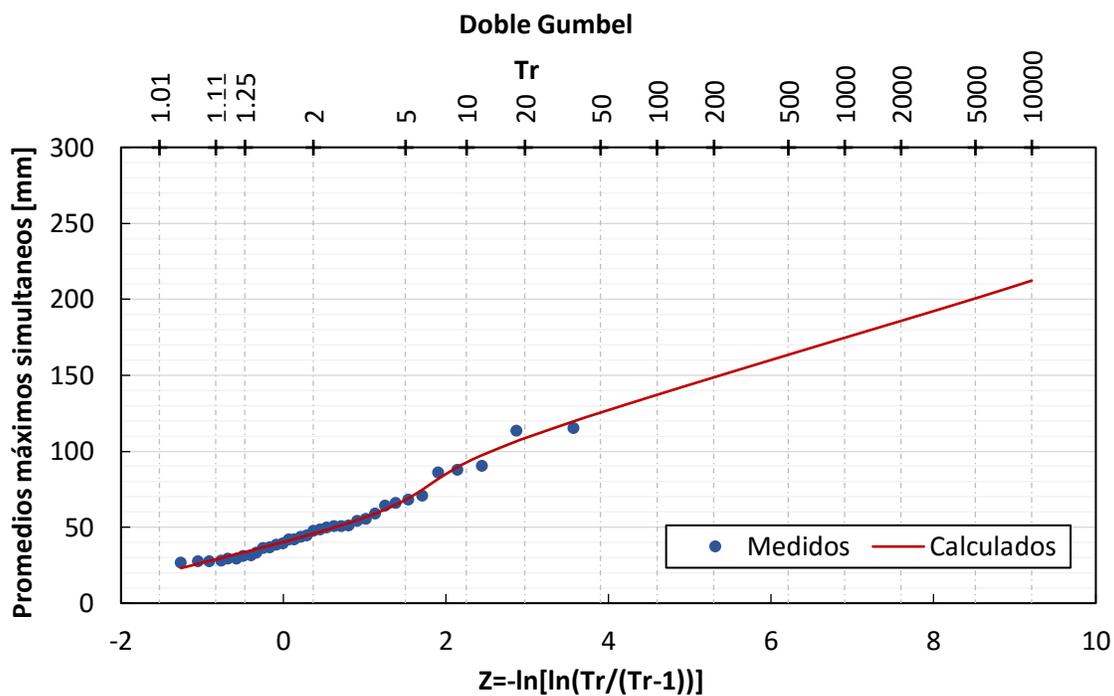


Figura 5.2.2.2. Comparativa entre los datos medidos y los calculados de los promedios máximos simultáneos para la estación hidrométrica 19022.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 5.2.2.4. Extrapolación a distintos periodos de retorno estación 19022.

Tr	P
[años]	[mm]
2	45.7
5	67.9
10	92.6
20	108.6
50	125.4
100	137.2
200	148.6
500	163.5
1000	174.7
2000	185.8
5000	200.6
10000	212.3

Para las estaciones 10027 y 23014 al contemplarse en cada una de ellas 1 estación se recurrió a estudios previos y se ajustaron a nuestra cuenca para poder aplicar los Factores de Reducción por Área.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para la estación hidrométrica 10027

Se contemplará la estación climatológica 25081 como se muestra en la figura, la estación 25167 no se utilizará en el análisis debido a que no cuenta con suficientes registros.

La cuenca que se analiza tiene un área actualizada de 369.34 km^2 , esta área servirá para poder ajustar los FRA a diferentes periodos de retorno.

Los registros de la estación climatológica 25081 se muestran en la tabla 5.2.2.3.

Tabla 5.2.2.3. Registro de precipitaciones máximas anuales estación 25081.

AÑO	25081 P [mm]
1945	140.0
1946	77.2
1947	121.2
1948	85.0
1949	44.7
1950	61.5
1951	52.6
1952	58.5
1953	
1954	47.5
1955	69.5
1956	50.9
1957	
1958	101.0
1959	
1960	
1961	55.0
1962	65.6
1963	158.0
1964	72.5
1965	123.0
1966	58.1
1967	90.0
1968	96.2
1969	76.8
1970	128.6
1971	101.8
1972	188.0
1973	62.0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1974	74.5
1975	62.5
1976	136.0
1977	94.3
1978	82.5
1979	56.0
1980	84.5
1981	55.0
1982	75.0
1983	58.2
1984	82.5
1985	72.1
1986	224.3
1987	89.0
1988	98.0
1989	116.4
1990	127.2
1991	83.3
1992	82.9
1993	81.3
1994	103.0
1995	53.9
1996	114.1
1997	63.4
1998	60.4
1999	83.6
2000	72.0
2001	85.9
2002	73.8
2003	70.9
2004	89.4
2005	94.2
2006	116.9
2007	76.8
2008	75.0
2009	67.2
2010	51.8
2011	98.6
2012	132.3
2013	216.4
2014	36.8

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

En la figura 5.2.2.3 se muestra la comparativa entre los datos medidos y los calculados, en la tabla 5.2.2.4 la extrapolación para varios periodos de retorno.

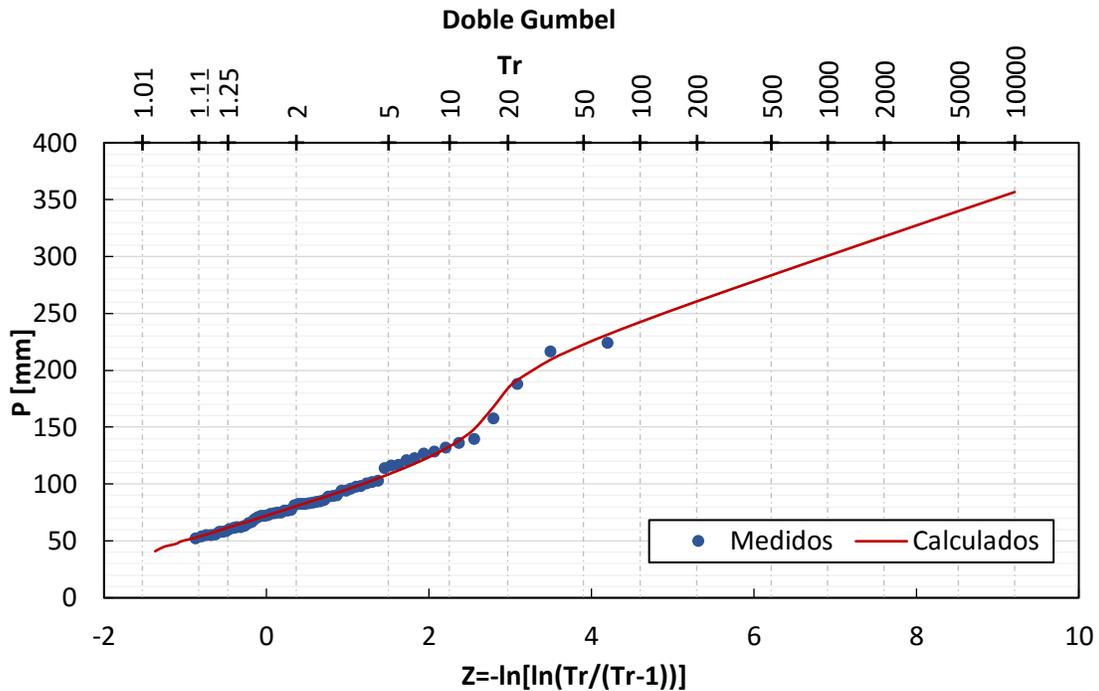


Figura 5.2.2.3. Comparativa entre los datos medidos y los calculados para la estación 10027.

Tabla 5.2.2.4. Extrapolaciones asociadas a distintos periodos de retorno para la estación 10027.

Tr	P
[años]	[mm]
2	80.5
5	108.5
10	132.9
20	183.9
50	222.6
100	242.4
200	260.5
500	283.4
1000	300.6
2000	317.5
5000	339.9
10000	356.7

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para poder aplicar el factor de reducción por área (FRA) se recurrió a registros antes obtenidos en el estado de Sinaloa (Mena, 2004).

Los registros obtenidos se muestran en la tabla 5.2.2.5.

Tabla 5.2.2.5. Registros de FRA asociados a diferentes periodos de retorno, (Mena, 2004).

