



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

**REVISIÓN DE LOS MODELOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO CON
CUENCAS NACIONALES**

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

PRESENTA:
EDUARDO ISAI MACHUCA ZEFERINO

TUTOR PRINCIPAL
DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA, INSTITUTO DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTOR
DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES, INSTITUTO DE INGENIERÍA
DR. ÓSCAR POZOS ESTRADA, INSTITUTO DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, CD. MX. agosto 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



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. JESÚS GRACIA SÁNCHEZ
Secretario: DR. OSCAR ARTURO FUENTES MARILES
1^{er}. Vocal: DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA
2^{do}. Vocal: DR. ÓSCAR POZOS ESTRADA
3^{er}. Vocal: DRA. MARITZA LILIANA ARGANIS JUÁREZ

Ciudad Universitaria, CD. MX.

TUTOR DE TESIS:

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA



FIRMA

Agradecimientos

A mis padres y mis hermanos por su apoyo incondicional, amor y motivación que me impulsan a seguir creciendo.

A Rubén Rosales, gracias por estar a mi lado.

Gracias por ser quienes son y por creer en mí.

A mi tutor el Dr. Ramón Domínguez por su orientación en el desarrollo de este trabajo.

Al comité académico de este trabajo que también fueron mis profesores, gracias al tiempo dedicado en mi formación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo económico otorgado mediante la beca nacional durante mis estudios de la maestría.

RESUMEN

En México existe mayor cantidad de información climatológica que hidrométrica por lo que hace de gran importancia que los modelos lluvia-escorrentamiento se ajusten a las cuencas nacionales.

En este trabajo se aplican los modelos lluvia-escorrentamiento a cuencas aforadas del país con el fin de evaluar su efectividad, para seleccionar el mejor modelo dadas las características de una cuenca.

Se obtienen los gastos y precipitaciones a diferentes periodos de retorno y sus estadísticos muestrales, propiedades fisiográficas, edafológicas y usos de suelo de 50 cuencas nacionales de la base de datos BANDAS. Se obtienen los gastos estimados por los modelos racional, hidrograma unitario triangular (HUT) y el de Chow, empleando la pendiente estimada con Taylor-Schwarz y por áreas compensadas, la infiltración mediante los números de escorrentamientos y el coeficiente de escorrentamiento, dando como resultado doce posibles combinaciones.

La fuente de información empleada fue el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) donde se obtuvieron los usos de suelo, edafología y el modelo digital de elevaciones de cada cuenca, siendo trabajada esta información en ArcGis. La información climática fue obtenida en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y trabajada en un entorno de programación de Python para obtener la precipitación media de la cuenca.

A los gastos hidrométricos obtenidos empleando distribuciones de probabilidad a la información hidrométrica con el menor error estándar de ajuste se le llamará gasto medido y los gastos obtenidos por modelos de lluvia-escorrentamiento empleando los parámetros condensados serán los gastos estimados.

Se correlacionan los gastos medidos con las precipitaciones y las propiedades de la cuenca empleando todos los datos y, también, en grupos de diferentes tamaños de cuenca, para visualizar su comportamiento. También se correlacionan los gastos medidos con los gastos estimados a diferentes periodos de retorno para conocer cuales modelos se acoplan mejor a las series medidas, es decir, cuales gastos estimados se comportan de forma similar a los gastos medidos.

Se comparan los gastos medidos con los gastos estimados a diferentes periodos de retorno, empleando la prueba de bondad de ajuste MAPE que permite que los valores sean comparables de una cuenca a otra, para así obtener los modelos lluvia-escorrentamiento que obtuvieron mejor eficiencia a diferentes tamaños de cuenca y periodos de retorno, también se realizó con la prueba de bondad de ajuste del error estándar (EEA) dando unas pequeñas diferencias en las frecuencias pero el ganador fue el mismo modelo que es el modelo del hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escorrentamiento.

Se realizó el análisis de sensibilidad variando los parámetros condensados uno a la vez mientras los demás se fijaban constantes para ver la respuesta en los gastos

estimados y en su comparación con los gastos medidos (MAPE). La prueba de bondad de ajuste MAPE es la variable dependiente y se muestran las gráficas en los resultados. Se encontró que los gastos por los modelos lluvia-escorrentamiento son más grandes que los medidos por lo que la variable dependiente encontraba su valor mínimo cuando más chico eran los parámetros condensados.

Igualmente se agregó un parámetro "a" antes de cada modelo lluvia-escorrentamiento para estimar el cambio de la prueba de bondad de ajuste (MAPE) cuando varía esta constante, para establecer el error del uso de éstos modelos, así como su mínimo error.

CONTENIDO

RESUMEN	1
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE FIGURAS	12
HIPOTESIS	14
OBJETIVOS	14
METODOLOGIA.....	15
MARCO TEÓRICO.....	18
PROPIEDADES FISIOGRÁFICAS DE LA CUENCA.....	18
ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN.....	22
PRECIPITACIÓN MEDIA – POLÍGONOS DE THIESSEN.....	22
DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	22
RELACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES DE DIFERENTES DURACIONES	23
INFILTRACIÓN.....	26
FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN	26
MÉTODOS EMPÍRICOS	27
CRITERIO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	27
MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS.....	29
MODELOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO	34
FÓRMULA RACIONAL	34
MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR.....	34
METODO DE CHOW	36
PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE	39
ERROR ESTÁNDAR (RMSE ROOT MEAN SQUARE ERROR O RAÍZ DEL ERROR MEDIO CUADRÁTICO).....	39
MAPE (MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR O PORCENTAJE DEL ERROR MEDIO ABSOLUTO).....	40
MARCO FÍSICO	41
DISCUSIÓN	44
COMPARACIÓN ENTRE LAS PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE.....	44
EEA – MAPE.....	44
CORRELACION ENTRE LAS SERIES DE DATOS.....	47
ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DEL MEJOR MODELO.....	52
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	56

FÓRMULA RACIONAL.....	56
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ	56
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS	58
SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	60
SENSIBILIDAD EN LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO	62
HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR.....	64
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ	64
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS	65
SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	66
SENSIBILIDAD EN LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS.....	67
MÉTODO DE CHOW.....	70
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ	70
SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS	71
SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	72
SENSIBILIDAD EN EL NÚMERO DE ESCURRIMIENTOS.....	73
ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON UN COEFICIENTE AGREGADO	74
CONCLUSIONES.....	78
ANEXOS	80
ANEXO A. PROPIEDADES DE LAS CUENCAS EN EL ESTUDIO.....	80
ANEXO B. CORRELACIÓN ENTRE LOS GASTOS MEDIDOS Y LA PRECIPITACIONES EN SUS PERIODOS DERETORNO	110
ANEXO C. RESULTADOS DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD (PARÁMETROS CONDENSADOS)	111
ANEXO D. RESULTADOS DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD (DEL COEFICIENTE AGREGADO).....	123
MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	123
MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO.....	126
MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	129
MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	132
MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO ..	135
MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	138

MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS	141
MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS	144
MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS	147
MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS	150
MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS.....	153
MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS	156
REFERENCIAS.....	159

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las cuencas por su tamaño.....	18
Tabla 2. Clasificación de las cuencas por su forma	19
Tabla 3. Clasificación de las cuencas por su drenaje.....	20
Tabla 4. Clasificación de las cuencas por su pendiente.....	21
Tabla 5. Valores K en función del factor de convectividad y duración.....	25
Tabla 6. Coeficientes de escurrimiento para diferentes condiciones de uso de suelo y pendiente.....	28
Tabla 7. Tipos hidrológicos de suelo.....	29
Tabla 8. Tipo hidrológico de suelo de acuerdo a su clasificación por la FAO	30
Tabla 9. Número de curva para diferentes tipos de suelo y coberturas.	32
Tabla 10. Corrección al número de curva para lluvias anteriores.....	33
Tabla 11. Ubicación de las cuencas en estudio.	43
Tabla 12. Propiedades de la cuenca con mayor correlación.....	48
Tabla 13. Correlaciones entre los modelos lluvia-escurrimiento y los gastos medidos.....	50
Tabla 14. Media y desviación de la serie de mejor MAPE de las cuencas.....	52
Tabla 15. Frecuencia del mejor modelo en porcentaje.....	54
Tabla 16. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas pequeñas.....	76
Tabla 17. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas intermedias pequeñas.	77
Tabla 18. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas intermedias grandes.	77
Tabla 19. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.....	80
Tabla 20. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.	81
Tabla 21. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.	82
Tabla 22. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.....	83
Tabla 23. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.	84
Tabla 24. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.....	85
Tabla 25. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.	86
Tabla 26. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.....	87

Tabla 27. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.....	88
Tabla 28. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.....	89
Tabla 29. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.	90
Tabla 30. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.	91
Tabla 31. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.	92
Tabla 32. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.....	93
Tabla 33. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.....	94
Tabla 34. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de convectividad.....	95
Tabla 35. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de convectividad.	96
Tabla 36. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de convectividad.	97
Tabla 37. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.	98
Tabla 38. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.	99
Tabla 39. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.	100
Tabla 40. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.....	101
Tabla 41. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.....	102
Tabla 42. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.....	103
Tabla 43. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.	104
Tabla 44. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.....	105
Tabla 45. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.....	106
Tabla 46. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.....	107
Tabla 47. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.	108

Tabla 48. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.	109
Tabla 49. Correlación entre los gastos medidos y las precipitaciones de 24 horas.	110
Tabla 50. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo Racional, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	111
Tabla 51. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo Racional, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	112
Tabla 52. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento en el modelo Racional, con diferente pendiente y tamaño de cuenca.	113
Tabla 53. Resultados del análisis de sensibilidad variando los números de escurrimiento en el modelo Racional, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.	114
Tabla 54. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	115
Tabla 55. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	116
Tabla 56. Resultados del análisis de sensibilidad variando el Coeficiente de escurrimiento en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.	117
Tabla 57. Resultados del análisis de sensibilidad variando los números de escurrimientos en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.	118
Tabla 58. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo de CHOW, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	119
Tabla 59. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo de CHOW, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.	120
Tabla 60. Resultados del análisis de sensibilidad variando el Coeficiente de escurrimiento en el modelo de CHOW, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.	121
Tabla 61. Resultados del análisis de sensibilidad variando el número de escurrimiento en el modelo de CHOW, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.	122
Tabla 62. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	123
Tabla 63. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	124

Tabla 64. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	125
Tabla 65. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	126
Tabla 66. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	127
Tabla 67. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	128
Tabla 68. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	129
Tabla 69. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	130
Tabla 70. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	131
Tabla 71. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	132
Tabla 72. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	133
Tabla 73. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	134
Tabla 74. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	135
Tabla 75. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	136
Tabla 76. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes. ...	137
Tabla 77. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.	138
Tabla 78. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	139

Tabla 79. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	140
Tabla 80. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.	141
Tabla 81. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	142
Tabla 82. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	143
Tabla 83. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.	144
Tabla 84. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	145
Tabla 85. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	146
Tabla 86. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.	147
Tabla 87. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	148
Tabla 88. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	149
Tabla 89. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.	150
Tabla 90. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	151
Tabla 91. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	152
Tabla 92. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.	153
Tabla 93. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas. ...	154

Tabla 94. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	155
Tabla 95. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.....	156
Tabla 96. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.	157
Tabla 97. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.	158

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1. Metodología general de la investigación	15
Ilustración 2. Proceso para la obtención de los gastos estimados.	16
Ilustración 3. Regionalización del factor de convectividad R.	24
Ilustración 4. Linealidad entre las precipitaciones y los gastos.	35
Ilustración 5. Superposición de causas y efectos.	35
Ilustración 6. Factor de reducción de pico Z según Chow.	38
Ilustración 7. Zona de estudio.	41
Ilustración 8. Comparación entre el gasto medido en la cuenca 12371 y los mejores modelos por las pruebas de bondad de ajuste EEA y MAPE.	44
Ilustración 9. Comparación entre las pruebas EEA y MAPE en un periodo de retorno menor a 100 años en la cuenca 12371.	45
Ilustración 10. Comparación entre las pruebas EEA y MAPE en periodos de retorno de mismo tamaño en la cuenca 12371.	46
Ilustración 11. MAPE promedio para diferentes tipos de cuencas.	52
Ilustración 12. Mejor modelo por la prueba de bondad EEA.	55
Ilustración 13. Mejor modelo por la prueba MAPE.	55
Ilustración 14. Sensibilidad variando pendiente por Taylor-Schwarz, método racional y C_e constante.	56
Ilustración 15. Sensibilidad variando pendiente por Taylor-Schwarz, método racional y CN constante.	57
Ilustración 16. Sensibilidad variando pendiente por áreas compensadas, método racional y C_e constante.	58
Ilustración 17. Sensibilidad variando pendiente por áreas compensadas, método racional y CN constante.	59
Ilustración 18. Sensibilidad variando coeficiente de escurrimiento, método racional y pendiente Taylor-Schwarz constante.	60
Ilustración 19. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método racional y pendiente por áreas compensadas constante.	61
Ilustración 20. Sensibilidad variando los números de escurrimientos, método racional y pendiente por Taylor-Schwarz constante.	62
Ilustración 21. Sensibilidad variando los números de escurrimientos, método racional y pendiente por áreas compensadas constante.	63
Ilustración 22. Sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.	64
Ilustración 23. Sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz, método hidrograma unitario triangular y CN constante.	65
Ilustración 24. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.	65
Ilustración 25. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.	66
Ilustración 26. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante.	66
Ilustración 27. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por áreas compensadas constante. ...	67

Ilustración 28. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante.....	67
Ilustración 29. Sensibilidad ante la variación de los números de escurrimiento. Hidrograma Unitario Triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante en cuencas pequeñas.	68
Ilustración 30. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por áreas compensadas constante. ...	69
Ilustración 31. Sensibilidad variando la pendiente de Taylor-Schwarz, método de Chow y coeficiente de escurrimiento constante.	70
Ilustración 32. Sensibilidad variando la pendiente de Taylor-Schwarz, método de Chow y números de escurrimientos constante.....	70
Ilustración 33. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método de Chow y coeficiente de escurrimiento constante.	71
Ilustración 34. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método de Chow y números de escurrimiento constante.....	71
Ilustración 35. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método de Chow y pendiente por Taylor-Schwarz constante.	72
Ilustración 36. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método de Chow y pendiente por áreas compensadas constante.....	72
Ilustración 37. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método de Chow y pendiente por Taylor-Schwarz constante.	73
Ilustración 38. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método de Chow y pendiente por áreas compensadas constante.....	73
Ilustración 39. Sensibilidad variando el coeficiente añadido del modelo HUT, con pendiente de Taylor-Schwarz y Ce.	74
Ilustración 40. Sensibilidad variando el coeficiente añadido del modelo Racional, con pendiente de Taylor-Schwarz y Ce.	75

HIPOTESIS

Se plantean las siguientes hipótesis:

- Para diferentes tamaños de cuenca y periodo de retorno hay un modelo lluvia-escurrimiento de parámetros condensados que da menores errores comparándolo con los gastos hidrométricos medidos.
- Un análisis de sensibilidad con un coeficiente agregado a los modelos lluvia-escurrimiento permite la estimación del error del uso de estos modelos, así como el coeficiente más favorable que reduce al mínimo el error.
- Un análisis de sensibilidad en los parámetros condensados de la cuenca permite seleccionar los mejores parámetros que reducen los errores comparándolos con los gastos hidrométricos medidos.

OBJETIVOS

Para tener herramientas para desarrollar la discusión de las hipótesis se plantean los siguientes objetivos:

- Describir la relación entre los gastos hidrométricos medidos y las propiedades morfológicas de la cuenca mediante una correlación.
- Encontrar la frecuencia en que cada modelo tiene el mejor ajuste, para diferentes tamaños de cuenca y periodo de retorno.
- Hacer un análisis de sensibilidad a los gastos hidrométricos estimados mediante los modelos lluvia-escurrimiento variando los parámetros condensados obtenibles de la morfología de la cuenca.
- Hacer un análisis de sensibilidad a un coeficiente agregado a los modelos lluvia-escurrimiento.

METODOLOGIA

Para cumplir con nuestros objetivos es necesario estar realizando muchas operaciones y generando muchos datos, por lo que es más sencillo guardar los datos fijos en una base de datos y empezar a realizar las operaciones a partir de ahí.

La principal herramienta para comparar los gastos estimados con los gastos hidrométricos es la prueba de bondad de ajuste MAPE (mean absolute percentage error o porcentaje del error medio absoluto) ya que está normalizada y es adimensional, por lo que en la mayoría de operaciones será nuestra variable dependiente. El porcentaje de error medio MAPE encuentra la diferencia entre el valor estimado y el valor real, el valor real serán los gastos hidrométricos ya que tienen la menor incertidumbre por ser estimados con datos reales medidos directamente, éstos estarán fijos en la base de datos porque serán usados continuamente.

En la Ilustración 1, se muestra la metodología general para cumplir con los objetivos de este trabajo que se detallará a continuación.

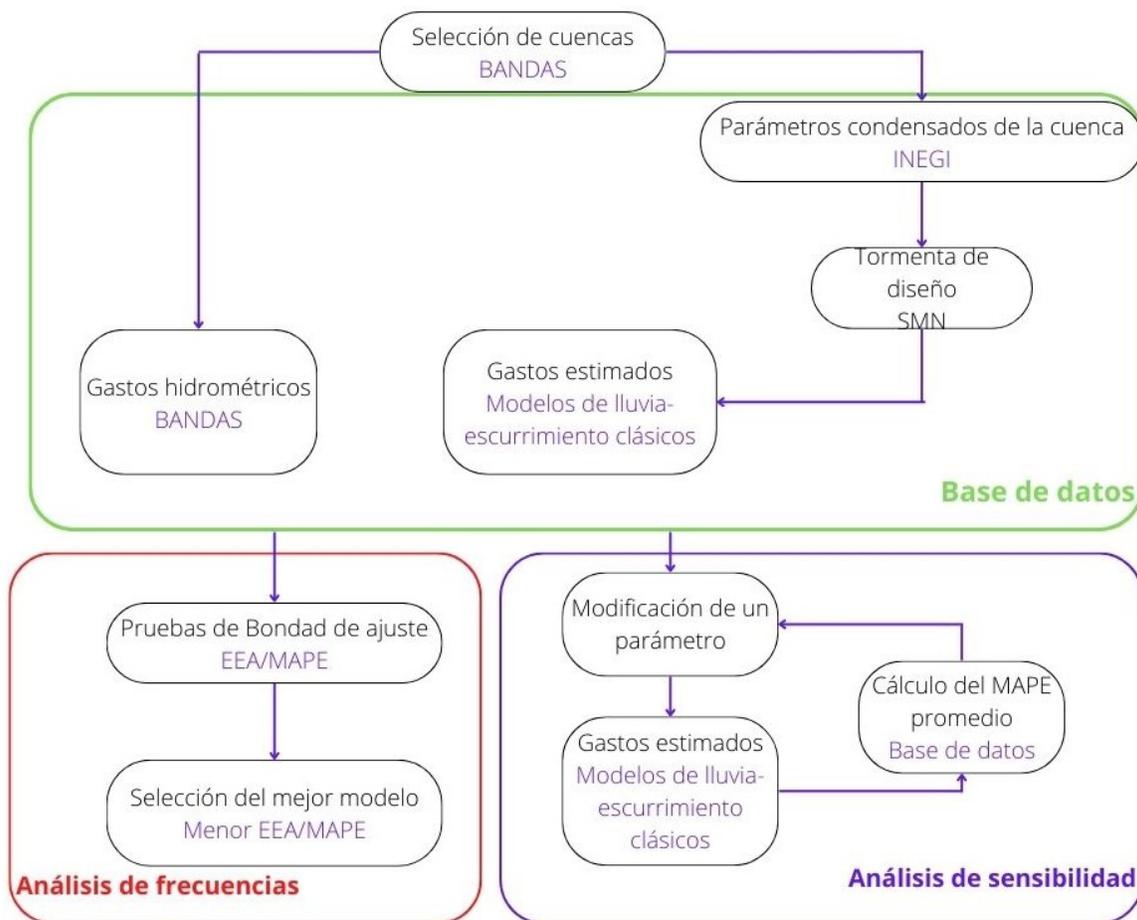


Ilustración 1. Metodología general de la investigación

Selección de cuencas

Para reducir la incertidumbre es necesario tener suficiente información de calidad, por lo que el criterio para seleccionar las cuencas del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) es que tengan una serie de datos hidrométricos mayor a 30 años de registro, tamaños de cuenca entre 25 y 1,000 kilómetros cuadrados y, para garantizar la independencia de la serie, la estación hidrométrica debe estar alejada de las presas hidroeléctricas.

Se realizaron la mayor cantidad de cuencas posibles para tener la menor incertidumbre, fueron cincuenta cuencas de diversos tamaños y distribuidas en el país.

Gastos hidrométricos

Se obtienen los estadísticos (media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y curtosis) de la serie de datos hidrométricos (gastos máximos anuales) de la estación elegida del BANDAS, y a esta serie se le aplican las distribuciones de probabilidad, se elige la de menor error estándar (se aplican la exponencial, Normal, Log normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Log Pearson Tipo III, Gumbel, GVE, Gumbel de dos poblaciones, GVE de dos poblaciones, Gumbel-GVE de dos poblaciones).

Gastos estimados

La información necesaria de la fisiografía de la cuenca se obtiene del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Los usos del suelo y la edafología se obtienen directamente del INEGI, mientras que la pendiente, cauce principal, parteaguas, red hídrica entre otros, se obtiene de los modelos digitales de elevaciones del INEGI. Para agilizar la obtención de estos datos se utilizó un programa tipo GIS (Programas informáticos orientados a los datos geográficos).

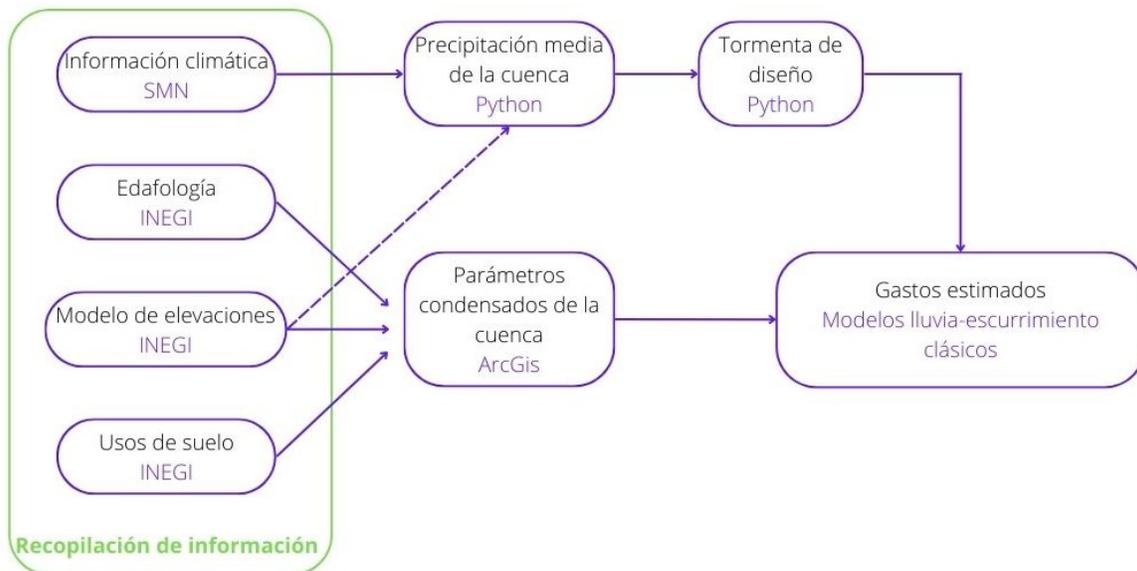


Ilustración 2. Proceso para la obtención de los gastos estimados.

La información climática se obtiene del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), se escogen las estaciones climáticas dentro y alrededor de la cuenca, en ArcGis se delimitan los polígonos de Thiessen para asignarles el peso a cada estación, en Python se multiplica la precipitación por el peso de cada estación, cada día de cada año para formar la serie de precipitaciones de la cuenca. Se toman los máximos de cada año.

Se le aplican las distribuciones de probabilidad a la serie de precipitaciones y se elige la de menor error estándar (se aplican la exponencial, Normal, Log normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Log Pearson Tipo III, Gumbel, GVE, Gumbel de dos poblaciones, GVE de dos poblaciones, Gumbel-GVE de dos poblaciones).

Se utiliza aproximaciones para obtener la intensidad correspondiente al tiempo de concentración a diferentes periodos de retorno.

Los parámetros condensados y la tormenta de diseño se emplean para alimentar los modelos lluvia-escurrimiento clásicos.

Selección del mejor modelo

Para cada modelo con sus diferentes parámetros se le aplican pruebas de bondad de ajuste, el error estándar de ajuste (EEA) y el MAPE. Se selecciona el mejor para cada periodo de retorno, agrupándolos por diferentes tamaños de cuenca. Se obtienen la frecuencia y porcentaje de victorias de cada modelo para establecer el mejor.

Análisis de sensibilidad

Para el análisis de la sensibilidad se tomará el MAPE promedio como la variable dependiente para diferentes grupos de tamaño de cuenca.

La variable independiente se escoge de entre los parámetros condensados, uno a la vez mientras las demás se mantienen fijas (variables de control). La variable independiente variará de 1.2 a 0.5 veces el valor original para ver cómo responde el MAPE promedio.

Los parámetros condensados que se varían son los que se pueden obtener de la fisiografía con distintos métodos, estos son: la pendiente media de la cuenca que puede ser obtenida compensando sus áreas y por el método de Taylor-Schwarz, este parámetro afecta en el tiempo de concentración, tiempo pico, intensidad de la precipitación y, por ello, afecta indirectamente a los gastos estimados; infiltración por el coeficiente de escurrimiento y por los números de escurrimientos, este parámetro afecta directamente a los gastos estimados ya que está contemplado en los modelos lluvia-escurrimiento. Con cuatro parámetros condensados y tres modelos clásicos tenemos, en total, doce combinaciones posibles.

Cuando se hace una variación en algún parámetro es necesario volver a calcular los gastos estimados por los modelos lluvia-escurrimiento para las 50 cuencas y para cada periodo de retorno, se obtiene el error MAPE y se promedian por grupos de tamaño de cuenca.

MARCO TEÓRICO

PROPIEDADES FIOGRÁFICAS DE LA CUENCA

Área Drenada

Es la superficie medida en km² y delimitada en proyección horizontal por el parteaguas, y tiene como punto de salida una estación de aforo o un sitio de interés.

La clasificación por área de la cuenca (Campos Aranda, 1998) es:

Área (km ²)	Descripción
25	Muy pequeña
25-250	Pequeña
250-500	Intermedia pequeña
500-2500	Intermedia grande
2500-5000	Grande
>5000	Muy grande

Tabla 1. Clasificación de las cuencas por su tamaño

Parteaguas

Es la línea imaginaria formada por los puntos de mayor elevación topográfica y la separa de las cuencas vecinas.

En ocasiones será necesario dividir una cuenca de gran tamaño en sub-áreas o sub-cuencas, las cuales están a su vez delimitadas por sus respectivos parteaguas.

Coordenadas del Centroides de la cuenca

Lugar donde se supone se concentra la tormenta empleando un modelo lluvia-escurrimiento. Se puede encontrar con las siguientes ecuaciones:

$$X_c = \frac{x_1 A_1 + x_2 A_2 + \dots + x_n A_n}{A}$$

$$Y_c = \frac{Y_1 A_1 + Y_2 A_2 + \dots + Y_n A_n}{A}$$

Parámetro de forma

Fue propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la estación.

$$m_p = 0.282 \frac{L_p}{\sqrt{A}}$$

L_p longitud del parteaguas en km.

A área drenada de la cuenca en km².

Su clasificación es:

m_p	Forma de la cuenca
1 – 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 – 1.5	De oval redonda a oval oblonga
1.5 – 1.75	De oval oblonga a rectangular

Tabla 2. Clasificación de las cuencas por su forma

Pendiente media de la cuenca por el método de Alvord

Analiza la pendiente que existe entre curvas de nivel

$$s_c = \frac{dL}{A}$$

A área de la cuenca [km²]

d desnivel constante entre curvas de nivel [km]

L longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca [km]

Curva hipsométrica

Representa en las ordenadas las distintas cotas de altura de la cuenca [msnm] o la altura relativa, y en las abscisas la superficie que se halla por encima de dichas cotas [km²] o en porcentaje.

$$R_h = \frac{S_s}{S_i}$$

R_h Relación hipsométrica

S_s Área sobre la curva hipsométrica

S_i Área bajo la curva hipsométrica

Elevación media de la cuenca

Equivale a la cota correspondiente al 50% del área de la cuenca, obtenida de la curva hipsométrica.

Densidad de drenaje

$$D_d = \frac{L_{TC}}{A}$$

L_{TC} longitud total de las corrientes

Su clasificación es la siguiente:

D_d	Características
0-1	Drenaje regular
1-1.5	Drenaje normal
>1.5	Buen drenaje

Tabla 3. Clasificación de las cuencas por su drenaje.

Pendiente Media del Cauce principal

Por áreas compensadas

Consiste en trazar una línea recta que pase por el extremo de la corriente aguas abajo, se busca que el área entre esta recta y el perfil encima de la recta se compense con el área de la recta y el perfil debajo de la recta.

$$s_{cp} = \frac{2A_p}{L_{cp}^2}$$

A_p área entre el perfil del cauce principal y la elevación aguas abajo.

L_{cp} longitud del cauce principal

Por Taylor-Schwarz

$$s_{cp} = \left[\frac{L_{cp}}{\frac{L_1}{\sqrt{s_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{s_2}} + \dots + \frac{L_m}{\sqrt{s_m}}} \right]^2$$

s_{cp} pendiente media del cauce principal

L_{cp} longitud del cauce principal

m número de segmentos en que se divide el cauce principal

s_i pendiente de cada segmento

L_i longitud de cada segmento

Una clasificación es la propuesta en (Campos Aranda, 1998).

s_{cp} [%]	Tipo
<2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Escarpado accidentado

50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Tabla 4. Clasificación de las cuencas por su pendiente.

Tiempo de concentración con fórmula de Kirpich

$$t_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

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

O también

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

Donde t_c es el tiempo de concentración en horas.

ANÁLISIS DE DATOS DE PRECIPITACIÓN

En general, la altura de lluvia que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Las estaciones climatológicas registran la lluvia puntual, es decir, la que se produce en el punto en que está instalado el aparato y, para los cálculos ingenieriles, es necesario conocer la lluvia media en una zona dada, como puede ser una cuenca.

Para calcular la lluvia media hay varios métodos, pero aquí se prefirió el siguiente

PRECIPITACIÓN MEDIA – POLÍGONOS DE THIESSEN

El criterio de los polígonos de Thiessen consiste en la obtención del área de influencia que posee cada estación para obtener la precipitación media por medio de una ponderación.

El área de influencia se delimita por medio de las mediatrices de cada segmento de recta que unen las estaciones pluviométricas entre sí. Cabe mencionar que las áreas de influencias que se usan para el cálculo de la precipitación media en una cuenca es la intersección de las áreas delimitadas y la cuenca en sí.

Con este criterio se hace la suposición de que el área de influencia es la misma para cada tormenta, por lo que este criterio hace sencillo los cálculos cuando se quiere encontrar la precipitación media de gran cantidad de tormentas.

$$\overline{hp} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i hp_i$$

Donde A_i es el área de influencia de la estación i y A_T es el área total de la cuenca.