Área km ²	Periodos de retorno, en años						
	2	5	10	50	100	1000	10000
0.0001	1	1	1	1	1	1	1
6049.13	0.79	0.74	0.7	0.67	0.66	0.65	0.64
7102.43	0.66	0.66	0.62	0.63	0.64	0.65	0.66
7257.35	0.93	0.84	0.75	0.68	0.67	0.64	0.62
11271	0.77	0.78	0.7	0.61	0.59	0.57	0.55
11475.69	0.85	0.83	0.62	0.71	0.74	0.83	0.89
14359.78	0.85	0.88	0.83	0.83	0.84	0.85	0.86
17320.12	0.67	0.68	0.63	0.57	0.56	0.54	0.53
20522	0.81	0.79	0.74	0.73	0.74	0.75	0.76
25835	0.77	0.74	0.63	0.64	0.65	0.68	0.7
26412.1	0.74	0.67	0.58	0.63	0.64	0.68	0.7
32257	0.6	0.68	0.7	0.74	0.75	0.77	0.78
37570	0.62	0.63	0.57	0.58	0.59	0.6	0.61
58092	0.59	0.56	0.5	0.49	0.49	0.5	0.5

Como nuestra área es menor a las que se observan por estudios previos se procedió a interpolar los valores para obtener el FRA para cada periodo de retorno. Estas interpolaciones para cada periodo de retorno se muestran de la figura 5.2.2.4 a la 5.2.2.10.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

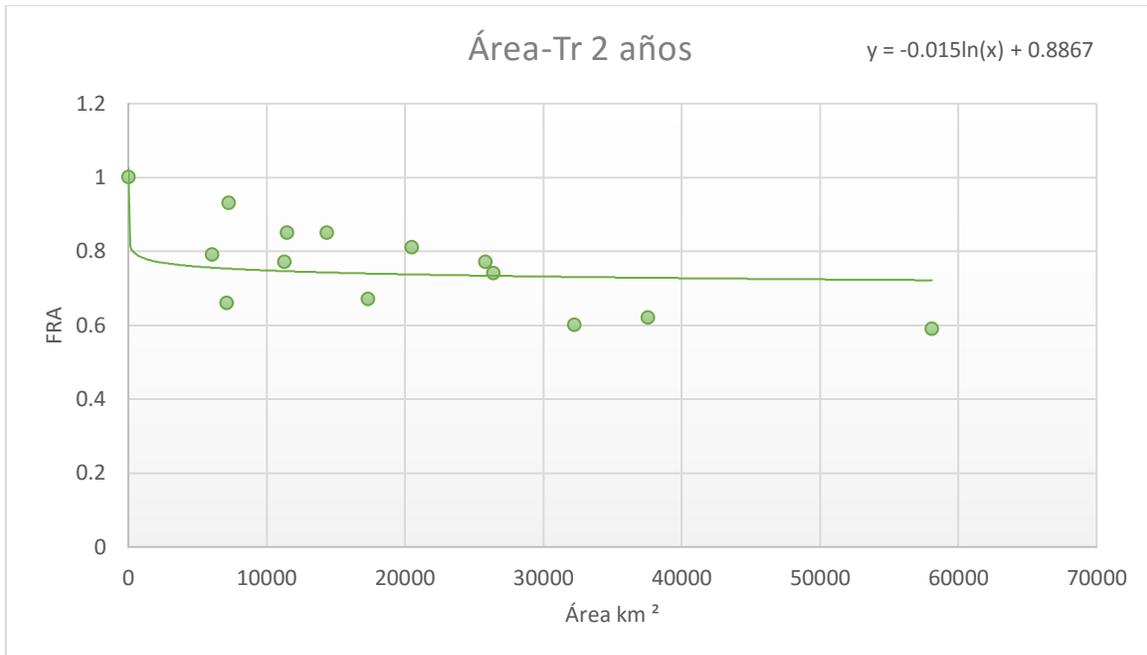


Figura 5.2.2.4. Tr = 2 años.

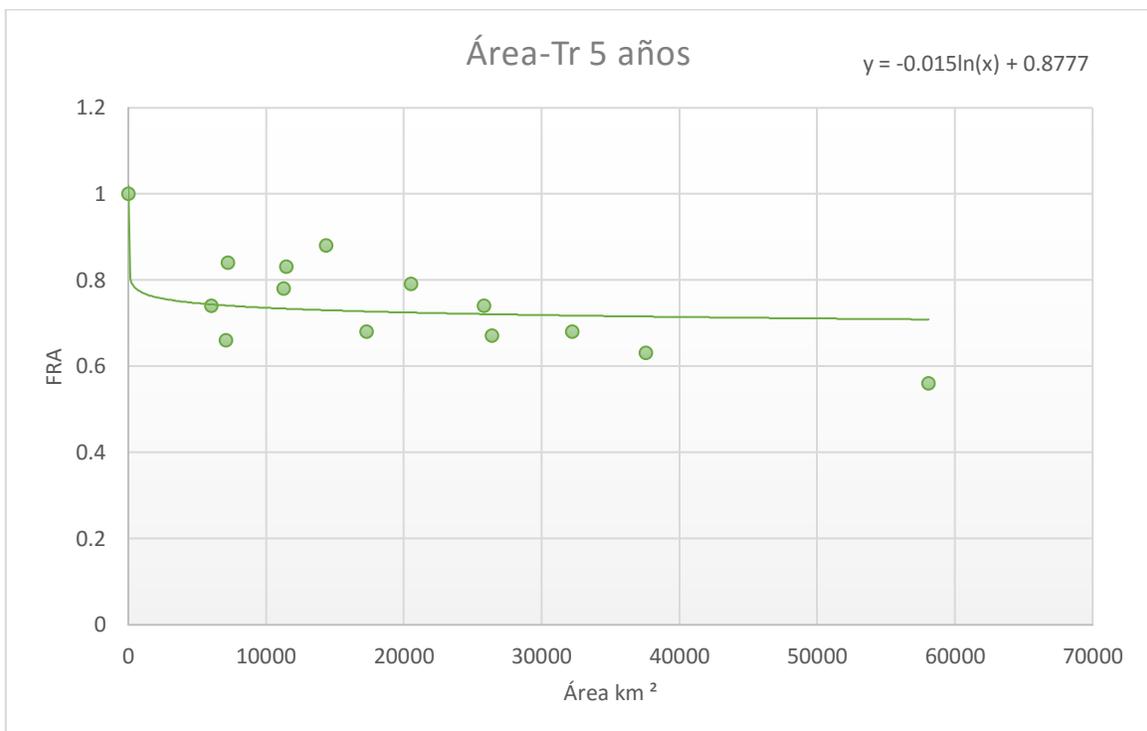


Figura 5.2.2.5. Tr = 5 años.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

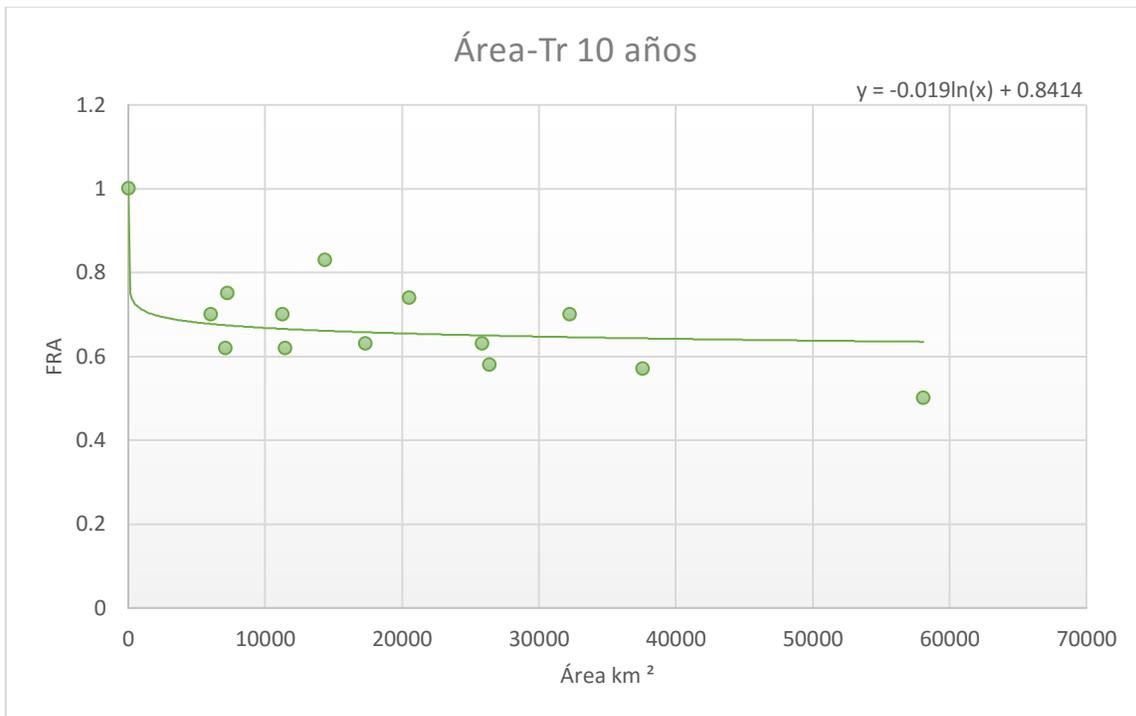


Figura 5.2.2.6. Tr = 10 años.

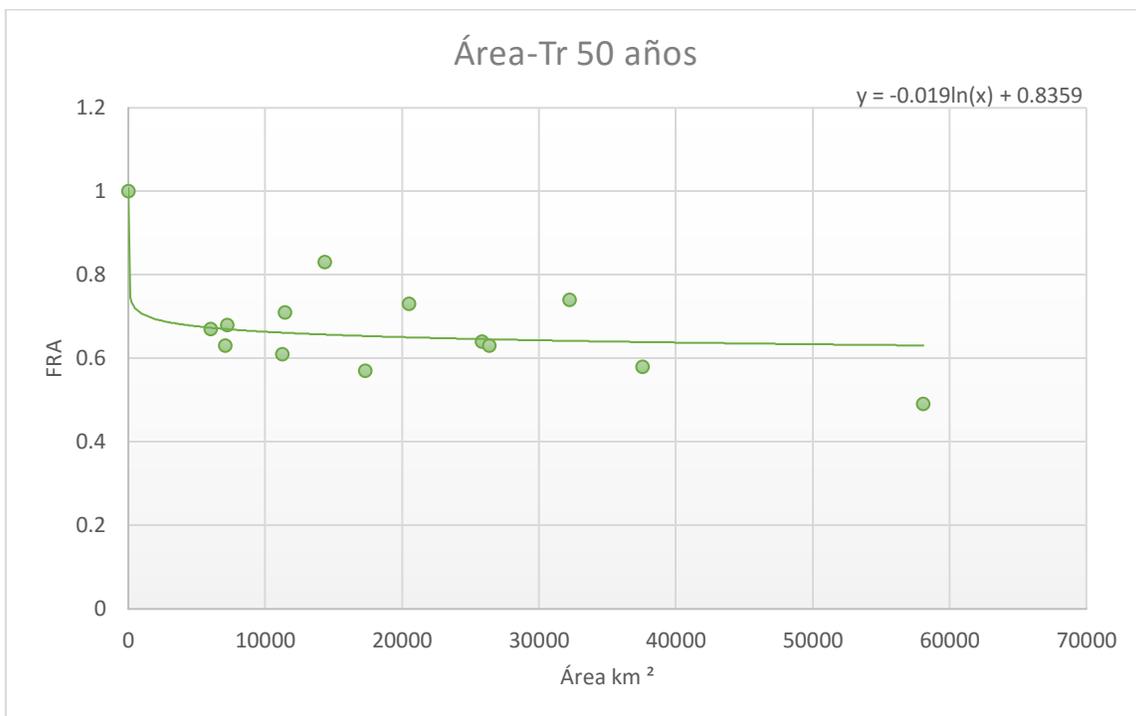


Figura 5.2.2.7. Tr = 50 años.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

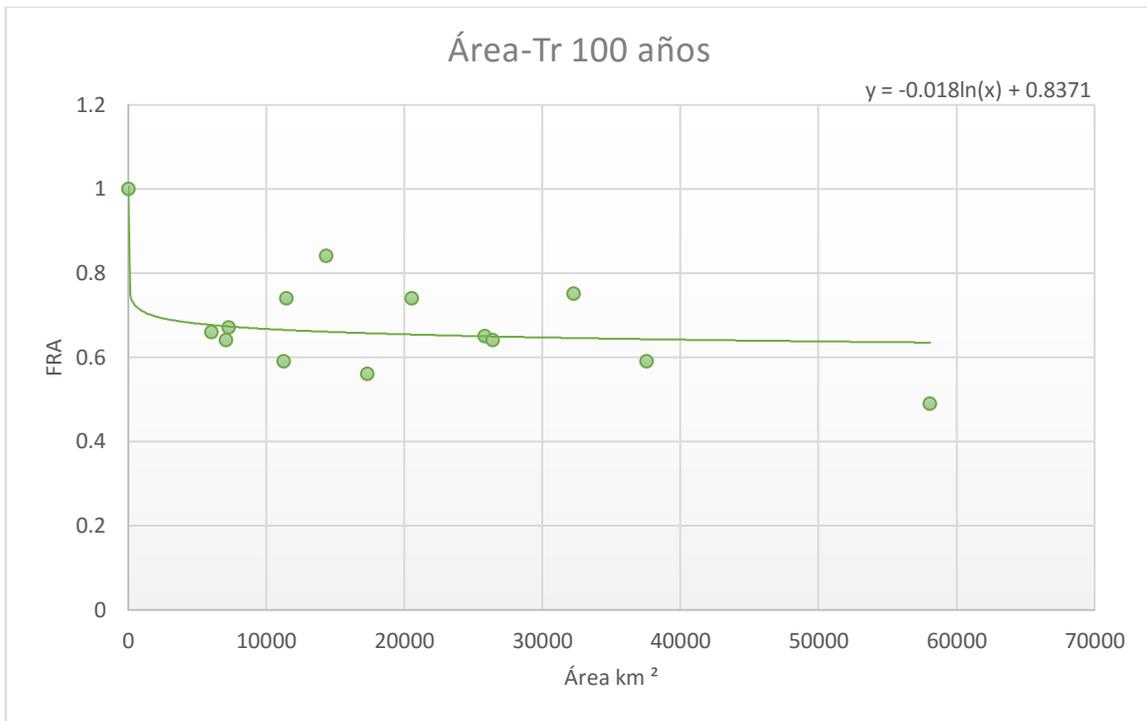


Figura 5.2.2.8. Tr = 100 años.

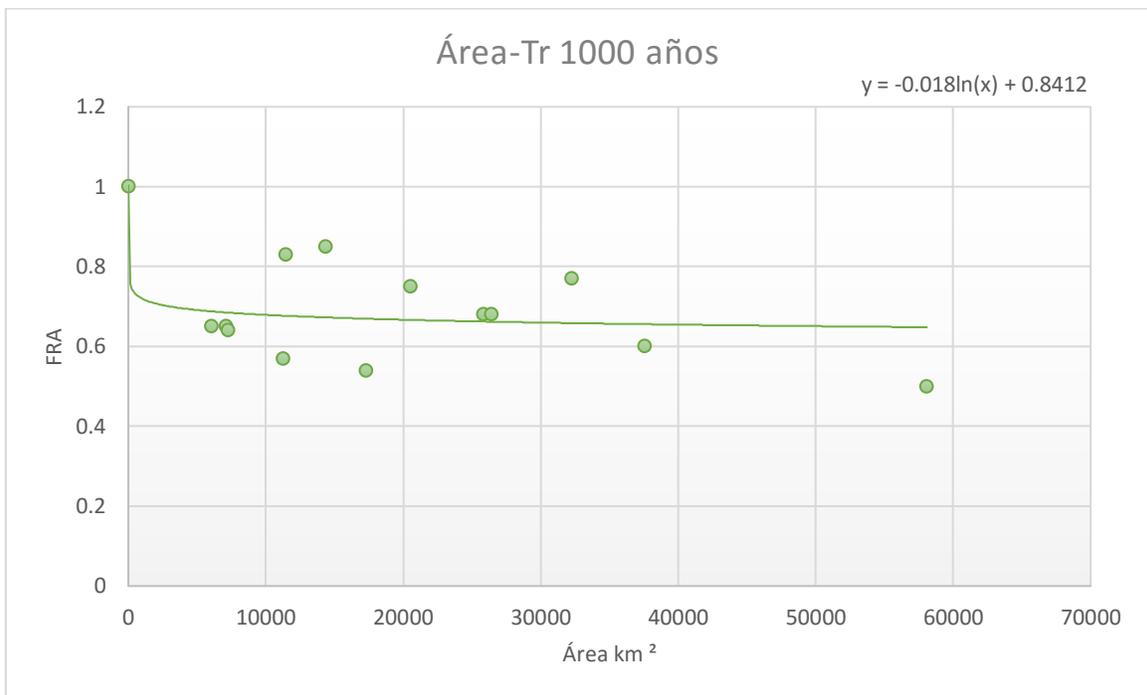


Figura 5.2.2.9. Tr = 1000 años.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