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Las lluvias máximas anuales para duración de 24 horas de todas las cuencas se ajustaron a las distribuciones de frecuencia exponencial, Normal, Log normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Log Pearson Tipo III, Gumbel, GVE, Gumbel de dos poblaciones, GVE de dos poblaciones, Gumbel-GVE de dos poblaciones para su extrapolación de los diferentes periodos de retorno; se comparaba y seleccionaba el mínimo error estándar de ajuste (EEA).

Para la estimación de los parámetros de las distribuciones de probabilidad se emplearon los métodos de momento, momentos-L, máxima entropía y máxima verosimilitud descritos en (Técnicas estadísticas en hidrología, 2002).

RELACIÓN ENTRE LAS PRECIPITACIONES DE DIFERENTES DURACIONES

El diseño de una obra hidráulica está asociado a la ocurrencia de un evento hidrológico de cierto periodo de retorno. La estimación de dicho evento depende de la información disponible en el sitio que se está analizando.

La construcción de las curvas i-d-T se realiza de acuerdo con la fuente de información disponible, ya sea pluviográfica o pluviométrica. El segundo caso es el más común en México, ya que sólo el 13% de las estaciones climatológicas cuenta con pluviógrafo, por lo que hace necesario conocer la relación entre las precipitaciones medidas de 24 horas con las precipitaciones de otras duraciones.

Bell en 1969 empieza a plantear la ecuación que relaciona las precipitaciones de diferentes periodos de retorno con la precipitación de 10 años de periodo de retorno en base a estudios previos realizados por el U.S. Weather Bureau (USWB), que es:

$$\frac{hp_T^d}{hp_{T=10 \text{ años}}^d} = 0.2 \ln T + 0.52, \quad 0 \leq T \leq 100$$

Donde:

T es el periodo de retorno, en años.

d es la duración, en minutos.

hp_T^d es la precipitación para una duración d y un periodo de retorno T , en mm.

También planteó la ecuación que relaciona las precipitaciones de diferentes duraciones con la precipitación de una hora, que es:

$$\frac{hp_T^d}{hp_{T=60 \text{ min}}^d} = 0.54d^{0.25} - 0.50, \quad 5 \leq d \leq 120$$

Donde:

$hp_{T=60 \text{ min}}^d$ es la precipitación para una duración de una hora y un periodo de retorno T , en mm.

Combinando ambas ecuaciones tenemos una ecuación que relaciona la precipitación de duración d con la precipitación de una hora, para diferentes periodos de retorno.

$$hp_T^d = (0.2 \ln T + 0.52)(0.54d^{0.25} - 0.50)hp_{T=10 \text{ años}}^{d=60 \text{ min}}$$

Con los dominios d y T ya mencionados.

Posteriormente Chen en 1983 propone una ecuación para la precipitación para una duración d y un periodo de retorno T , en base a los estudios realizados por el USWB en el Paper No. 40 (TP 40).

$$hp_T^d = \frac{ahp_{T=10 \text{ años}}^{d=60 \text{ min}} \log(10^{2-x} T^{x-1})}{(d+b)^c} \left(\frac{d}{60}\right)$$

Que es válida para $T \geq 1$ año y $5 \text{ min} \leq d \leq 24 \text{ horas}$.

T es el periodo de retorno, en años.

d es la duración, en minutos.

hp_T^d es la precipitación para una duración d y un periodo de retorno T , en mm.

“ x ” es el cociente de altura de lluvia-frecuencia.

$$x = \frac{hp_{T=100 \text{ años}}^d}{hp_{T=10 \text{ años}}^d}$$

a , b y c son los parámetros de la tormenta que pueden variar según el factor de convectividad “ R ” en los monogramas presentados por Chen.

$$R = \frac{hp_T^{d=60 \text{ min}}}{hp_T^{d=1440 \text{ min}}}$$

Regionalización del factor de convectividad en México

Varios trabajos en México han realizado estudios de regionalización. Mendoza en el 2001 dejó documentado sus resultados en un mapa con los valores regionales del factor de convectividad que, posteriormente, Baez en el 2007 refinó en varias áreas. El mapa se muestra a continuación:

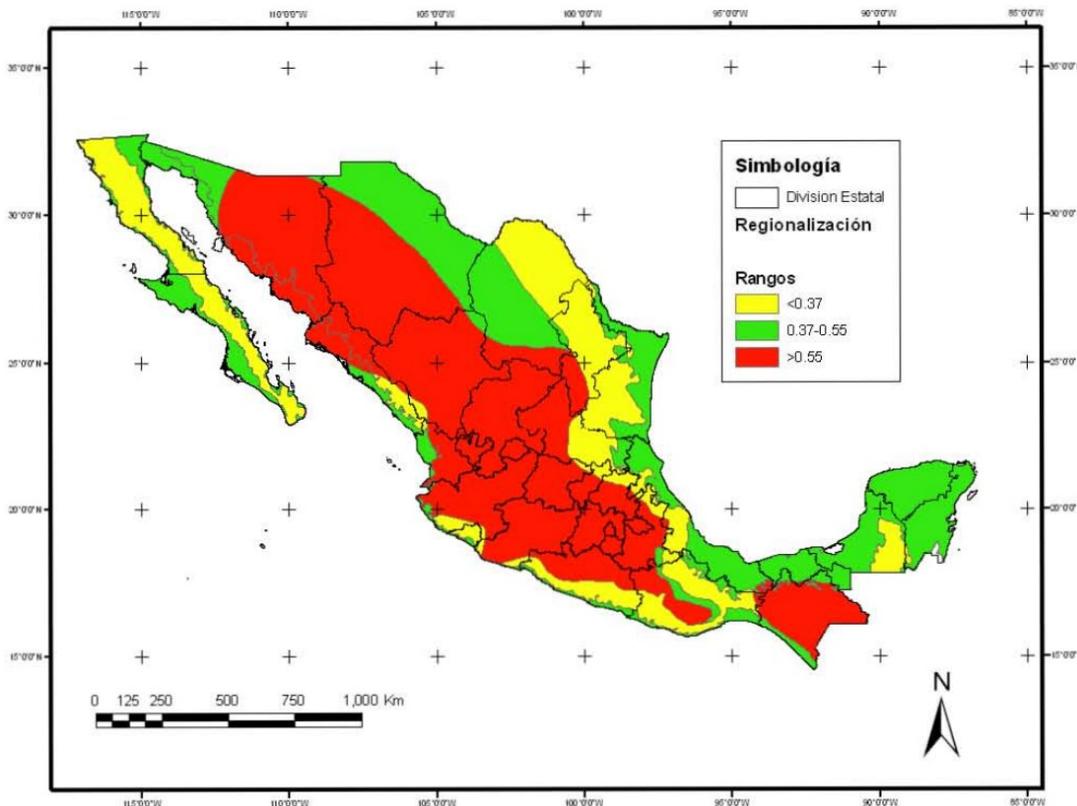


Ilustración 3. Regionalización del factor de convectividad R .

Con los valores del factor de convectividad regionalizados podemos encontrar la relación entre las precipitaciones de duración d y un periodo de retorno T y las precipitaciones de duración de una hora y un periodo de retorno T , de la siguiente manera:

$$\frac{hp_T^d}{hp_T^{d=60 \text{ min}}} = K_d$$

Al sustituir la ecuación del factor de convectividad tenemos:

$$hp_T^d = (K_d)(R)hp_T^{d=1440 \text{ min}}$$

Esta ecuación resulta muy útil debido a que la información de las estaciones climatológicas son las precipitaciones de 24 horas (1440 minutos).

Luna en el 2013 adaptó los valores K_d en función del factor de convectividad R y la duración de la precipitación d en una tabla que se muestra a continuación:

d (min)	d (hr)	K_d en función del factor de convectividad y duración de la precipitación							
		$R=0.10$	$R=0.20$	$R=0.30$	$R=0.40$	$R=0.45$	$R=0.50$	$R=0.60$	$R=0.65$
10	0.17	0.293	0.39	0.432	0.454	0.462	0.469	0.481	0.487
15	0.25	0.38	0.485	0.536	0.565	0.575	0.584	0.6	0.608
30	0.5	0.612	0.699	0.745	0.773	0.79	0.793	0.809	0.816
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1
90	1.5	1.378	1.248	1.185	1.146	1.13	1.119	1.097	1.088
120	2	1.646	1.424	1.317	1.25	1.22	1.203	1.166	1.151
150	2.5	1.934	1.595	1.435	1.337	1.3	1.268	1.215	1.193
180	3	2.207	1.75	1.538	1.41	1.35	1.322	1.254	1.226
210	3.5	2.468	1.892	1.631	1.475	1.41	1.367	1.286	1.253
240	4	2.719	2.024	1.715	1.532	1.45	1.407	1.314	1.275
270	4.5	2.961	2.148	1.793	1.584	1.508	1.443	1.337	1.294
300	5	3.196	2.266	1.865	1.631	1.547	1.475	1.358	1.311
360	6	3.649	2.485	1.997	1.716	1.616	1.531	1.395	1.339
420	7	4.081	2.686	2.115	1.791	1.676	1.579	1.425	1.362
480	8	4.497	2.874	2.223	1.858	1.73	1.621	1.451	1.382
540	9	4.899	3.05	2.322	1.919	1.778	1.659	1.474	1.399
600	10	5.289	3.216	2.414	1.975	1.822	1.694	1.494	1.415
660	11	5.669	3.375	2.501	2.026	1.862	1.725	1.513	1.429
720	12	6.039	3.527	2.582	2.074	1.9	1.754	1.53	1.441
840	14	6.756	3.812	2.734	2.162	1.968	1.807	1.56	1.463
960	16	7.445	4.078	2.872	2.241	2.029	1.853	1.586	1.482
1080	18	8.112	4.328	2.999	2.313	2.084	1.895	1.609	1.499
1200	20	8.758	4.564	3.117	2.379	2.134	1.933	1.63	1.513
1320	22	9.388	4.789	3.228	2.441	2.18	1.968	1.649	1.527
1440	24	10.001	5.004	3.333	2.498	2.223	2	1.667	1.539

Tabla 5. Valores K en función del factor de convectividad y duración.

INFILTRACIÓN

La infiltración se define como el movimiento del agua, a través de la superficie del suelo y hacia adentro del mismo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares.

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas. En general, las pérdidas están constituidas por la intercepción en el follaje de las plantas y en los techos de las construcciones, la retención en depresiones o charcos (que posteriormente se evapora o se infiltra), la evaporación y la infiltración.

Para hablar del proceso de infiltración supóngase que, al inicio de una tormenta, el suelo está seco de tal manera que la cantidad de agua que puede absorber en la unidad de tiempo (es decir, su capacidad de infiltración) es mayor que la intensidad de la lluvia en esos primeros instantes de la tormenta. Bajo estas condiciones, se infiltraría toda la lluvia, es decir:

Si $i < f_p$ entonces $f = i$ donde f es la infiltración, expresada como lámina por unidad de tiempo, f_p es la capacidad de infiltración en las mismas unidades e i es la intensidad de lluvia.

Al avanzar el tiempo, si la lluvia es suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que su superficie alcanza la saturación. En este momento se empiezan a llenar las depresiones del terreno, es decir, se originan charcos y comienza a producir flujo sobre la superficie.

FACTORES QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

En el proceso de infiltración intervienen muchos factores, entre los que destacan:

- Textura del suelo
- Contenido de humedad inicial
- Contenido de humedad de saturación
- Cobertura vegetal
- Uso del suelo
- Aire atrapado
- Lavado de material fino
- Compactación
- Temperatura, sus cambios y diferencias

MÉTODOS EMPÍRICOS

Si se tienen mediciones simultáneas de lluvia y volumen de escurrimiento en una cuenca, las pérdidas se pueden calcular, de acuerdo a su definición, como:

$$V_p = V_{ll} - V_{ed}$$

Donde V_p es el volumen de pérdidas, V_{ll} es el volumen de agua precipitado de la lluvia y V_{ed} es el volumen del escurrimiento directo.

Si ambos miembros de la ecuación anterior se dividen entre el área de la cuenca se obtiene:

$$F = I - R$$

Donde F es la infiltración o lámina de pérdidas acumulada, I es la altura de lluvia acumulada y R es el escurrimiento directo acumulado.

Y si a su vez se deriva la ecuación con respecto al tiempo se tiene:

$$f = i - r$$

Donde r es la lámina de escurrimiento directo por unidad de tiempo.

CRITERIO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Este criterio hace la suposición de que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la lluvia, esto es:

$$r = C_e \cdot i$$

Donde la constante de proporcionalidad C_e , adimensional, se denomina como coeficiente de escurrimiento. Otra manera de escribirlo es:

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{ll}} = \frac{hp_e}{hp}$$

Donde hp_e es la altura de lluvia en exceso o efectiva.

Para determinar el coeficiente de escurrimiento se requiere del conocimiento de la permeabilidad de la cuenca, la cual depende de las características de la misma, del uso del suelo, tipo de edificación, pavimentación, zonas con jardines, etc.

En este trabajo se emplea la tabla que propone Chow en 1988 debido a que tiene diferentes valores para diferentes periodos de retorno.

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	0.9	0.95	1
	Concreto/techo	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
	Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
	Condición pobre (Cubierta de pasto menor del 50% del área)							
	Plano 0%<s<2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
	Promedio 2%<s<7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
	Alto s>7%	0.4	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%<s<2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
	Promedio 2%<s<7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
	Alto s>7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
	Condición buena (Cubierta de pasto mayor al 75% del área)							
	Plano 0%<s<2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
	Promedio 2%<s<7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
	Alto s>7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas	Área de cultivos							
	Plano 0%<s<2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
	Promedio 2%<s<7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
	Alto s>7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
	Pastizales							
	Plano 0%<s<2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
	Promedio 2%<s<7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.5
	Alto s>7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
	Bosques							
	Plano 0%<s<2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
	Promedio 2%<s<7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
	Alto s>7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tabla 6. Coeficientes de escurrimiento para diferentes condiciones de uso de suelo y pendiente.

MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

El método de los números de escurrimientos, propuesto por el U. S. Natural Resources Conservation Service antes U. S. Soil Conservation Service, tiene la característica que la altura de lluvia total hp se relaciona con la altura de lluvia efectiva hp_e .

Esta relación se puede expresar algebraicamente mediante la ecuación (¿En qué unidades?):

$$hp_e = \frac{\left[hp - \frac{508}{CN} + 5.08\right]^2}{hp + \frac{2032}{CN} - 20.32}$$

Donde CN , es el número de escurrimiento que depende del tipo y textura de suelo, así como la cobertura vegetal presente en la cuenca.

El valor probable del coeficiente de escurrimiento cuando no se tienen datos de aforo, depende fundamentalmente de tres factores: la precipitación, el tipo y uso del suelo, así como la pendiente media de la cuenca, aspecto que a menudo no se toma en cuenta.

En lo que se refiere al tipo de suelo, su importancia radica a su mayor o menor permeabilidad. El uso del suelo (o cubierta) se refiere a los usos, a que son sometidos los mismos identificados en la cuenca, como la cobertura de bosque, cultivo o pastizales entre otros usos. Los números de escurrimientos se muestran en las siguientes tablas.

Tipo de suelo	Descripción
A	Arenas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo)
B	Arenas finas y limos
C	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
D	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

Tabla 7. Tipos hidrológicos de suelo.