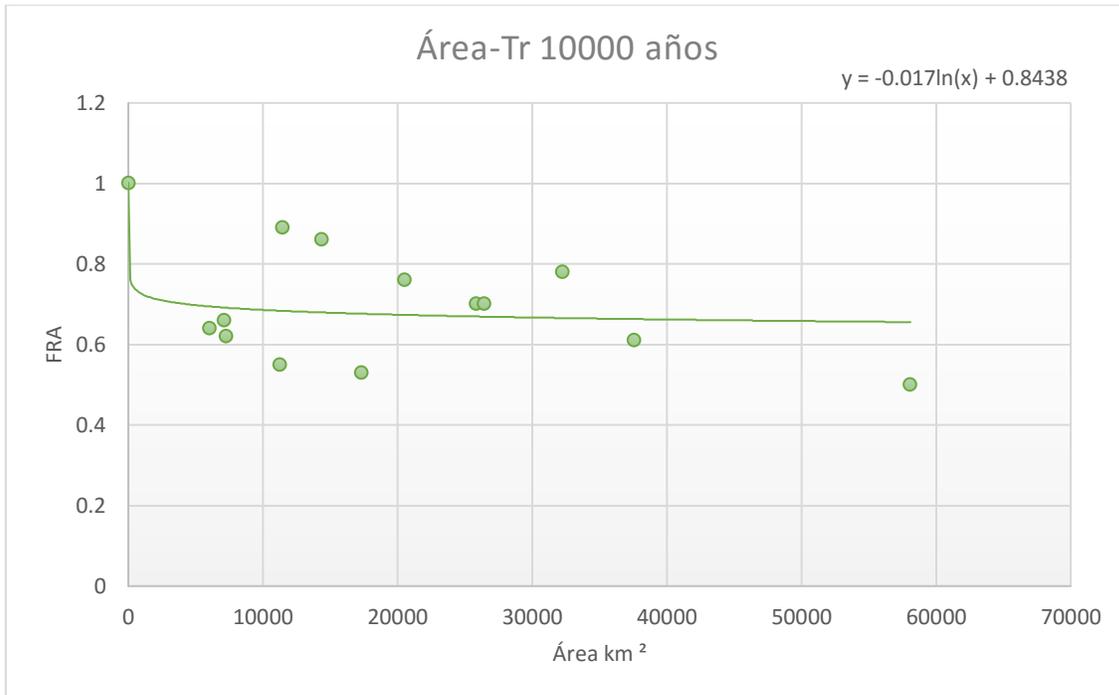


Figura 5.2.2.10. Tr = 10000 años.

En cada una de las gráficas se obtiene su ecuación para su posterior uso en la interpolación. En la tabla 5.2.2.6. Se muestra cada una de estas ecuaciones, donde la variable “y” corresponde al FRA y la variable “x” al área de la cuenca en km².

Tabla 5.2.2.6. Ecuaciones de ajuste.

Periodo de Retorno en años (Tr)	Ecuación de Ajuste
2	$y = -0.015 \ln(x) + 0.8867$
5	$y = -0.015 \ln(x) + 0.8777$
10	$y = -0.019 \ln(x) + 0.8414$
50	$y = -0.019 \ln(x) + 0.8359$
100	$y = -0.018 \ln(x) + 0.8371$
1000	$y = -0.018 \ln(x) + 0.8412$
10000	$y = -0.017 \ln(x) + 0.8438$

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Siendo “x” el área de la cuenca en este caso 369.34 km^2 se realiza el primer desarrollo para un periodo de retorno de 2 años, y los resultados para cada periodo de retorno se muestran en la tabla 5.2.2.7.

$$y = -0.015 \ln(369.34) + 0.8867$$

$$y = 0.80$$

Tabla 5.2.2.7. Factor de Reducción por Área asociado a diferentes periodos de retorno.

Periodo de Retorno en años (Tr)	Factor de Reducción por Área
2	0.80
5	0.79
10	0.73
50	0.72
100	0.73
1000	0.73
10000	0.74

Estos factores obtenidos se multiplicaran por la precipitación total obtenida en el análisis anterior, los resultados se muestran en la tabla 5.2.2.8.

Tabla 5.2.2.8. Precipitaciones a las que se les multiplicará por el FRA obtenido.

Tr	p
[años]	[mm]
2	80.5
5	108.5
10	132.9
20	183.9
50	222.6
100	242.4
200	260.5
500	283.4
1000	300.6
2000	317.5
5000	339.9
10000	356.7

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tomando en cuenta los periodos de retorno obtenidos se muestra la tabla 5.2.2.9 con su factor de ajuste.

Tabla 5.2.2.9. Aplicación del FRA.

Tr	P
[años]	[mm]
2	64.4
5	85.7
10	97.1
50	160.3
100	176.9
1000	219.4
10000	263.9

Para estación hidrométrica 23014

Al observar la cuenca de tan solo 80.40 km² observamos que cuenta con solo 3 estaciones climatológicas de las cuales una ya se encuentra suspendida (7352) y otra cuenta con información muy escasa (7386).

Para esta estación se contemplará una estación climatológica siendo la 7084 por contar con una información aceptable para realizar el análisis.

Los registros con los que cuenta la estación 7084 son los siguientes:

Tabla 5.2.2.10. Precipitaciones máximas anuales en la estación 7084.

AÑO	7084 P [mm]
1965	81.3
1966	105.2
1967	93.3
1968	112.0
1969	104.7
1970	102.8
1971	93.0
1972	135.5
1973	128.6
1974	166.9
1975	120.0
1976	97.8
1977	126.0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO
ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

1978	165.0
1979	131.5
1980	214.5
1981	129.1
1982	90.6
1983	73.3
1984	108.3
1985	
1986	134.0
1987	65.1
1988	248.0
1989	174.0
1990	105.5
1991	160.0
1992	188.5
1993	
1994	74.0
1995	93.5
1996	
1997	
1998	
1999	126.5
2000	90.9
2001	90.7
2002	90.6

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

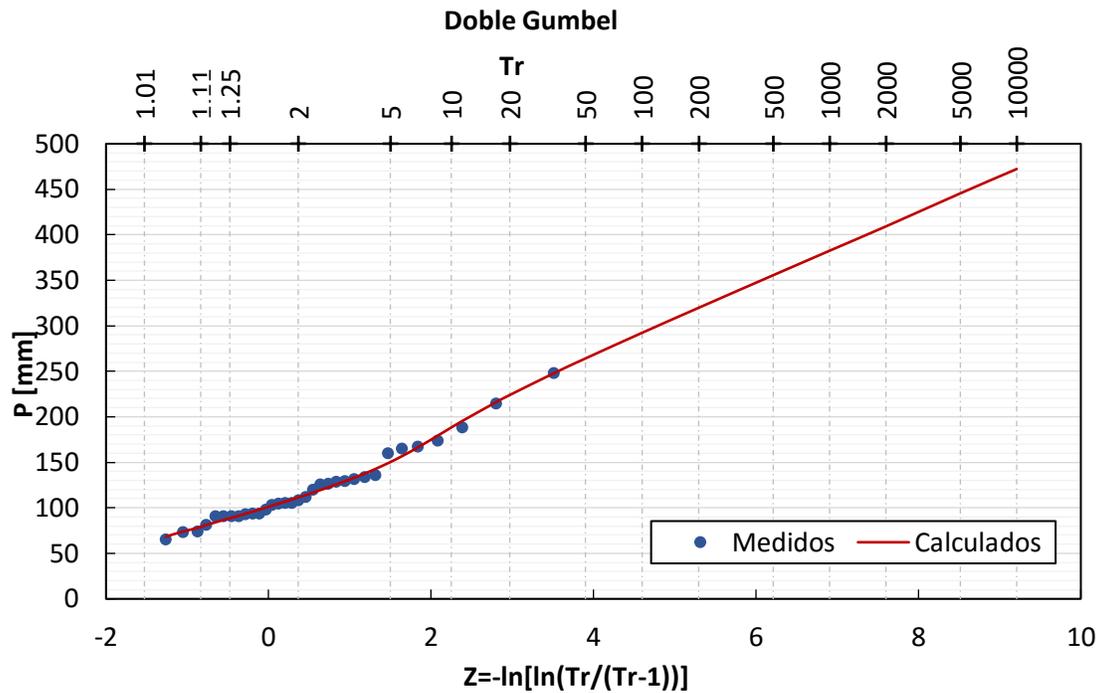


Figura 5.2.2.11. Comparativa entre los datos medidos y los calculados para la estación 23014.

Tabla 5.2.2.11. Extrapolaciones asociadas a distintos periodos de retorno para la estación 23014.

Tr	P
[años]	[mm]
2	111.4
5	150.3
10	188.2
20	223.9
50	264.1
100	292.3
200	319.8
500	355.6
1000	382.5
2000	409.2
5000	445.5
10000	472.2

Para ajustar los datos de precipitación total con el FRA para la zona costera, se realiza primero un análisis de la región de Chiapas, resultando similar a la costa de Guerrero, donde se han realizado trabajos de investigación de estos Factores con los cuales nos guiaremos para poder aplicarlo a nuestra precipitación obtenida. González, Rojas (2015).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

De los factores obtenidos en la RH 19 con los que se obtuvieron de las lluvias simultáneas y no simultáneas, se extrapolaron a diferentes periodos de retorno, aplicando la ecuación de FRA:

$$FRA = \frac{\text{Lluvia Simultánea}}{\text{Lluvia No Simultánea}} \dots \text{(ec. 5.2.2.1)}$$

De las gráficas para cada periodo de retorno se obtuvo su ecuación de ajuste, las cuales son:

Tabla 5.2.2.12. Ecuación de ajuste asociadas a diferentes periodos de retorno

Periodo de Retorno en años (Tr)	Ecuación de Ajuste
2	$y = -0.038971 \ln(x) + 0.969888$
5	$y = -0.032120 \ln(x) + 0.969235$
10	$y = -0.019820 \ln(x) + 0.948303$
20	$y = -0.009406 \ln(x) + 0.958237$
50	$y = -0.002853 \ln(x) + 0.965401$
100	$y = -0.001373 \ln(x) + 0.966190$
200	$y = -0.000469 \ln(x) + 0.964592$
500	$y = -0.000036 \ln(x) + 0.963712$
1000	$y = 0.000252 \ln(x) + 0.962928$
2000	$y = 0.000455 \ln(x) + 0.962453$
5000	$y = 0.000451 \ln(x) + 0.963175$
10000	$y = 0.000550 \ln(x) + 0.962521$

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Donde “y” es el FRA y la “x” corresponde al área de nuestra cuenca siendo esta de 80.40 km^2 , a continuación se muestran los FRA para cada periodo de retorno.

Tabla 5.2.2.13. Factores de Reducción por Área asociados a diferentes periodos de retorno.

Periodo de Retorno en años (Tr)	Factor de Reducción por Área
2	0.80
5	0.83
10	0.86
20	0.92
50	0.95
100	0.96
200	0.96
500	0.96
1000	0.96
2000	0.96
5000	0.97
10000	0.96

Multiplicando los FRA por la precipitación total obtenemos:

Tabla 5.2.2.14. Precipitaciones totales aplicando el FRA.

Tr	p
[años]	[mm]
2	80.0
5	124.5
10	162.1
20	205.3
50	251.7
100	280.7
200	307.8
500	342.6
1000	368.7
2000	394.6
5000	430.0
10000	455.7

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

5.2.3. Volumen total de lluvia

Al multiplicar el área de cada cuenca por su precipitación media asociada a cada periodo de retorno se obtienen los volúmenes de lluvia asociándolos a cada periodo de retorno, estos se muestran en las tablas 5.2.3.1 y 5.2.3.2.

Tabla 5.2.3.1. Volúmenes de lluvia en las cuencas de las estaciones hidrométricas 19008, 19022, 23014.

ESTACIÓN	19008	19022*	23014*
Tr [años]	Volumen [hm ³]	Volumen [hm ³]	Volumen [hm ³]
2	23.4	37.7	7.2
5	42.3	56.0	10.0
10	49.3	76.3	13.0
20	55.2	89.5	16.5
50	62.5	103.4	20.2
100	67.8	113.1	22.6
200	73.2	122.5	24.7
500	80.1	134.8	27.5
1000	85.4	144.0	29.6
2000	90.6	153.1	31.7
5000	97.6	165.3	34.6
10000	103.1	175.0	36.6

Tabla 5.2.3.2. Volúmenes de lluvia en las cuencas de la estación hidrométrica 10027 considerando primer caso.

ESTACIÓN	10027
Tr [años]	Volumen [hm ³]
2	23.8
5	31.6
10	35.9
50	59.2
100	65.3
1000	81.0
10000	97.5

*Estaciones considerando primer caso: Estación 19022 ocupando todos los registros, estación 23014 contemplando que los años de registro tengan información de lluvia y de gastos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Tabla 5.2.3.2. Volúmenes de la lluvia en las cuencas de las estación hidrométrica 10027 considerando el segundo caso.

ESTACIÓN	19022⁺	23014⁺
Tr [años]	V_{lluvioso} [hm³]	V_{lluvioso} [hm³]
2	37.7	7.2
5	56.0	10.0
10	76.3	13.0
20	89.5	16.5
50	103.4	20.2
100	113.1	22.6
200	122.5	24.7
500	134.8	27.5
1000	144.0	29.6
2000	153.1	31.7
5000	165.3	34.6
10000	175.0	36.6

+Estaciones considerando segundo caso: Estación 19022 ocupando menos datos, estación 23014 contemplando todos los registros de gastos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

5.3. Coeficientes de escurrimiento

Al tener los gastos y las precipitaciones se conoce el comportamiento en cada cuenca respecto a lo que llueve y lo que escurre, con los datos extrapolados tanto de lluvia como de gastos se pueden asociar a diferentes periodos de retorno.

Estación 19008

Tabla 5.3.1. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 19008.

Área 296.00 [km ²]						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	[Adim]	[mm]
2	103.1	8.9	79.1	23.4	0.38	30.1
5	231.7	20.0	143.0	42.3	0.47	67.6
10	363.7	31.4	166.4	49.3	0.64	106.2
20	479.3	41.4	186.4	55.2	0.75	139.9
50	615.7	53.2	211.1	62.5	0.85	179.7
100	713.7	61.7	229.2	67.8	0.91	208.3
200	810.1	70.0	247.1	73.2	0.96	236.5
500	935.8	80.8	270.8	80.1	1.01	273.1
1000	1030.7	89.1	288.5	85.4	1.04	300.9
2000	1125.7	97.3	306.1	90.6	1.07	328.6
5000	1252.9	108.2	329.6	97.6	1.11	365.7
10000	1346.4	116.3	348.2	103.1	1.13	393.0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

La gráfica de la precipitación efectiva en función de la precipitación total se muestra en la figura 5.3.1.