Clave de Clasificación FAO	Suelos	Tipo Hidrológico de suelo	Permeabilidad	Propiedades
T	Andosoles	A	Muy Alta	Arenas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo)
Q	Arenosoles			
J	Fluvisoles			
O	Histosoles			
U	Ranker			
X, Y	Calcisoles (antes Xerosol X y Yermosol Y)	B	Buena	Arenas finas y limos
I, E	Leptosoles (antes Litosoles I y Rendizinas E)			
Z	Solonchaks			
D	Podzoles			
F	Ferralsoles			

R	Regosoles	C	Media	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
H	Feozems			
K	Kastanozems			
N	Nitsoles			
C	Chernozems	D	Baja	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)
-	Alisoles			
A	Acrisoles			
B	Cambisoles			
G	Gleysoles			
L	Luvisoles			
V	Vertisoles			
W	Planosoles			
S	Solonetz			
D	Podzoluvisoles			
-	Plintsoles			
-	Lixisoles			

Tabla 8. Tipo hidrológico de suelo de acuerdo a su clasificación por la FAO

Uso del suelo o cobertura	Número de curva, para el grupo hidrológico de suelo			
	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida), césped, espacios abiertos, parques, campos de golf, panteones, etc.				
Buena condición, cubierta de pasto el 75% o más del área	39	61	74	80
Condición regular, cubierta de pasto del 50 al 75% del área	49	69	79	84
Mala condición, cubierta de pasto menos del 50% del área	68	79	86	89
Lotes de estacionamiento pavimentados, techados, entrada de autos, etc.	98	98	98	98
Calles y caminos:				
Pavimentados con banquetas y drenaje de aguas pluviales	98	98	98	98
De grava	76	85	89	91
De terracería	72	82	87	89
Pavimentados con cunetas (porcentaje promedio de impermeabilidad)	83	89	92	93
Áreas comerciales y de negocios (85%)	89	92	94	95
Zonas industriales (72%)	81	88	91	93
Rancherías, pueblos y zonas urbanas con lotes de 500 m ² o menos (65%)	77	85	90	92
Residencial: tamaño promedio del lote y área impermeable (%)				
1000 m ²	38	61	75	83
1300 m ²	30	57	72	81
2000 m ²	25	54	70	80
4000 m ²	20	51	68	79
8000 m ²	12	46	65	77
Áreas urbanas en desarrollo (vegetación no establecida).	77	86	91	94

Cobertura			Número de curva para el grupo hidrológico de suelo			
Uso del suelo	Práctica de tratamiento	Condición hidrológica	A	B	C	D
Suelo agrícola cultivado						
Barbechado	-Hileras rectas		77	86	91	94
	-Cultivo de conservación	Mala Buena	76 74	85 83	90 88	93 90
Cultivos en hileras	-Hileras en línea recta	Mala Buena	72 67	81 78	88 85	91 89
	-Cultivo de conservación	Mala Buena	71 64	80 75	87 82	90 85
	-En contorno	Mala Buena	70 65	79 75	84 82	88 86
	-En contorno y cultivo de conserv.	Mala Buena	69 64	78 74	83 81	87 85
	-En contorno y terrazas	Mala Buena	66 62	74 71	80 78	82 81
	-En contorno y terrazas, cult. de conservación	Mala Buena	65 61	73 70	79 77	81 80
Granos pequeños	-Hileras en línea recta	Mala Buena	65 63	76 75	84 83	88 87
	-Cultivo de conservación	Mala Buena	64 60	75 72	83 80	86 84
	-En contorno	Mala Buena	63 61	74 73	82 81	85 84
	-En contorno y cultivo de conservación	Mala Buena	62 60	73 72	81 80	84 83
	-En contorno y terrazas	Mala Buena	61 59	72 70	79 78	82 81
	-En contorno y terrazas, cultivos de conservación	Mala Buena	60 58	71 69	78 77	81 80
Siembra densa leguminosas o praderas con rotación	-Hileras en línea recta	Mala Buena	66 58	77 72	85 81	89 85
	-Cultivo de conservación	Mala Buena	64 55	75 69	83 78	85 83
	-En contorno	Mala Buena	63 51	73 67	80 76	83 80

Cobertura			Número de curva para el grupo hidrológico de suelo			
Uso del suelo	Práctica de tratamiento	Condición hidrológica	A	B	C	D
Suelo agrícola no cultivado						
-Hierba o pasto	Sin tratamiento mecánico	Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	En contorno	Mala	47	67	81	88
		Regular	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
-Praderas			30	58	71	78
-Áreas forestales pastos o huertos, perennes o caducifolios		Mala	55	73	82	86
		Regular	44	65	76	82
		Buena	32	58	72	79
-Matorral, maleza		Mala	48	67	77	83
		Buena	20	48	65	73
-Bosques		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
-Granjas			59	74	82	86
-Forestal- pasto, herbáceas		Mala		79	86	92
		Regular		71	80	89
		Buena		61	74	84
-Robles-álamos		Mala		65	74	
		Regular		47	57	
		Buena		30	41	
-Enebro-pasto		Mala		72	83	
		Regular		58	73	
		Buena		41	61	

Tabla 9. Número de curva para diferentes tipos de suelo y coberturas.

Definición de "condición hidrológica":

Para suelos agrícolas

- Mala, tiene menos de 25% del terreno cubierto.
- Regular, tiene entre 25 y 50% del terreno cubierto.
- Buena, tiene más de 50% del terreno cubierto.

Para uso forestal

- Mala, tiene menos de 30% del terreno cubierto.

-Regular, tiene entre 30 y 70% del terreno cubierto.

-Buena, tiene más de 70% del terreno cubierto.

Para tomar en cuenta las condiciones iniciales de humedad del suelo, se hace una corrección al número de escurrimiento, según la precipitación acumulada cinco días antes de la fecha en cuestión, hp_5 , de la siguiente manera:

- Si $hp_5 < 2.5$ cm, hacer corrección A.
- Si $2.5 < hp_5 < 5$ cm, no hacer corrección.
- Si $hp_5 > 5$ cm, hacer la corrección B.

Se presenta la tabla de correcciones:

CN	Corrección A	Corrección B
--	-----	-----
10	0.40	2.22
20	0.45	1.85
30	0.50	1.67
40	0.55	1.50
50	0.62	1.40
60	0.67	1.30
70	0.73	1.21
80	0.79	1.14
90	0.87	1.07
100	1.00	1.00

Tabla 10. Corrección al número de curva para lluvias anteriores.

MODELOS LLUVIA-ESCURRIMIENTO

FÓRMULA RACIONAL

Este método se basa en considerar que, sobre el área en estudio A , se tiene una lluvia uniforme de intensidad i durante un cierto periodo de tiempo que normalmente se define como el tiempo de concentración, de forma que el escurrimiento directo se establece teniéndose así un gasto constante en la salida.

El gasto se obtendrá como:

$$Q = 0.278CiA$$

Donde Q es el gasto en m^3/s , C es el coeficiente de escurrimiento adimensional, i es la intensidad de la tormenta de diseño en mm/h y A es el área drenada en km^2 .

Cuando el gasto máximo es asociado a un periodo de retorno, la expresión puede describirse como:

$$\hat{Q}_T = 0.278C_T i_T^d A$$

Donde \hat{Q}_T es el gasto máximo para el periodo de retorno T establecido en m^3/s , C_T es el coeficiente de escurrimiento de la cuenca asociado al T establecido, adimensional, i_T^d es la intensidad de lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca o área drenada y un periodo de retorno T en mm/h y A es el área drenada en km^2 .

Aunque las expresiones anteriores solo son aplicables para áreas menores de 80 hectáreas, son muy utilizadas y prácticas en zonas urbanas.

MÉTODO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

El hidrograma unitario es el hidrograma de escurrimiento superficial total resultante del volumen unitario de lluvia efectiva, distribuido uniformemente en tiempo y espacio. La altura de lluvia neta corresponde con la altura de escurrimiento superficial total del hidrograma unitario.

Las principales hipótesis usadas por el hidrograma unitario son:

- a) Las variaciones estacionales en las características superficiales de la cuenca no se tienen en cuenta. Es decir que se considera que las precipitaciones antecedentes no influyen en la distribución en el tiempo del escurrimiento superficial (tiempo base) producido por una lluvia determinada.
- b) Para calcular el escurrimiento resultante producido por cualquier lluvia efectiva, diferente de una lluvia unitaria, se supone que el sistema es lineal e invariante en el tiempo.
- c) El hidrograma que resulta de un periodo de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de periodos lluviosos precedentes.

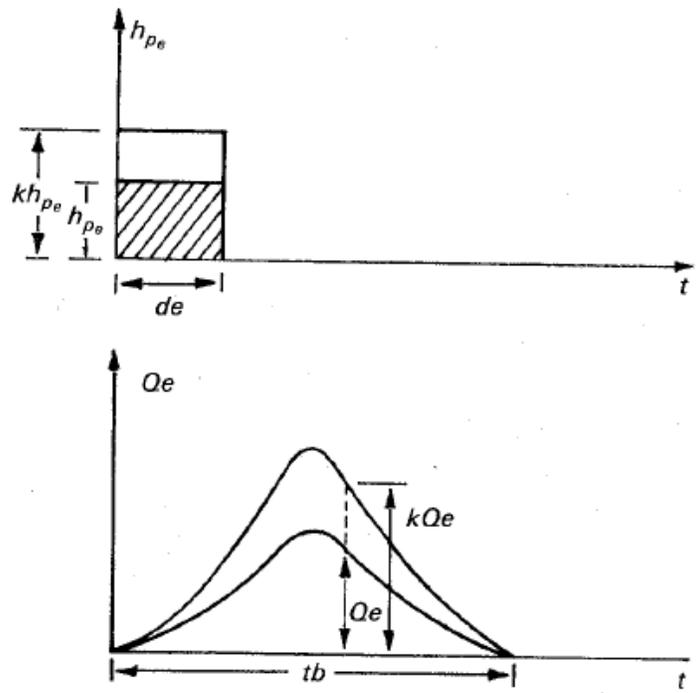


Ilustración 4. Linealidad entre las precipitaciones y los gastos.

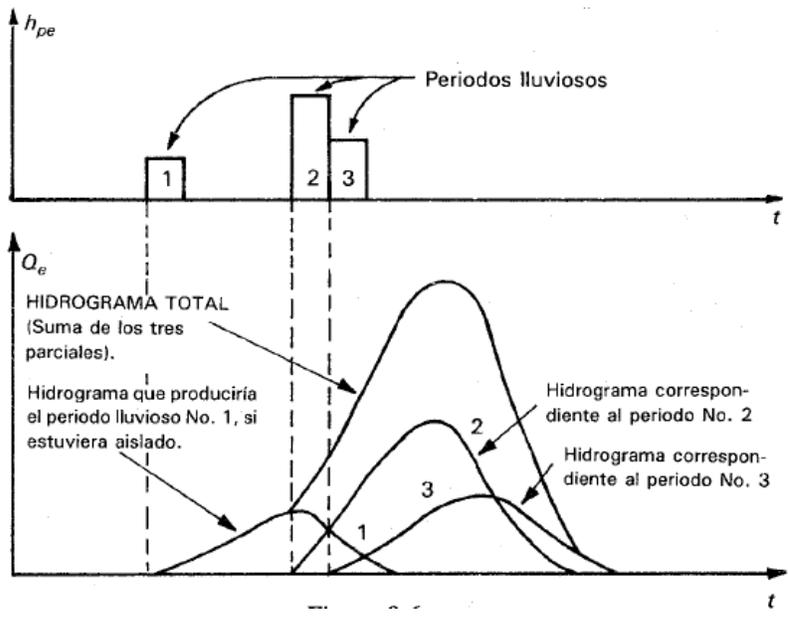


Ilustración 5. Superposición de causas y efectos.

Con estos principios Sherman introdujo el Hidrograma Unitario, el cual fue usado para el cálculo de los hidrogramas respectivos para el caso de cuencas no aforadas, el método seleccionado fue el propuesto por Mockus, esto es el Hidrograma Unitario Triangular, como a continuación se define.

El gasto de pico en $m^3/s/mm$, q_p que se calcula mediante la expresión siguiente:

$$q_p = \frac{0.208A_C}{t_p}$$

donde A_C es el área de la cuenca en estudio y t_p es el tiempo pico.

Mockus concluye, después de analizar varios hidrogramas, que el tiempo base y el tiempo pico están relacionados mediante las siguientes expresiones:

$$t_b = 2.67t_p$$

$$t_p = 1.1t_c \quad \text{Cuencas pequeñas}$$

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c \quad \text{Cuencas intermedias pequeñas y grandes}$$

Donde t_p es igual al tiempo pico y t_c es el tiempo de concentración.

Una vez obtenido el gasto de pico unitario se puede obtener el gasto total de entrada a cada cuenca en estudio, esto se determina por la expresión siguiente:

$$\hat{Q}_p^T = q_p \cdot hp_e^T$$

Donde \hat{Q}_p^T es igual al gasto pico total, q_p es igual al gasto pico unitario y hp_e^T es la precipitación efectiva.

METODO DE CHOW

El modelo propuesto por Ven Te Chow se basa en el concepto del hidrograma unitario y del sintético, es aplicable a una cuenca pequeña en la cual el escurrimiento es sensible a lluvias intensas y de corta duración. La cuenca pequeña puede variar desde unos cuantos kilómetros cuadrados de extensión hasta un límite que Chow considera de 250 km^2 . El escurrimiento está gobernado por tres tipos de factores: climatológicos, físicos y geométricos de la cuenca.

El primero incluye principalmente la lluvia y evapotranspiración. El segundo, se refiere a las características físicas de la cuenca y del cauce (infiltración) y el tercero, las geométricas como área, pendiente, etc.

Chow plantea que el gasto pico del escurrimiento directo de una cuenca por efecto de una lluvia, puede calcularse como el producto de lluvia en exceso por el gasto pico de un hidrograma unitario.

La relación del hidrograma unitario q_p a $2.78A_C/d_e$, se define como el factor Z de reducción del pico.

$$z = \frac{q_p \cdot d_e}{0.278 A_C}$$

De donde:

$$q_p = \frac{0.278 A_c Z}{d_e}$$

Por lo que tenemos:

$$\hat{Q}_p^T = \frac{0.278 A_c Z h p_e^T}{d_e}$$

La relación $h p_e / d_e$, se le denomina factor de escurrimiento X . En los casos en que se cuenta con la información climatológica adecuada, es decir; que se conoce la lluvia presentada en la cuenca en estudio en relación a la lluvia presentada a la estación en que se basa el arreglo probabilístico, el coeficiente 0.278 puede ser modificado por el factor Y , que es el cociente entre la lluvia presentada en la cuenca y la presentada o registrada en la estación base. Todo lo anterior para la misma duración de lluvia d_e .

El factor de reducción Z , es la relación entre el gasto pico de una hidrograma unitario debido a una lluvia de duración dada d_e y el escurrimiento de equilibrio, o sea, el escurrimiento de la misma intensidad de lluvia pero de duración infinita.

El valor Z se puede determinar como una función de relación entre la duración de la tormenta d_e y el tiempo de retraso, el cual se define como el intervalo de tiempo medido del centro de masa de un bloque de intensidad de lluvia, al pico resultante del hidrograma. Para un hidrograma unitario instantáneo, es decir, un hidrograma hipotético cuya duración de lluvia en exceso se aproxima a cero como un límite, mientras se mantiene fija la cantidad de lluvia en exceso igual a 1 cm, el tiempo de retraso es igual al tiempo pico de escurrimiento. El tiempo de retraso no corresponde exactamente al tiempo de concentración o sea el requerido por el escurrimiento superficial, para llegar de la parte más remota de la cuenca al punto de estudio. Para cuencas de gran tamaño y configuración de drenaje complejo, en algunos casos, el escurrimiento originado en la parte más remota de la cuenca, llegara tarde para contribuir al pico del flujo. Por lo que en general, el tiempo de retraso es menor que el tiempo de concentración para una cuenca grande. Para cuencas pequeñas y de configuración de drenaje sencillo, el tiempo de retraso se aproxima mucho al de concentración.

También se puede usar la relación t_c / t_r para encontrar este factor.