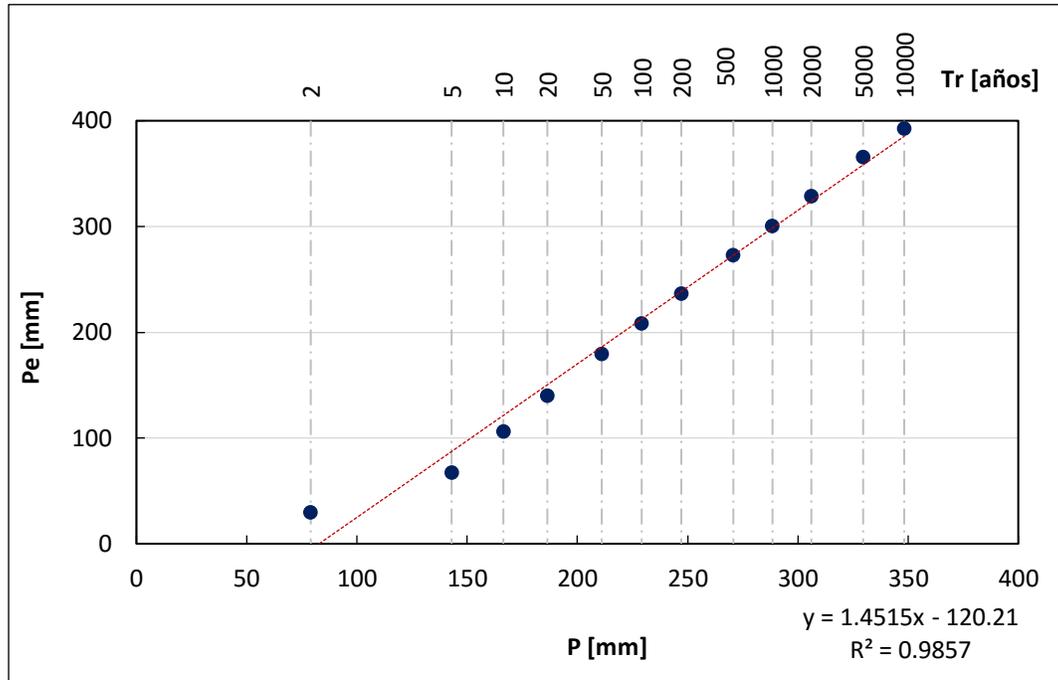


Figura 5.3.1. Gráfica de Precipitación Efectiva contra Precipitación Total para hidrométrica 19008.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 19022

Considerando el primer caso:

Tabla 5.3.2. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 19022.

Área 824.30 [km ²]						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{lluvioso}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	164.5	14.2	45.7	37.7	0.38	17.2
5	516.9	44.7	67.9	56.0	0.80	54.2
10	845.2	73.0	92.6	76.3	0.96	88.6
20	1072.9	92.7	108.6	89.5	1.04	112.5
50	1340.3	115.8	125.4	103.4	1.12	140.5
100	1533.5	132.5	137.2	113.1	1.17	160.7
200	1723.6	148.9	148.6	122.5	1.22	180.7
500	1972.8	170.4	163.5	134.8	1.27	206.8
1000	2160.8	186.6	174.7	144.0	1.30	226.5
2000	2348.9	202.8	185.8	153.1	1.33	246.2
5000	2591.9	224.1	200.6	165.3	1.36	271.7
10000	2777.1	241.0	212.3	175.0	1.37	291.1

Graficando la precipitación efectiva en función de la precipitación total esta gráfica se muestra en la figura 5.3.2.

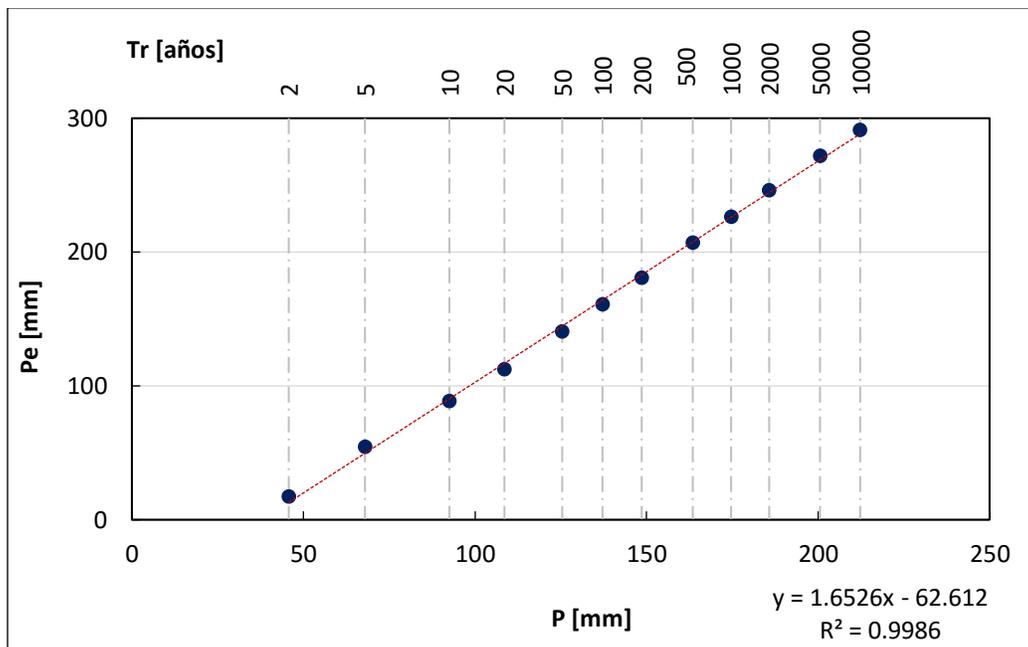


Figura 5.3.2. Gráfica de Precipitación Efectiva contra Precipitación Total para hidrométrica 19022.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Considerando el segundo caso:

Tabla 5.3.3. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 19022.

Área	824.30	[km ²]				
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	142.1	12.3	45.7	37.7	0.33	14.9
5	236.2	20.4	67.9	56.0	0.36	24.8
10	298.6	25.8	92.6	76.3	0.34	31.3
20	358.4	31.0	108.6	89.5	0.35	37.6
50	435.8	37.7	125.4	103.4	0.36	45.7
100	493.8	42.7	137.2	113.1	0.38	51.8
200	551.6	47.7	148.6	122.5	0.39	57.8
500	627.8	54.2	163.5	134.8	0.40	65.8
1000	685.5	59.2	174.7	144.0	0.41	71.9
2000	743.1	64.2	185.8	153.1	0.42	77.9
5000	819.2	70.8	200.6	165.3	0.43	85.9
10000	876.8	75.8	212.3	175.0	0.43	91.9

Graficando la precipitación efectiva en función de la precipitación total esta gráfica se muestra en la figura 5.3.3.

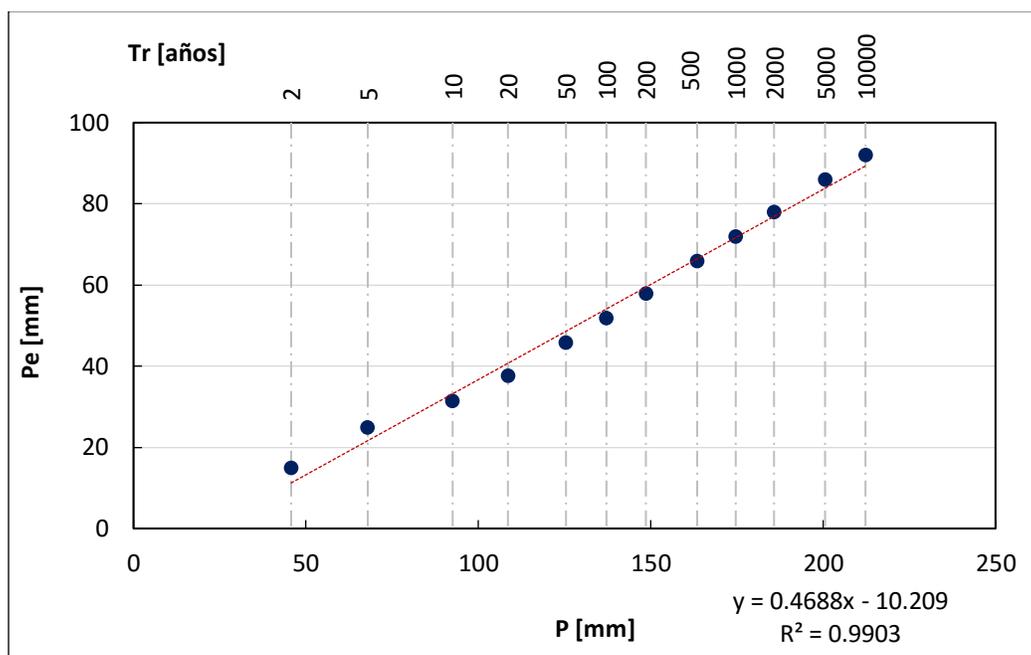


Figura 5.3.3. Gráfica de Precipitación Efectiva contra Precipitación Total para hidrométrica 19022.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 10027

Tabla 5.2.4. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 10027.

Área 369.34 [km ²]						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	58.3	5.0	64.4	23.8	0.21	13.6
5	121.5	10.5	85.7	31.6	0.33	28.4
10	212.7	18.4	97.1	35.9	0.51	49.8
50	341.5	29.5	160.3	59.2	0.50	79.9
100	387.9	33.5	176.9	65.3	0.51	90.7
1000	535.9	46.3	219.4	81.0	0.57	125.4
10000	680.7	58.8	263.9	97.5	0.60	159.2

Graficando la precipitación efectiva en función de la precipitación total esta gráfica se muestra en la figura 5.2.4.

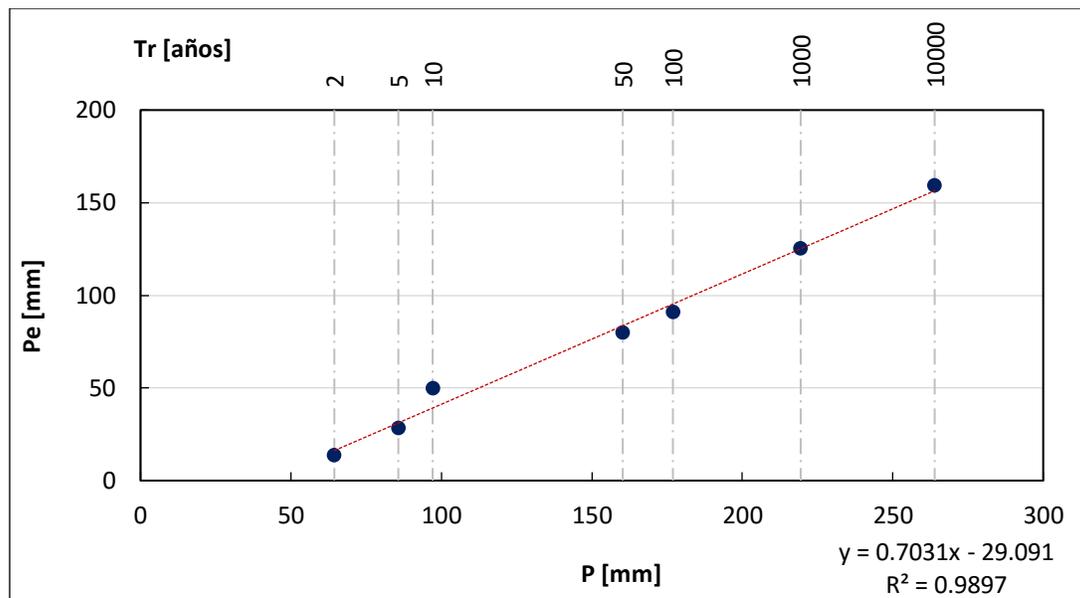


Figura 5.2.4. Precipitación efectiva contra precipitación total estación hidrométrica 10027.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Estación 23014

Para el primer caso:

Tabla 5.2.5. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 23014.

Área 80.40 [km ²]						
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{lluvioso}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	70.5	6.1	89.0	7.2	0.85	75.7
5	107.2	9.3	124.5	10.0	0.93	115.2
10	131.6	11.4	162.1	13.0	0.87	141.4
20	154.9	13.4	205.3	16.5	0.81	166.5
50	185.2	16.0	251.7	20.2	0.79	199.0
100	207.8	18.0	280.7	22.6	0.80	223.3
200	230.4	19.9	307.8	24.7	0.80	247.6
500	260.1	22.5	342.6	27.5	0.82	279.6
1000	282.6	24.4	368.7	29.6	0.82	303.7
2000	305.1	26.4	394.6	31.7	0.83	327.9
5000	334.9	28.9	430.0	34.6	0.84	359.8
10000	357.3	30.9	455.7	36.6	0.84	384.0

Analizando la precipitación total contra la precipitación efectiva.

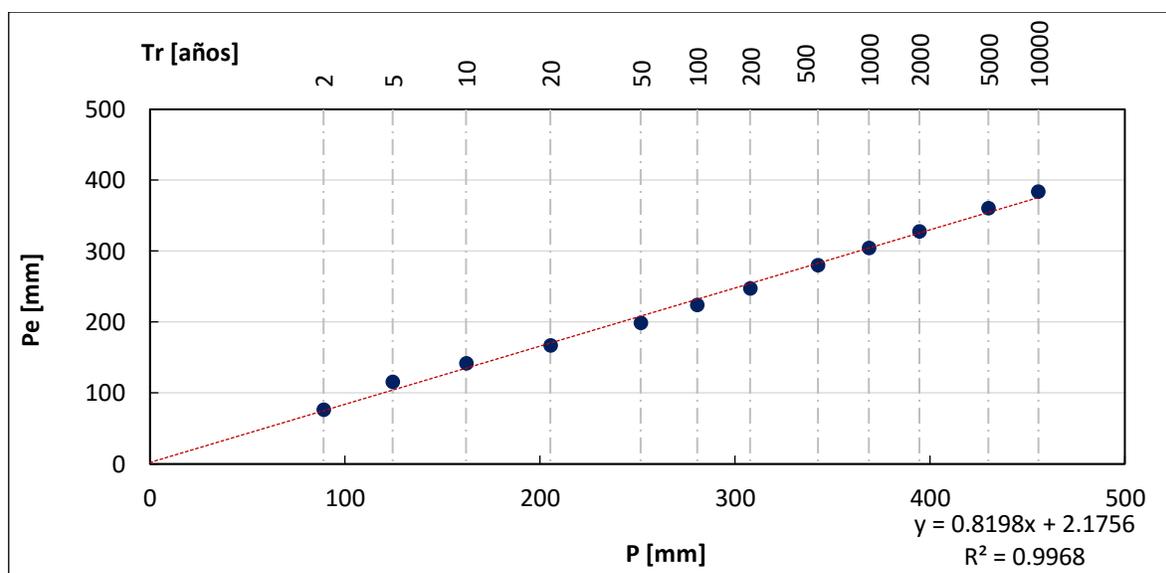


Figura 5.2.5. Regresión después de aplicar el FRA.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Para el segundo caso:

Tabla 5.2.6. Coeficientes de escurrimiento calculados para distintos periodos de retorno en estación hidrométrica 23014.

Área	80.40	[km ²]				
Tr	Q	V _{escurrimiento}	P	V _{llovido}	Ce	Pe
[años]	[m ³ /s]	[hm ³]	[mm]	[hm ³]	adim	[mm]
2	63.1	5.4	89.0	7.2	0.76	67.8
5	104.6	9.0	124.5	10.0	0.90	112.4
10	134.3	11.6	162.1	13.0	0.89	144.3
20	158.8	13.7	205.3	16.5	0.83	170.7
50	189.2	16.3	251.7	20.2	0.81	203.4
100	210.8	18.2	280.7	22.6	0.81	226.5
200	232.3	20.1	307.8	24.7	0.81	249.6
500	260.5	22.5	342.6	27.5	0.82	279.9
1000	282.0	24.4	368.7	29.6	0.82	303.0
2000	303.5	26.2	394.6	31.7	0.83	326.2
5000	331.0	28.6	430.0	34.6	0.83	355.7
10000	351.8	30.4	455.7	36.6	0.83	378.0

Analizando la precipitación total contra la precipitación efectiva.

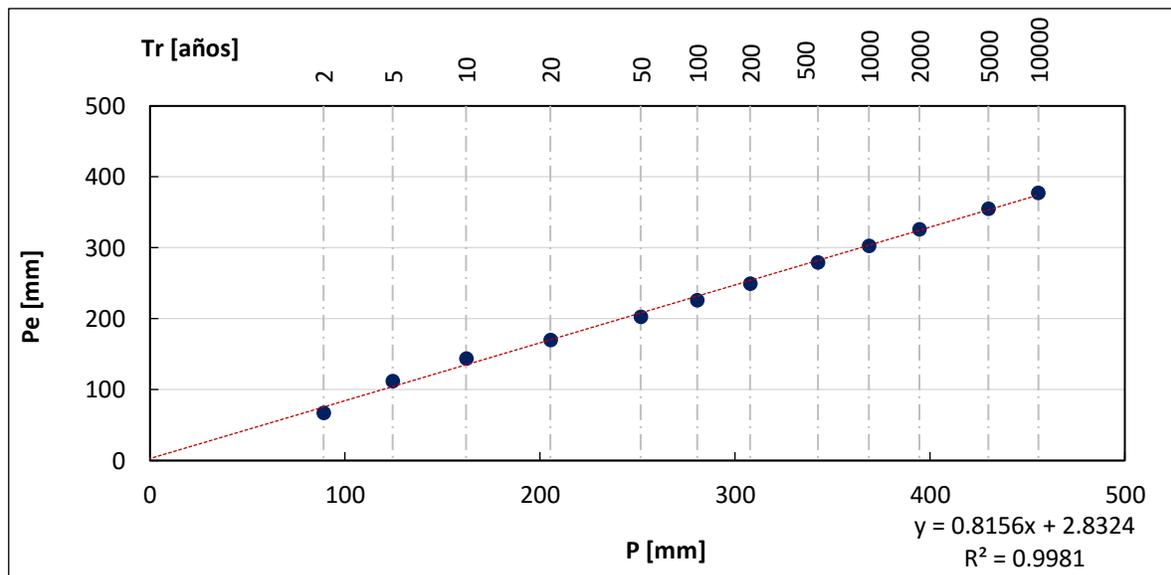


Figura 5.2.6. Regresión después de aplicar el FRA.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