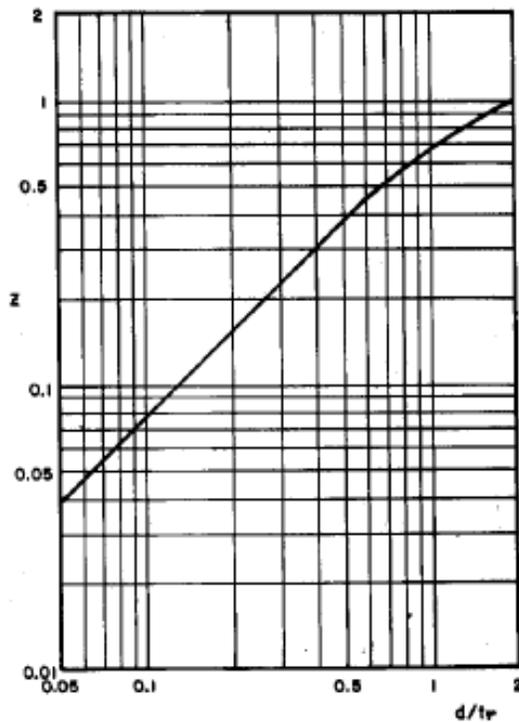


Ilustración 6. Factor de reducción de pico Z según Chow.

Para relaciones de d_e/t_r mayores a 2, Z se considera 1.

Chow para la zona de estudio encontró que el tiempo de retraso se puede calcular por:

$$t_r = 0.00505 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

PRUEBAS DE BONDAD Y AJUSTE

El propósito de las pruebas de bondad de ajuste es únicamente responder a la cuestión de si los datos se desvían una cantidad estadísticamente significativa respecto al modelo de predicción.

ERROR ESTÁNDAR (RMSE ROOT MEAN SQUARE ERROR O RAÍZ DEL ERROR MEDIO CUADRÁTICO)

Es un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos X_j^i para $i = 1, 2, \dots, n_j \dots j$.

$$EEA = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{X}_{j_i} - X_i^j)^2}{n - mp} \right]^{1/2}$$

\hat{X}_t^j = son los eventos ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado $T = \frac{n+1}{m}$ y una probabilidad de no excedencia $P = 1 - \frac{1}{T}$.

X_i^j = eventos registrados ordenados de mayor a menor asociado a un periodo de retorno asignada con la ecuación empírica de Weibull.

n = numero de la muestra.

m = número de orden de registro de muestra.

mp = número de parámetro de la distribución ajustada.

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo error estándar.

Para este estudio no se incluye la parte del denominador $(n - mp)$ debido a que el número de datos y parámetros es el mismo para todos los modelos. Quedando el indicador como sigue:

$$EEA = \left[\sum_{i=1}^n (\hat{X}_{j_i} - X_i^j)^2 \right]^{1/2}$$

MAPE (MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR O PORCENTAJE DEL ERROR MEDIO ABSOLUTO)

En estadística, el error absoluto medio es una medida de la diferencia entre dos variables continuas. Considerando dos series de datos (unos calculados y otros observados) relativos a un mismo fenómeno, el error absoluto medio sirve para cuantificar la precisión de una técnica de predicción comparando por ejemplo los valores predichos frente a los observados, el tiempo real frente al tiempo previsto, o una técnica de medición frente a otra técnica alternativa de medición.

Este estadístico se puede considerar la versión ponderada del MAE (Error Medio Absoluto), ya que cada error absoluto se divide entre su correspondiente valor registrado, y se expresa como:

$$MAPE = \frac{100\%}{n - mp} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

Donde: y_i son los valores registrados; \hat{y}_i son los valores estimados por el modelo utilizado; mp es número de parámetros del modelo, y n es el tamaño de muestra analizada.

Para este estudio no se incluye la parte de la fracción ($\frac{100\%}{n-mp}$) debido a que el número de datos y parámetros es el mismo para todos los modelos. Quedando el indicador como sigue:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$$

MARCO FÍSICO

Las cuencas nacionales que fueron elegidas por el tamaño de sus datos hidrométricos en el banco de datos BANDAS se encuentran distribuidas en todo el país, con una concentración mayor en la zona centro del país. Esto no representa que se haya hecho con intención de representar al centro de país, sino que ocurrió al tomar de forma aleatoria las cuencas y que, debido a que el centro del país al tener la mayor concentración de cuencas aforadas, se refleja en este trabajo también.

A continuación, se muestra gráficamente la ubicación de las 50 cuencas analizadas en este estudio:



Ilustración 7. Zona de estudio.

Se enlistan los nombres de las estaciones hidrométricas elegidas, así como sus datos de tamaño de cuenca y extensión del registro de datos hidrométricos, las coordenadas son las que se muestran en el BANDAS pero el área fue calculado por cuenta propia, n es la longitud de los datos hidrométricos que se utilizaron después de los depuración por puntos atípicos.

El resto de información, así como las coordenadas que se utilizaron en este trabajo se encuentran en el Anexo.

CLAVE	NOMBRE	<i>n</i>	\bar{Q}	AREA [KM ²]	TAMAÑO	LONGITUD	LATITUD
09068	TEZOCOMA	39	300.00	930.06	Intermedia grande	109°14'00"	27°41'00"
10034	ZOPILOTE	63	326.25	655.34	Intermedia grande	108°21'35"	25°44'30"
10057	BAMICORI	33	189.13	218.36	Pequeña	108°30'00"	26°22'30"
10083	EL QUELITE	36	451.63	824.26	Intermedia grande	106°29'00"	23°30'45"
11035	LA BALLONA	44	422.41	434.59	Intermedia pequeña	105°27'00"	22°32'00"
11070	LAS TORTUGAS	38	647.36	853.76	Intermedia grande	105°51'00"	23°05'45"
12224	CHIQUITO	53	38.06	74.02	Pequeña	101°11'25"	19°41'45"
12314	QUERENDARO	31	59.06	134.22	Pequeña	100°53'22"	19°48'42"
12355	AGOSTADERO	38	66.91	366.05	Intermedia pequeña	102°18'30"	21°21'50"
12371	VALLE DE GUADALUPE	45	81.79	326.67	Intermedia pequeña	102°36'35"	20°58'50"
12418	LOS CASTILLOS	50	36.32	100.62	Pequeña	101°40'45"	21°10'30"
12469	CUIXTLA	57	289.37	849.66	Intermedia grande	103°26'30"	21°03'05"
12499	LA PATIÑA	33	35.38	87.57	Pequeña	101°42'00"	21°10'30"
12535	CINCO SEÑORES	35	180.32	392.29	Intermedia pequeña	100°55'00"	20°57'30"
12556	CERRO BLANCO	34	129.51	159.60	Pequeña	104°34'22"	21°24'54"
12568	EL TEJOCOTE	41	33.54	176.49	Pequeña	99°54'37"	19°51'22"
12574	LOS VELAZQUEZ	35	16.30	36.33	Pequeña	99°52'00"	19°25'10"
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	34	31.93	166.93	Pequeña	99°52'05"	19°25'27"
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	42	16.20	168.25	Pequeña	99°42'35"	19°36'00"
13001	PASO DE AROCHA	45	143.40	504.42	Intermedia grande	105°04'30"	21°17'00"
13002	EL REFILION	47	214.38	186.03	Pequeña	104°54'00"	21°18'00"
15002	EL CHIFLON	45	368.96	359.69	Intermedia pequeña	104°33'30"	19°37'30"
15009	LA ZOPILOTA	41	28.37	97.87	Pequeña	104°29'30"	19°36'00"
15010	TECOMATES	42	52.40	154.77	Pequeña	104°30'00"	19°33'30"
16021	SAN GREGORIO	63	46.11	158.92	Pequeña	103°21'00"	19°50'00"
18193	YAUTEPEC	52	131.61	704.50	Intermedia grande	99°03'00"	18°53'45"
18225	CUAUTLA	47	178.49	306.12	Intermedia pequeña	99°57'00"	18°48'30"
18236	AHUEHUEPAN	52	143.63	448.96	Intermedia pequeña	99°38'45"	18°20'15"

18245	LOS SABINOS	43	107.92	575.37	Intermedia grande	99°40'00"	18°18'00"
18264	ZACATEPEC	45	293.29	637.81	Intermedia grande	99°11'45"	18°39'00"
18269	ALPUYECA	30	173.70	110.34	Pequeña	99°15'30"	18°44'00"
18271	TEMIXCO	48	128.43	362.30	Intermedia pequeña	99°13'15"	18°51'15"
18291	A-10 TEXCALTITLAN	33	23.83	91.73	Pequeña	99°56'30"	18°55'45"
18323	TETLAMA	37	93.79	67.20	Pequeña	99°16'45"	18°50'00"
18403	TLALCHAPA	33	144.40	135.11	Pequeña	100°29'10"	18°23'40"
18515	CUPATITZIO	32	61.20	247.19	Pequeña	102°03'36"	19°23'40"
19003	COYUQUILLA	47	242.85	549.60	Intermedia grande	101°03'30"	17°22'30"
19008	KM. 21 +000	39	328.50	296.18	Intermedia pequeña	99°47'35"	16°56'30"
19009	PETATLAN	39	357.66	461.11	Intermedia pequeña	101°17'00"	17°32'10"
22016	CHICAPA	56	293.21	417.59	Intermedia pequeña	94°48'30"	16°34'15"
22018	OSTUTA	55	434.42	439.45	Intermedia pequeña	94°26'15"	16°30'00"
22026	ZANATEPEC	51	192.04	237.84	Pequeña	94°22'00"	16°29'00"
23003	CAHUACAN	39	173.48	253.95	Intermedia pequeña	92°16'15"	14°43'00"
23008	HUIXTLA	38	272.41	362.62	Intermedia pequeña	92°28'00"	15°08'00"
23019	DESPOBLADO	36	251.41	277.27	Intermedia pequeña	92°34'00"	15°13'00"
25027	CAMACHO	57	327.24	370.00	Intermedia pequeña	99°34'30"	24°52'40"
25043	EL TOMASEÑO	46	138.94	397.15	Intermedia pequeña	99°26'10"	24°15'05"
26247	LAS ROSAS	40	82.75	305.16	Intermedia pequeña	99°20'52"	20°03'30"
26291	TANCUILIN	46	546.19	344.64	Intermedia pequeña	98°52'5"	21°23'5"
26309	SAN LUIS AMECA II	51	21.07	317.67	Intermedia pequeña	99°52'12"	19°11'02"

Tabla 11. Ubicación de las cuencas en estudio.

DISCUSIÓN

COMPARACIÓN ENTRE LAS PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

EEA – MAPE

La diferencia más importante entre las dos pruebas de bondad de ajuste es la ponderación que le dan a la diferencia entre valores medidos contra los observados en diferentes periodos de retorno. En el error estándar de ajuste (EEA) sólo se valora la diferencia entre los pesos de cada valor observado y medido, las mayores diferencias se encuentran en los periodos de retorno más grandes, por lo que esta prueba busca el modelo que mejor se ajuste a los periodos de retorno más grandes.

Mientras que el MAPE pondera por igual cada diferencia entre el valor medido y la predicción, al normalizarlo con el valor medido. Por lo que esta prueba es la que mejor se ajusta a la forma del evento observado y, al no tener unidades, es fácil usar para compararlas con las demás cuencas.

Se encontraron 13 cuencas en que el mejor modelo es diferente dependiendo que prueba de bondad de ajuste que se utilice, representado un 26% de la muestra total. Para el otro 74% de las cuencas analizadas el mejor modelo es el mismo por ambas pruebas.

Para ejemplificar las diferencias entre las pruebas de bondad de ajuste se grafican en la Ilustración 8 los gastos estimados del modelo ganador por cada prueba de bondad de ajuste en la cuenca 18371 – Valle de Guadalupe. El modelo con mejor error estándar de ajuste EEA es el modelo de Chow con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento, el modelo con menor porcentaje de error medio MAPE es el modelo del Hidrograma Unitario con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento.

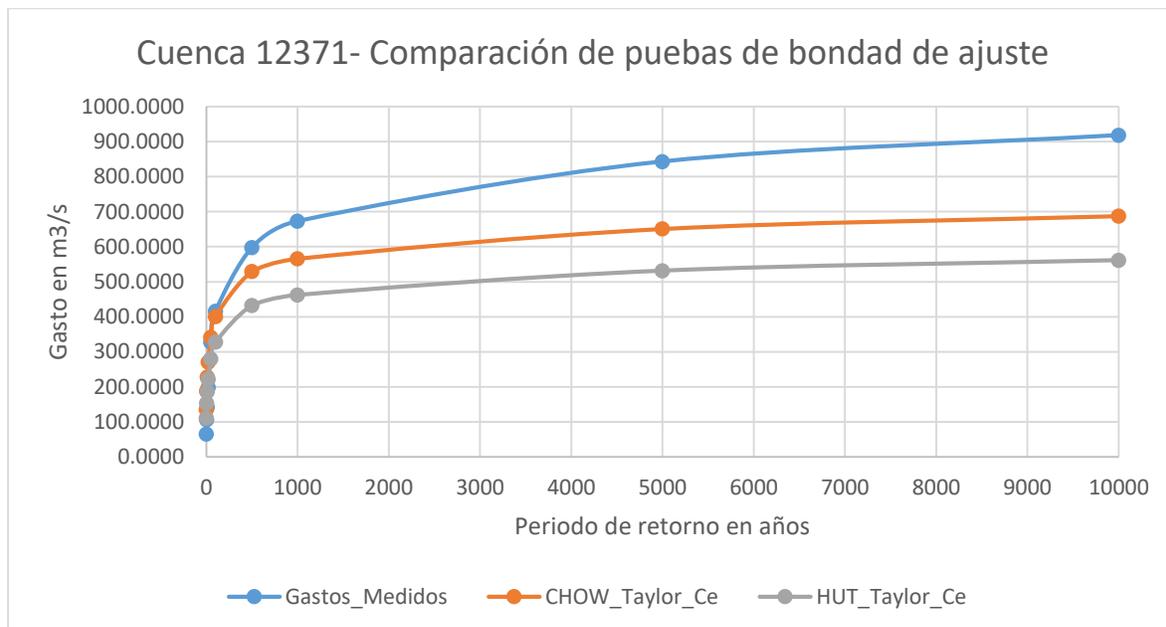


Ilustración 8. Comparación entre el gasto medido en la cuenca 12371 y los mejores modelos por las pruebas de bondad de ajuste EEA y MAPE.

Mostrando todos los periodos de retorno se puede ver que el mejor modelo por la prueba del error estándar EEA para la cuenca 12371 (modelo de Chow) se ajusta bien a los mayores periodos de retorno.

Ahora mostrando la misma gráfica, pero sólo hasta 100 años de periodo de retorno.

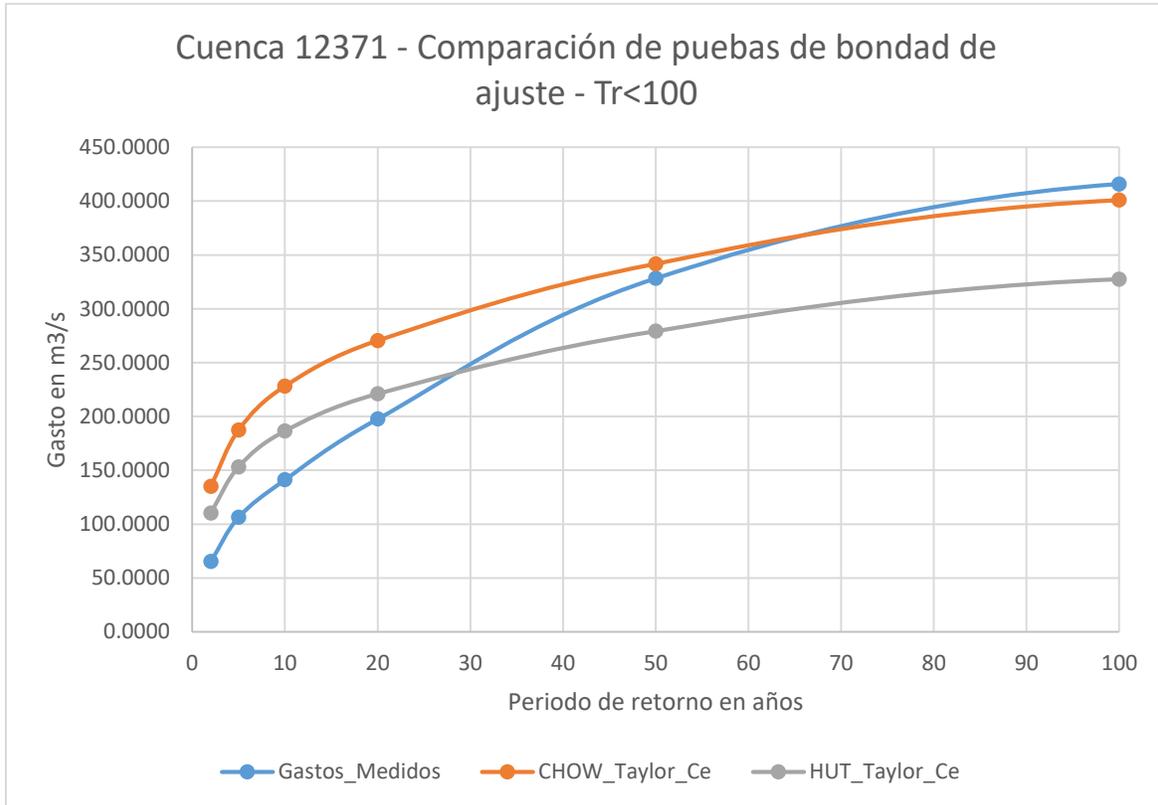


Ilustración 9. Comparación entre las pruebas EEA y MAPE en un periodo de retorno menor a 100 años en la cuenca 12371.