Al aplicar el FRA a las precipitaciones la pendiente mejoró, por lo que el resultado es más coherente al que inicialmente se tenía.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

6. Comparación de resultados

Al desarrollar todos los análisis se pueden comparar las pendientes que permite observar más claramente los cambios. Así en la tabla 6.1 muestra los estudios previos que se tenían en cada una de las estaciones, en la tabla 6.2 se muestra los resultados obtenidos en este trabajo junto al primer caso * y en la tabla 6.3 las estaciones contemplando un segundo caso +.

Tabla 6.1. Registros que se tenían anteriormente de las estaciones.

CLAVE	NOMBRE	PENDIENTE	ORDENADA	COEF. DETER
19008	KM. 21+000	1.1700	-45.0070	0.9998
19022	LA SALITRERA	1.3896	-33.1180	0.9985
10027	EL BLEDAL	1.2274	-65.095	0.9945
23014	SAN DIEGO	1.1971	-82.036	0.9974

Tabla 6.2. Resultados del análisis, con dos estaciones considerando primer caso.

CLAVE	NOMBRE	PENDIENTE	ORDENADA	COEF. DETER
19008	KM. 21+000	1.4515	-120.21	0.9857
19022*	LA SALITRERA	1.6526	-62.612	0.9686
10027	EL BLEDAL	0.7031	-29.091	0.9897
23014*	SAN DIEGO	0.8198	2.1756	0.9968

Tabla 6.3. Resultados del análisis, con dos estaciones considerando segundo caso.

CLAVE	NOMBRE	PENDIENTE	ORDENADA	COEF. DETER
19022+	LA SALITRERA	0.4688	-10.209	0.9903
23014+	SAN DIEGO	0.8156	2.8324	0.9981

*Estaciones considerando primer caso: Estación 19022 ocupando todos los registros, estación 23014 contemplando que los años de registro tengan información de lluvia y de gastos.

+Estaciones considerando segundo caso: Estación 19022 ocupando menos datos, estación 23014 contemplando todos los registros de gastos y factor regional.

De los resultados obtenidos se puede decir que las pendientes varían conforme a los estudios previos, esto porqué se actualizaron las áreas en cada cuenca y a los procedimientos realizados en este trabajo. En la estación 19008 (KM. 21+000) empeoró, en la 19022 (LA SALITRERA) mejoró al considerar el segundo caso, tanto la estación 10027 (EL BLEDAL) como la 23014 (SAN DIEGO) se mejoraron los resultados, pero en esta última, el segundo caso arrojó los mejores resultados.

Con respecto a las ordenadas, en ellas se pueden percibir las pérdidas iniciales; en la estación 23014 tanto el primero como el segundo caso, se observa un cambio de signo, esto implica que los valores no son muy significativos, por lo tanto el análisis es correcto.

Al considerar las estaciones con los mejores resultados obtenidos se observa en los coeficientes de escurrimiento un buen resultado, varían entre 0.2 a 0.9 en diferentes casos, sólo en las estaciones 19008 y 19022 primer caso, los coeficientes de escurrimiento sobrepasan el valor de 1 en un periodo de retorno de 20 años y de 500 años respectivamente.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

7. Conclusiones

En el desarrollo de los análisis para el comportamiento de los coeficientes de escurrimiento a distintos periodos de retorno para cada una de las estaciones hidrométricas, mediante el método del coeficiente de escurrimiento, se obtuvieron nuevos resultados en cada una de las estaciones, en algunos casos los resultados empeoraron con respecto a los análisis previos que se tenían, otros a su vez mejoraron, estos se deben principalmente a las características de la cuenca, enfocándonos más en el área de cada una, estas áreas se actualizaron cambiando los volúmenes llovidos, ya que dependen de las áreas de cada una de las cuencas.

Es necesario tomar en cuenta las actualizaciones en las mediciones tanto de lluvia como de gasto, ya que también los años de registro influyen en el resultado. Por ejemplo en dos de las estaciones solo se utilizó una estación climatológica, puesto a que en las estaciones vecinas o no se contaban con los registros suficientes o se encontraban suspendidas; para solucionar estas faltas de datos se recurrió a estudios previos en las regiones correspondientes (RH 10 y RH 23) para poder aplicar los Factores de Reducción por Área (FRA).

En las estaciones 19008 y 19022 en su primer caso, se observa que los coeficientes de escurrimiento dan mayor a uno, lo cual no es correcto puesto a que el C_e tiene que ser menor o igual a uno; en los casos en que el coeficiente da mayor a uno se debe a que tanto las estaciones climatológicas como en las hidrométricas los datos no se apegan a los valores reales de la cuenca, siendo lo más probable las malas mediciones, ya que en el caso de la estación 19022, al observar gastos muy grandes que aumentaban drásticamente de un año a otro se recurrió a separar esos gastos y trabajar con los que eran más uniformes mejorando en ese caso el coeficiente.

Con este método se logró que en la mayoría de los casos el C_e diera menor a uno, debido a que se actualizaron ciertas características y al tener mayores registros de datos se puede estimar de una mejor forma.

Se propuso el método del coeficiente de escurrimiento debido a que se consideraron otros factores que no se relacionan con el tipo y uso de suelo, siendo estos los datos de lluvia y de escurrimiento.

Al comparar los métodos convencionales de medición del coeficiente de escurrimiento al que se propuso en este trabajo, se puede concluir que el método usado es más específico debido a que se usan valores medidos en cada una de las estaciones, obteniendo de esos valores los respectivos volúmenes de lluvia y de escurrimiento que a su vez, al dividirlos se obtienen coeficientes de escurrimiento más apegados a las características de cada cuenca.

Este método es una forma nueva para analizar las relaciones lluvia-escurrimiento para no utilizar tablas, en los que nuestros resultados pueden contener errores mayores de los que se tendrían utilizando este método. Es necesario trabajar con un mayor número de cuencas para poder relacionar los resultados con las características de las mismas.



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO ASOCIADOS A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO

CAPITULO 8 *REFERENCIAS* *BIBLIOGRÁFICAS*

Especialización en Hidráulica
Ciudad Universitaria, CDMX

8. Referencias bibliográficas

- Aparicio Mijares F. J. (2007) “Fundamentos de Hidrología de superficie” Ed. Limusa.
- Chow Ven Te, (1993) “Hidrología Aplicada”, Ed. Mc Graw Hill.
- Mena Rivera S. R. (2004) “Factores de Reducción por Área para el Cálculo de Lluvias de Diseño. Aplicación al Estado de Sinaloa”, Tesis Maestría, UNAM.
- Muñoz Castro L. A. (2015) “Estimación de Coeficientes de Escurrimiento para la Región Hidrológica Número 23 Costa de Chiapas usando Métodos Estadísticos”, Tesis Maestría, UNAM.
- Ávalos, Canavese, Cenobio, González, Paniagua, Rojas, Soriano (2015) “Estimación de Factores de Reducción por Área (FRA) en Región Hidrológica 19 (RH19)”, Proyecto Hidrología de Superficie, UNAM.
- Cruz García M. H. (2015) “Estimación Regional de Coeficientes de Escurrimiento Aplicación a la Región Hidrológica No. 18”, Tesis Maestría, UNAM.
- Escalante Sandoval C. A., Reyes Chávez L. (2008) “Técnicas Estadísticas en Hidrología”, 2 ed., México, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Comisión Nacional del Agua (2004), “Estadísticas del Agua en México”, CNA.
- Comisión Nacional del Agua (2017), Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), México.
- Instituto de Ingeniería (2014), Clima Computarizado (CLICOM), México, UNAM.