Se puede apreciar que el mejor modelo por la prueba MAPE para la cuenca 12371 (HUT) tiene mejor ajuste en los primeros años de retorno y, debido a que este estadístico le da el mismo peso a cada periodo de retorno, muestra como mejor ajuste un modelo con gran diferencia en los últimos periodos de retorno.

En la siguiente imagen se colocan los mismos datos que la Ilustración 8, pero en vez de poner el periodo de retorno en años se le asignara una posición de misma distancia para visualizarlo con el mismo peso.

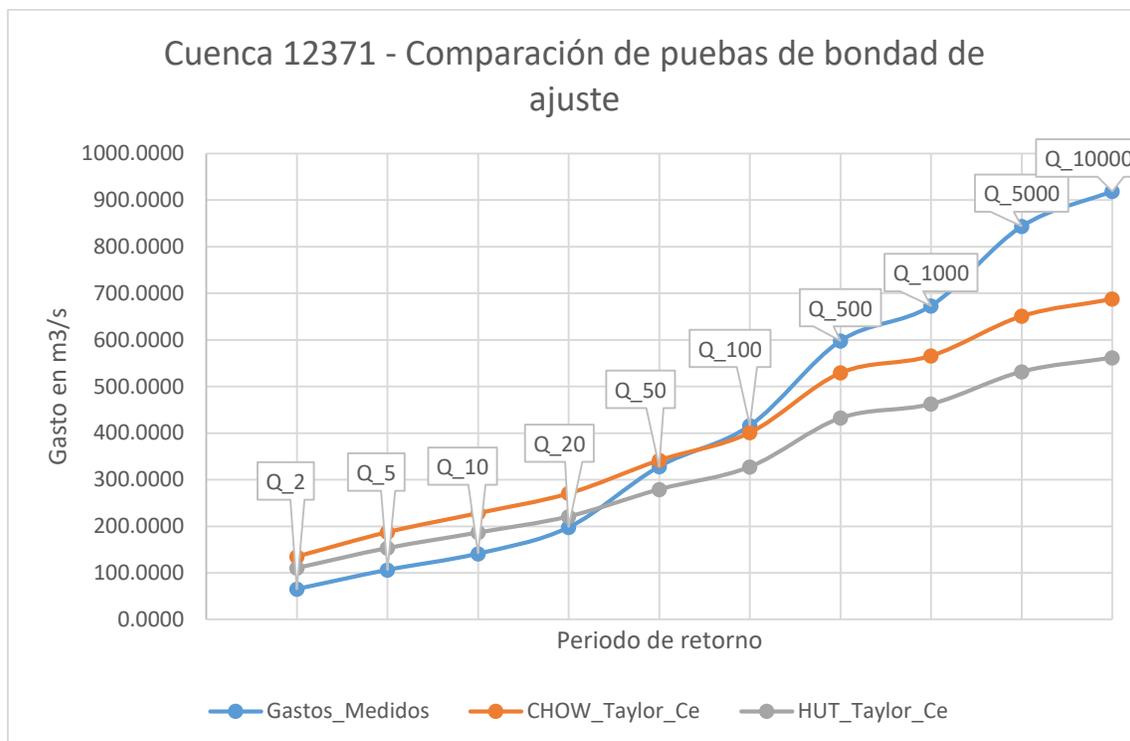


Ilustración 10. Comparación entre las pruebas EEA y MAPE en periodos de retorno de mismo tamaño en la cuenca 12371.

Con esta visualización se entiende el comportamiento de cada prueba de bondad de ajuste confirmando que la prueba del error estándar EEA le asigna mayor peso a los periodos de retorno altos mientras que MAPE le asigna la misma ponderación a cada periodo de retorno.

Conociendo su comportamiento se puede establecer el uso de la prueba EEA cuando se requiera el mejor ajuste a periodos de retorno altos como, por ejemplo, a obras hidráulicas de gran tamaño y en zonas costeras donde ocurren eventos ciclónicos. Mientras la prueba MAPE es útil cuando se quiere conocer el mejor ajuste a la forma de los gastos medidos en todos los periodos de retorno.

Con esta comparación y sabiendo que el mejor modelo del 74% de las cuencas es el mismo por ambas pruebas de ajuste se acepta el empleo de la prueba MAPE para los siguientes pasos de la metodología aplicada.

Cabe mencionar que las cuencas en que su mejor modelo es diferente por cada prueba de bondad de ajuste tienen los gastos muy cerca a los gastos medidos, mientras que el resto de cuencas los gastos estimados están muy alejados a los gastos medidos. Esas 13 de cuencas no parecen tener patrón de comportamiento porque 3 cuencas son pequeñas, 4 cuencas son intermedias pequeñas y 6 son cuencas grandes, distribuidos en todo el país.

CORRELACION ENTRE LAS SERIES DE DATOS

Una correlación es un valor estadístico que mide la tendencia entre dos grupos de valores a comportarse de forma lineal. Cuando la correlación tiene valores cercanos a 1 tiene una gran tendencia a comportarse como una línea, cuando los valores son cercanos a cero no existe relación alguna entre los grupos de datos, si el valor es negativo y cercano a -1, entonces se comporta como una línea con pendiente negativa (cuando un grupo de valores crece el otro grupo disminuye). Así, si un grupo de valores X tiene una excelente correlación con un grupo Y significa que un modelo lineal $Y = mX$ representa bien su relación, donde m es una coeficiente constante.

Correlacionamos las series de datos (características fisiográficas de la cuenca con los gastos), y seleccionamos las mayores correlaciones. Para observar cómo cambia la correlación de las series de datos influenciados por el tamaño de la cuenca se hicieron grupos clasificados por su área (cuencas pequeñas, intermedias pequeñas e intermedias grandes).

Las propiedades que más persistieron a través de los tamaños de la cuenca son el área de la cuenca, longitud del parteaguas, longitud de cauce principal ($LONG_CAUCE$), longitud de la red hídrica ($LONG_RED$), el tiempo de concentración estimado con la pendiente por áreas compensadas (TC_A), el área conjunta de bosque y selva (A_BS), el área de selvas (A_S). Analizando todas cuencas hay, además, buenas correlaciones con el área de selvas en porcentaje, área de los suelos hidrológicos tipo B y, el área conjunta de los bosques y selvas con suelo tipo B.

Continuando revisando los demás grupos tenemos que las propiedades con mejor correlación, además de las ya mencionadas, incluyen a la relación hipsométrica para las cuencas pequeñas; la pendiente de la cuenca, el tiempo de concentración con la pendiente de Taylor-Schwarz para las cuencas intermedias pequeñas; la coordenada Y en el coordenadas geográficas, y en coordenadas UTM, pendiente de la cuenca, orden de corriente, densidad de drenaje, el tiempo de concentración con la pendiente de Taylor-Schwarz, áreas de los suelos hidrológicos tipo C, área conjunta de bosques y selvas con suelo tipo C para las cuencas intermedias grandes.

En la Tabla 12 se muestran las características con mejor correlación a través de los tamaños de cuenca.

	<i>GASTOS</i>	<i>AREA</i>	<i>PARTEAGUAS</i>	<i>LONG_CAUCE</i>	<i>LONG_RED</i>	<i>TC_A</i>	<i>A_BS</i>	<i>A_S</i>
TODAS LAS CUENCAS	Q_2	0.600	0.562	0.618	0.366	0.654	0.663	0.542
	Q_5	0.627	0.564	0.619	0.488	0.695	0.747	0.645
	Q_10	0.641	0.578	0.617	0.489	0.709	0.764	0.700
	Q_20	0.655	0.594	0.619	0.501	0.722	0.772	0.747
	Q_50	0.674	0.613	0.621	0.524	0.733	0.775	0.799
	Q_100	0.685	0.624	0.618	0.542	0.734	0.774	0.830
	Q_500	0.694	0.631	0.596	0.578	0.717	0.755	0.878
	Q_1000	0.692	0.629	0.582	0.589	0.703	0.742	0.888

	Q_5000	0.677	0.612	0.542	0.606	0.661	0.703	0.894
	Q_10000	0.668	0.602	0.524	0.610	0.641	0.684	0.890
CUENCAS PEQUEÑAS	Q_2	0.392	0.374	0.629	0.186	0.379	0.647	0.403
	Q_5	0.470	0.543	0.757	0.461	0.522	0.707	0.649
	Q_10	0.473	0.524	0.728	0.445	0.524	0.724	0.697
	Q_20	0.465	0.487	0.684	0.408	0.504	0.729	0.721
	Q_50	0.452	0.447	0.628	0.361	0.491	0.727	0.730
	Q_100	0.444	0.422	0.589	0.329	0.481	0.723	0.730
	Q_500	0.427	0.376	0.511	0.271	0.460	0.707	0.720
	Q_1000	0.420	0.360	0.482	0.251	0.452	0.700	0.714
	Q_5000	0.408	0.330	0.426	0.213	0.436	0.684	0.697
	Q_10000	0.404	0.320	0.406	0.201	0.431	0.678	0.691
CUENCAS INTERMEDIAS PEQUEÑAS	Q_2	0.213	0.073	0.148	-0.068	0.367	0.472	0.556
	Q_5	0.337	0.101	0.127	-0.086	0.428	0.622	0.678
	Q_10	0.379	0.108	0.116	-0.097	0.428	0.663	0.705
	Q_20	0.396	0.123	0.127	-0.094	0.441	0.671	0.722
	Q_50	0.407	0.139	0.145	-0.083	0.453	0.668	0.737
	Q_100	0.413	0.150	0.156	-0.077	0.462	0.667	0.745
	Q_500	0.425	0.172	0.175	-0.069	0.475	0.663	0.755
	Q_1000	0.428	0.180	0.181	-0.065	0.480	0.662	0.758
	Q_5000	0.436	0.199	0.194	-0.058	0.489	0.659	0.763
	Q_10000	0.439	0.206	0.198	-0.055	0.491	0.658	0.764
CUENCAS INTERMEDIAS GRANDES	Q_2	0.530	0.275	0.478	0.589	0.673	0.649	0.407
	Q_5	0.584	0.237	0.471	0.688	0.668	0.774	0.513
	Q_10	0.660	0.339	0.496	0.784	0.742	0.823	0.665
	Q_20	0.712	0.422	0.490	0.841	0.777	0.833	0.788
	Q_50	0.741	0.490	0.447	0.861	0.771	0.799	0.890
	Q_100	0.743	0.516	0.402	0.848	0.741	0.754	0.928
	Q_500	0.719	0.528	0.301	0.788	0.650	0.646	0.947
	Q_1000	0.707	0.523	0.264	0.761	0.614	0.606	0.942
	Q_5000	0.681	0.507	0.196	0.710	0.540	0.533	0.922
	Q_10000	0.673	0.500	0.173	0.692	0.515	0.509	0.912

Tabla 12. Propiedades de la cuenca con mayor correlación.

Las siglas empleadas en la Tabla 12 representan los gastos medidos en diferentes periodos de retorno Q_T , $LONG_CAUCE$ es la longitud del cauce principal, $LONG_RED$ es la longitud de la red hídrica, TC_A es el tiempo de concentración estimado con la pendiente por áreas compensadas, A_BS es el área conjunta de bosques y selvas, y A_S es el área de las selvas.

También se correlacionaron las precipitaciones medidas en diferentes periodos de retorno hp_T , teniendo buenas correlaciones. Se muestran en los anexos.

Las correlaciones para el grupo de cuencas intermedias pequeñas es la menor, mientras que las del grupo de intermedias grandes es mayor.

En general las correlaciones entre los gastos medidos y las propiedades de las cuencas no son tan altas como para ser descritos como una línea (proporcionales entre sí), pero sí demuestran la razón por la que son los parámetros que intervienen en los modelos lluvia-escorrentamiento.

En la Tabla 13 presentan las correlaciones que tienen los gastos medidos contra los calculados con los diferentes modelos, de cada periodo de retorno y separados por tamaño de cuencas. Los gastos estimados por las doce posibles combinaciones de parámetros condensados se expresan con la siguiente nomenclatura: R para el modelo racional, H para el hidrograma unitaria triangular, C para el método de Chow, T para la pendiente por Taylor-Schwarz, A para la pendiente por áreas compensadas, Ce para el coeficiente de escorrentamiento y CN para los números de escorrentamiento.

Las correlaciones entre los modelos racional e hidrograma unitario son las mismas en las cuencas pequeñas, porque son proporcionales entre sí. Recordando que el tiempo pico es 1.1 veces el tiempo de concentración en cuencas pequeñas, la precipitación efectiva es la precipitación total por el coeficiente de escorrentamiento, y la intensidad de precipitación es la precipitación total entre el tiempo de concentración.

$$0.278C_T i_T^d A \propto 0.208A \frac{hp_e^T}{1.1t_c}$$

		Q_2	Q_5	Q_10	Q_20	Q_50	Q_100	Q_500	Q_1000	Q_5000	Q_10000
TODAS LAS CUENCAS	R_T_Ce	0.597	0.617	0.654	0.671	0.664	0.650	0.568	0.521	0.396	0.343
	H_T_Ce	0.655	0.685	0.721	0.736	0.722	0.707	0.619	0.567	0.430	0.372
	C_T_Ce	0.614	0.634	0.670	0.685	0.675	0.658	0.571	0.522	0.394	0.340
	R_A_Ce	0.510	0.563	0.588	0.599	0.602	0.586	0.501	0.453	0.335	0.287
	H_A_Ce	0.581	0.640	0.663	0.674	0.669	0.653	0.563	0.511	0.380	0.326
	C_A_Ce	0.549	0.602	0.626	0.636	0.634	0.617	0.528	0.478	0.354	0.304
	R_T_CN	0.548	0.599	0.644	0.664	0.654	0.635	0.547	0.497	0.373	0.322
	H_T_CN	0.592	0.657	0.704	0.723	0.705	0.686	0.592	0.537	0.401	0.345
	C_T_CN	0.567	0.618	0.662	0.680	0.666	0.645	0.551	0.498	0.371	0.319
	R_A_CN	0.479	0.554	0.600	0.615	0.613	0.592	0.499	0.448	0.327	0.279
	H_A_CN	0.520	0.608	0.657	0.674	0.665	0.646	0.550	0.495	0.363	0.311
	C_A_CN	0.501	0.580	0.627	0.643	0.637	0.616	0.520	0.467	0.342	0.292
CUENCAS PEQUEÑAS	R_T_Ce	0.590	0.619	0.649	0.698	0.747	0.774	0.806	0.812	0.817	0.817
	H_T_Ce	0.590	0.619	0.649	0.698	0.747	0.774	0.806	0.812	0.817	0.817
	C_T_Ce	0.583	0.605	0.631	0.677	0.728	0.758	0.794	0.802	0.810	0.811
	R_A_Ce	0.379	0.364	0.372	0.401	0.490	0.554	0.646	0.670	0.705	0.713
	H_A_Ce	0.379	0.364	0.372	0.401	0.490	0.554	0.646	0.670	0.705	0.713
	C_A_Ce	0.406	0.396	0.403	0.435	0.521	0.582	0.668	0.690	0.722	0.729
	R_T_CN	0.654	0.648	0.682	0.718	0.766	0.792	0.822	0.828	0.832	0.832
	H_T_CN	0.654	0.648	0.682	0.718	0.766	0.792	0.822	0.828	0.832	0.832
	C_T_CN	0.652	0.633	0.664	0.697	0.747	0.776	0.811	0.818	0.826	0.826

CUENCAS INTERMEDIAS PEQUEÑAS	R_A_CN	0.605	0.557	0.566	0.558	0.637	0.686	0.750	0.764	0.781	0.784
	H_A_CN	0.605	0.557	0.566	0.558	0.637	0.686	0.750	0.764	0.781	0.784
	C_A_CN	0.632	0.581	0.589	0.585	0.658	0.704	0.762	0.776	0.790	0.793
	R_T_Ce	0.440	0.498	0.504	0.485	0.457	0.447	0.416	0.408	0.393	0.388
	H_T_Ce	0.517	0.576	0.579	0.557	0.526	0.513	0.476	0.466	0.446	0.439
	C_T_Ce	0.450	0.522	0.532	0.512	0.483	0.472	0.439	0.431	0.414	0.408
	R_A_Ce	0.310	0.427	0.461	0.455	0.436	0.430	0.403	0.396	0.381	0.377
	H_A_Ce	0.414	0.520	0.541	0.529	0.503	0.493	0.458	0.449	0.429	0.422
	C_A_Ce	0.349	0.462	0.492	0.483	0.462	0.454	0.424	0.416	0.399	0.394
	R_T_CN	0.499	0.535	0.539	0.530	0.511	0.497	0.470	0.460	0.440	0.433
	H_T_CN	0.529	0.581	0.587	0.580	0.562	0.547	0.517	0.505	0.482	0.474
	C_T_CN	0.514	0.562	0.569	0.560	0.540	0.525	0.494	0.483	0.460	0.452
	R_A_CN	0.372	0.437	0.466	0.474	0.471	0.464	0.445	0.437	0.420	0.415
	H_A_CN	0.412	0.484	0.511	0.519	0.515	0.507	0.485	0.477	0.457	0.450
	C_A_CN	0.388	0.455	0.483	0.491	0.487	0.480	0.460	0.452	0.434	0.428
CUENCAS INTERMEDIAS GRANDES	R_T_Ce	-0.02	0.182	0.337	0.447	0.448	0.428	0.282	0.216	0.096	0.058
	H_T_Ce	0.105	0.334	0.484	0.578	0.533	0.500	0.319	0.243	0.107	0.066
	C_T_Ce	0.015	0.210	0.361	0.463	0.449	0.420	0.266	0.200	0.084	0.048
	R_A_Ce	-0.14	0.230	0.320	0.366	0.317	0.259	0.121	0.076	0.003	-0.018
	H_A_Ce	0.054	0.430	0.520	0.561	0.466	0.393	0.200	0.136	0.036	0.007
	C_A_Ce	-0.07	0.305	0.395	0.440	0.373	0.308	0.149	0.097	0.015	-0.009
	R_T_CN	-0.05	0.224	0.374	0.462	0.433	0.406	0.262	0.200	0.086	0.050
	H_T_CN	0.026	0.326	0.476	0.551	0.491	0.457	0.292	0.221	0.096	0.057
	C_T_CN	-0.03	0.247	0.394	0.473	0.433	0.400	0.249	0.187	0.077	0.042
	R_A_CN	-0.11	0.251	0.395	0.456	0.390	0.333	0.172	0.116	0.026	-0.001
	H_A_CN	-0.03	0.337	0.492	0.555	0.468	0.413	0.229	0.162	0.052	0.020
	C_A_CN	-0.08	0.283	0.431	0.493	0.420	0.363	0.192	0.133	0.035	0.007

Tabla 13. Correlaciones entre los modelos lluvia-escorrente y los gastos medidos.

Las mejores correlaciones empleando todas las cuencas van de 0.736 a 0.372, donde las mayores correlaciones están entre los periodos de retorno de 10 a 100 años y todas son del mismo modelo (HUT con pendiente por Taylor-Schwarz y Ce), y las peores van de 0.602 a 0.279 repartidas entre dos modelos (ambas con el modelo racional con pendiente por áreas compensadas con diferente infiltración Ce y CN); para las cuencas pequeñas las mejores correlaciones van de 0.654 a 0.832, donde los valores mayores están en los periodos de retorno más altos, las mejores correlaciones están en dos modelos (racional y HUT pendiente por Taylor-Schwarz con CN) ya que en las cuencas pequeñas estos modelos son proporcionales entre sí, y las peores correlaciones van de 0.364 a 0.713 resultando de dos modelos que son el racional e HUT por pendiente por áreas compensadas y coeficiente de escorrente; para las cuencas intermedias pequeñas las mejores correlaciones van de 0.587 a 0.474, donde las mayores correlaciones se encuentran del lado de los periodos de retorno bajos, estando en el modelo HUT con pendiente por áreas compensadas y números de escorrentes, y las peores correlaciones van de 0.310 a 0.461 estando en el modelo racional con pendiente por áreas compensadas y

coeficiente de escurrimiento; para las cuencas intermedias grandes las mejores correlaciones van de 0.578 a 0.066, donde las mayores correlaciones están en los periodos de retorno bajos, los diferentes modelos que tienen la mejor correlación tienen en común ser el hidrograma unitario triangular pero con diferentes parámetros condensados, y las peores van de -0.14 a 0.366, en este grupo las correlaciones coinciden con los modelos racionales con diferentes parámetros condensados.

Los modelos con mejores correlaciones fueron los que emplean el hidrograma unitario triangular con diferentes parámetros condensados mientras que las peores correlaciones las presentaba los modelos que emplean el método racional para diferentes parámetros condensados.

Estas correlaciones no indican el mejor modelo, pero sí el potencial que puede tener el modelo si le agrega un coeficiente "a" al inicio del modelo, ya que las correlaciones estiman la tendencia entre dos grupos de datos a comportarse de forma lineal entre sí.

Una buena correlación entre dos grupos de datos nos dice que una línea de la forma $Y = mX$ describe bien la relación, pero no nos da el valor de m . Mientras que un análisis de sensibilidad sí me puede dar el valor m que reduzca la variable dependiente (además de darme el parámetro más sensible a los cambios). Por ello, es de esperar que el modelo del hidrograma unitario triangular tenga mejores valores en las pruebas de sensibilidad porque tiene una buena correlación con los gastos medidos, mientras que el modelo racional se espera que tenga los peores valores MAPE promedio aun para el valor más favorable de los parámetros condensados.

ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DEL MEJOR MODELO

Se seleccionó el mejor modelo para cada periodo de retorno de cada cuenca en base a la prueba de bondad del porcentaje del error medio MAPE, y se promediaron por grupos de tamaños de áreas, los resultados se muestran a Tabla 14.

		Q_2	Q_5	Q_10	Q_20	Q_50
TODAS LAS CUENCAS	\bar{x}	0.422	0.247	0.237	0.247	0.288
	σ	0.552	0.301	0.326	0.359	0.395
CUENCAS PEQUEÑAS	\bar{x}	0.494	0.292	0.346	0.376	0.426
	σ	0.586	0.371	0.434	0.489	0.515
INTERMEDIAS PEQUEÑAS	\bar{x}	0.315	0.203	0.175	0.174	0.213
	σ	0.346	0.247	0.240	0.237	0.290
INTERMEDIAS GRANDES	\bar{x}	0.494	0.244	0.145	0.133	0.159
	σ	0.800	0.254	0.130	0.118	0.199

		Q_100	Q_500	Q_1000	Q_5000	Q_10000
TODAS LAS CUENCAS	\bar{x}	0.327	0.416	0.434	0.487	0.515
	σ	0.425	0.522	0.553	0.655	0.716
CUENCAS PEQUEÑAS	\bar{x}	0.483	0.567	0.581	0.627	0.650
	σ	0.518	0.596	0.626	0.721	0.778
INTERMEDIAS PEQUEÑAS	\bar{x}	0.240	0.319	0.331	0.356	0.369
	σ	0.344	0.448	0.456	0.483	0.495
INTERMEDIAS GRANDES	\bar{x}	0.189	0.306	0.347	0.469	0.536
	σ	0.277	0.476	0.562	0.814	0.950

Tabla 14. Media y desviación de la serie de mejor MAPE de las cuencas.

Para tener una mejor visualización de los datos, se grafican a continuación:

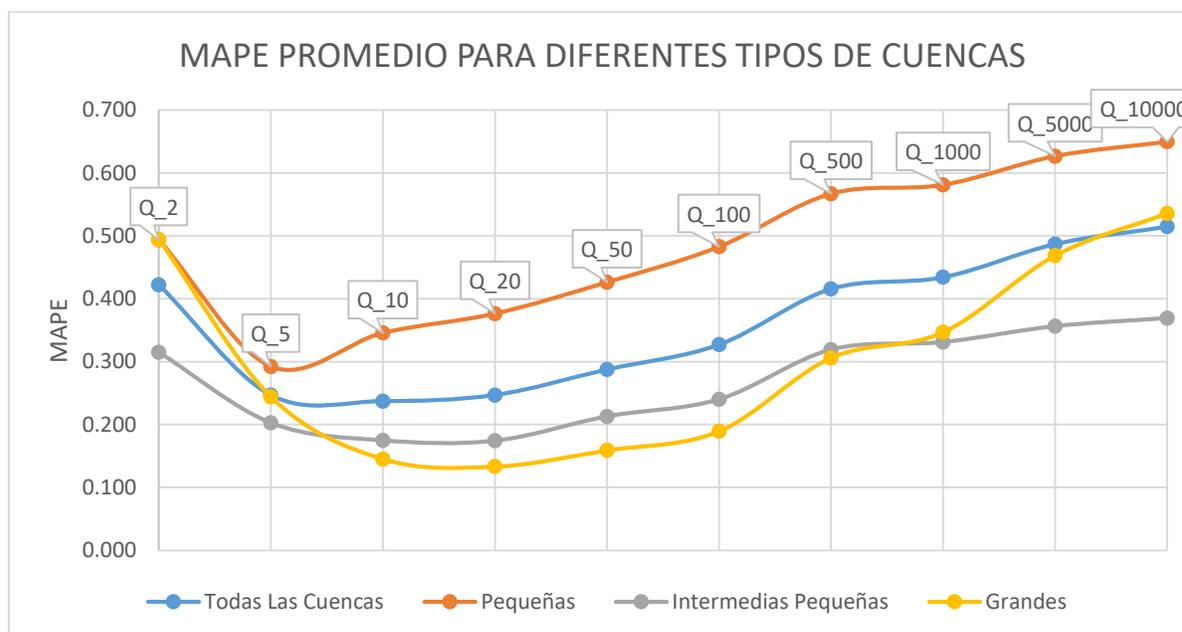


Ilustración 11. MAPE promedio para diferentes tipos de cuencas.

En forma general se observan que hay un mejor ajuste para los periodos de retorno de 5 a 100 años, y que los modelos se ajustan mejor a las cuencas intermedias pequeñas y grandes.

Para las cuencas pequeñas los modelos lluvia escurrimiento tienen un porcentaje de error medio de 0.292 a 0.650; entre 0.174 a 0.369 para las cuencas intermedias pequeñas; y entre 0.133 a 0.536 para las cuencas intermedias grandes.

Se contabilizaron el número de veces que los modelos tuvieron mejor ajuste para cada periodo de retorno y tamaño de cuenca, los porcentajes se muestran en la Tabla 15.

	T [años]	2	5	10	20	50	100	500	1000	5000	10000	MAPE	EEA
TODAS LAS CUENCAS	R_T_Ce	4	0	0	6	6	0	0	2	0	2	4	2
	H_T_Ce	40	42	40	36	34	36	44	40	44	44	48	40
	C_T_Ce	4	2	6	4	4	4	0	2	6	4	0	6
	R_A_Ce	8	4	2	4	2	4	4	6	8	10	6	6
	H_A_Ce	6	8	8	2	8	8	6	10	2	2	4	6
	C_A_Ce	0	0	4	2	0	0	2	0	2	2	0	0
	R_T_CN	4	6	2	10	8	4	2	2	4	4	2	4
	H_T_CN	16	12	12	12	18	16	14	14	10	10	16	12
	C_T_CN	4	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0
	R_A_CN	6	14	14	16	14	18	18	18	18	18	12	18
	H_A_CN	6	4	4	2	0	4	4	2	2	2	4	2
C_A_CN	2	8	6	6	6	4	4	4	4	2	4	4	
CUENCAS PEQUEÑAS	R_T_Ce	5	0	0	10	10	0	0	0	0	0	5	0
	H_T_Ce	40	45	40	40	40	50	55	55	65	65	55	55
	C_T_Ce	5	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	R_A_Ce	0	5	0	0	0	0	0	5	10	10	0	5
	H_A_Ce	0	5	5	0	15	10	5	5	5	5	5	5
	C_A_Ce	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	R_T_CN	5	5	0	15	5	10	0	5	5	5	5	5
	H_T_CN	30	20	15	20	20	20	15	15	5	5	20	15
	C_T_CN	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0
	R_A_CN	5	10	10	5	5	10	10	10	10	10	5	10
	H_A_CN	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0	5	0
C_A_CN	0	5	0	5	5	0	5	5	0	0	0	5	
CUENCAS INTERMEDIAS PEQUEÑAS	R_T_Ce	5	0	0	5	5	0	0	0	0	0	5	0
	H_T_Ce	45	40	40	35	25	25	40	35	35	35	45	35
	C_T_Ce	5	0	0	0	5	10	0	5	5	5	0	10
	R_A_Ce	20	5	5	5	5	10	10	5	5	5	10	10
	H_A_Ce	5	10	5	0	0	5	5	5	0	0	0	5
	C_A_Ce	0	0	5	5	0	0	0	0	0	5	0	0
	R_T_CN	5	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0	0

	H_T_CN	0	5	5	5	15	10	15	15	15	15	10	10	
	C_T_CN	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	R_A_CN	0	15	15	25	20	25	25	25	25	25	20	25	
	H_A_CN	5	5	5	0	0	10	5	5	5	5	0	0	
	C_A_CN	5	15	15	10	10	5	0	5	10	5	10	5	
CUENCAS INTERMEDIAS GRANDES	R_T_Ce	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	10	
	H_T_Ce	30	40	40	30	40	30	30	20	20	20	40	20	
	C_T_Ce	0	0	0	20	10	0	0	0	20	10	0	10	
	R_A_Ce	0	0	0	10	0	0	0	10	10	20	10	0	
	H_A_Ce	20	10	20	10	10	10	10	30	0	0	10	10	
	C_A_Ce	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	
	R_T_CN	0	10	0	0	0	0	10	0	10	10	0	10	
	H_T_CN	20	10	20	10	20	20	10	10	10	10	20	10	
	C_T_CN	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	
	R_A_CN	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	20
	H_A_CN	10	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	10
	C_A_CN	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0

Tabla 15. Frecuencia del mejor modelo en porcentaje.

En todos los grupos analizados el mejor ajuste lo obtuvo el método de Hidrograma Unitario con pendiente de Taylor-Schwarz e infiltración por el coeficiente de escurrimiento.

El mejor modelo para cada periodo de retorno fue el mismo en ambas pruebas de bondad de ajuste EEA y MAPE con la misma frecuencia. El mejor modelo para todos los periodos de retorno (sumando cada periodo de retorno) fue el mismo en ambas pruebas de bondad de ajuste pero la frecuencia fue diferente, teniendo mayor frecuencia con la prueba de bondad MAPE.

Debido a que el modelo del hidrograma unitario HUT con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento es el mejor modelo y tiene la mejor correlación es de esperarse que tenga los mejores resultados en el análisis de sensibilidad. También al ser el mejor modelo en cada grupo de tamaño de cuenca es el modelo que se recomienda emplear cuando no se tenga información hidrométrica.

Se grafican los valores del mejor modelo por cada prueba de bondad de ajuste, en el espacio para buscar patrones, pero se aprecian que no los hay.



Ilustración 12. Mejor modelo por la prueba de bondad EEA.



Ilustración 13. Mejor modelo por la prueba MAPE.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para el análisis de sensibilidad la variable dependiente es la prueba de bondad de ajuste MAPE, la cual se obtiene al encontrar la diferencia entre los gastos medidos fijados en la base de datos y los gastos estimados por los modelos lluvia-escurrimiento variando los parámetros condensados.

Los parámetros condensados son la variable independiente de los cuales se varían uno a la vez mientras los demás se fijan como la variable de control. La variación va del 0.05 hasta 1.2 veces su valor original.

Un análisis de sensibilidad se puede interpretar como agregar un coeficiente m que varía desde 0.05 a 1.2 en la variable independiente. Si la variable independiente está directamente relacionada con los gastos estimados, como el coeficiente de escurrimiento, tendríamos para el modelo racional $\hat{Q}_T = 0.278(mC_T)i_T^d A = m(0.278C_T i_T^d A)$ mientras que si no está relacionado, como la pendiente, entonces la variación de la variable independiente afectaría los resultados MAPE promedio de manera indirecta.

Con tres modelos lluvias escurrimientos, dos tipos de áreas, dos tipos de infiltración y tres grupos de tamaño de cuenca. Los resultados numéricos se presentan en los anexos y las gráficas a continuación, divididas por método lluvia-escurrimiento, en cada grafica se varia un parámetro condensado y se fijan constante el otro, se mostrarán el resultado de cada tamaño de cuenca.

FÓRMULA RACIONAL

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ

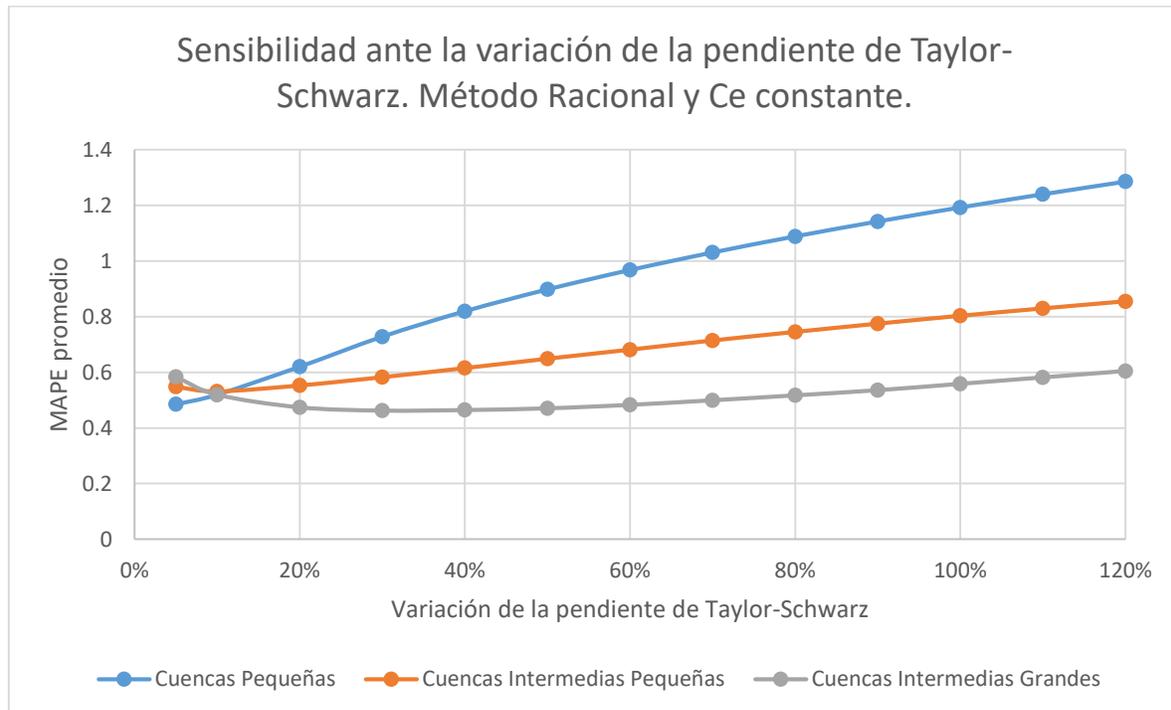


Ilustración 14. Sensibilidad variando pendiente por Taylor-Schwarz, método racional y C_e constante.

La curva de las cuencas pequeñas está más arriba lo que significa que tiene los peores valores, pero varía más rápido que las otras. Parece llegar al valor más favorable cuando la pendiente llega al 0.05 veces su valor real.

Se observa que el MAPE promedio disminuye cuando disminuye la pendiente por Taylor-Schwarz, esto se debe a que al disminuir la pendiente el tiempo de concentración aumenta, así como el tiempo de retraso, cuando el tiempo de concentración aumenta la intensidad de precipitación disminuye, la intensidad de precipitación es directamente proporcional a los gastos estimados.

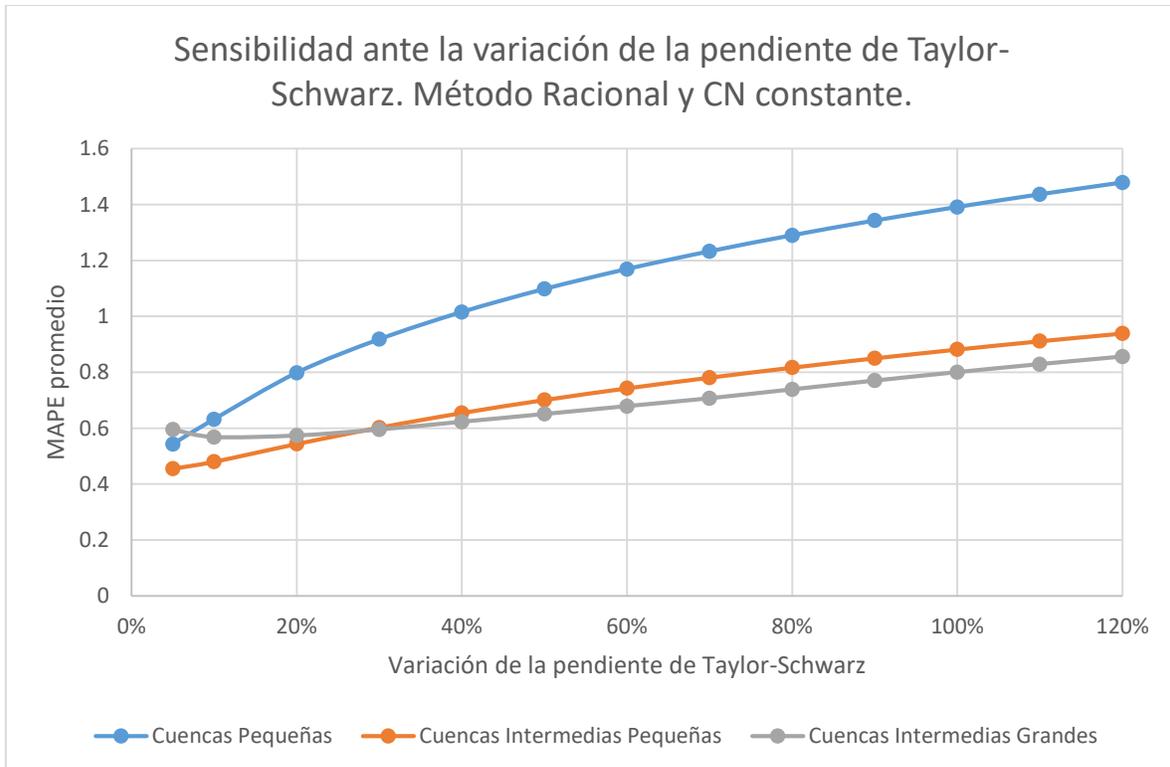


Ilustración 15. Sensibilidad variando pendiente por Taylor-Schwarz, método racional y CN constante.

El comportamiento de esta combinación es similar al anterior con la diferencia de que los valores MAPE promedio son más grandes.

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS

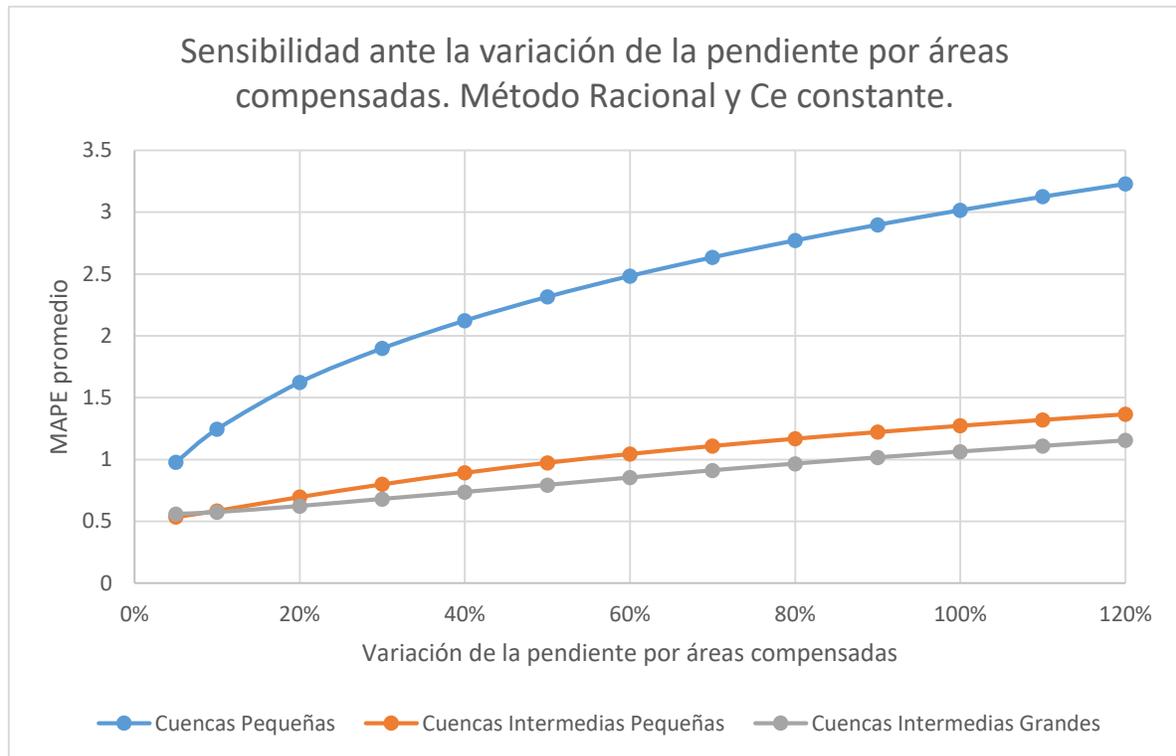


Ilustración 16. Sensibilidad variando pendiente por áreas compensadas, método racional y C_e constante.

El comportamiento es similar pero esta combinación tiene valores MAPE más grandes.

Los valores del porcentaje de error medio MAPE que puede alcanzar cuando varía la pendiente por Taylor-Schwarz es 0.4, pero cuando varía la pendiente por áreas compensadas puede llegar hasta 0.5.

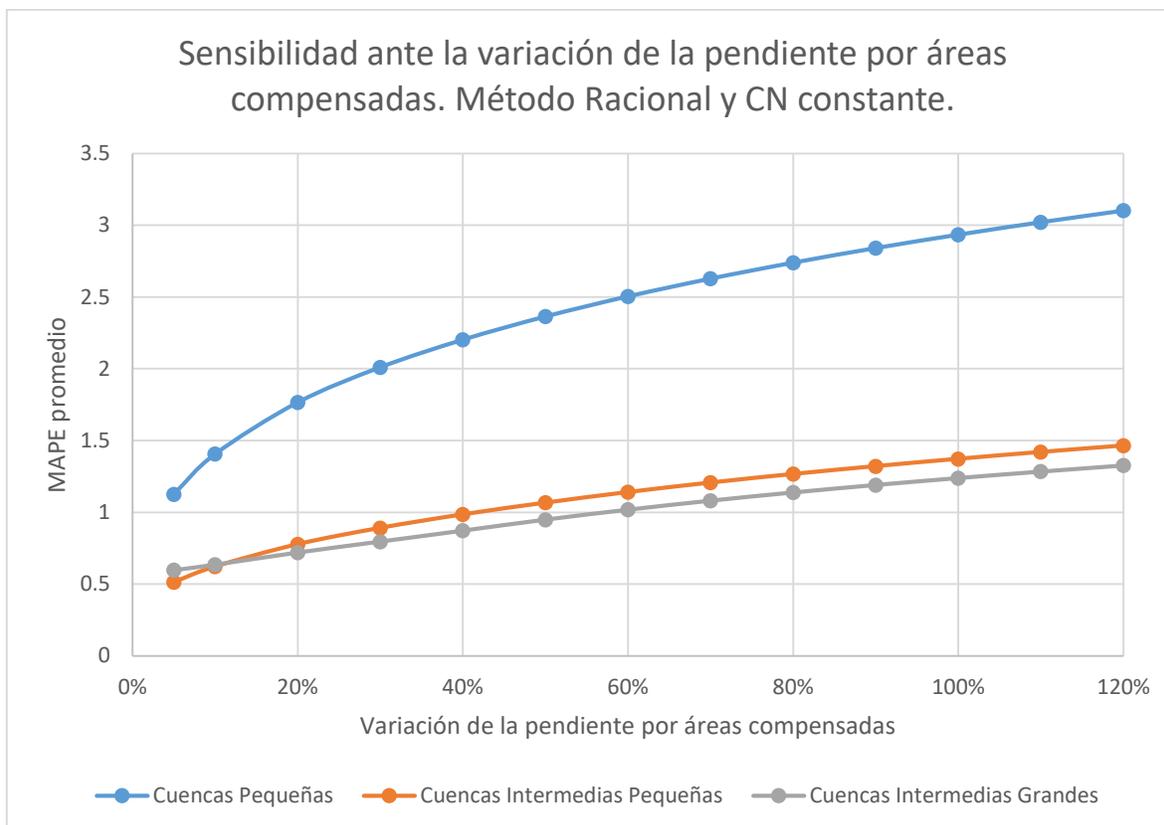


Ilustración 17. Sensibilidad variando pendiente por áreas compensadas, método racional y CN constante.

Al igual que antes, tienen un comportamiento similar, pero esta combinación tiene los peores valores MAPE promedio.

Comparando los resultados variando las pendientes se observa que la pendiente por Taylor-Schwarz llega al valor más favorable alrededor del 0.10 veces el valor original mientras que con la pendiente por áreas no parece llegar a un valor más favorable porque los valores MAPE no se incrementan ni en 0.05 veces el valor original y, en ese punto, la pendiente de la curva tampoco tiende al cero por lo que su valor más favorable se consigue con variaciones menores a 0.05 veces su valor original.

La pendiente de la curva cuando se varía la pendiente por áreas compensadas es mayor que cuando se varía por la pendiente por Taylor-Schwarz debido a que comienza desde un valor MAPE más alto.

Al ver que los MAPE promedio bajan cuando la pendiente baja (cualquier pendiente y combinación) se confirma que el mejor método para obtener la pendiente es por Taylor-Schwarz ya que su valor es menor que la obtenida por áreas compensadas.

SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

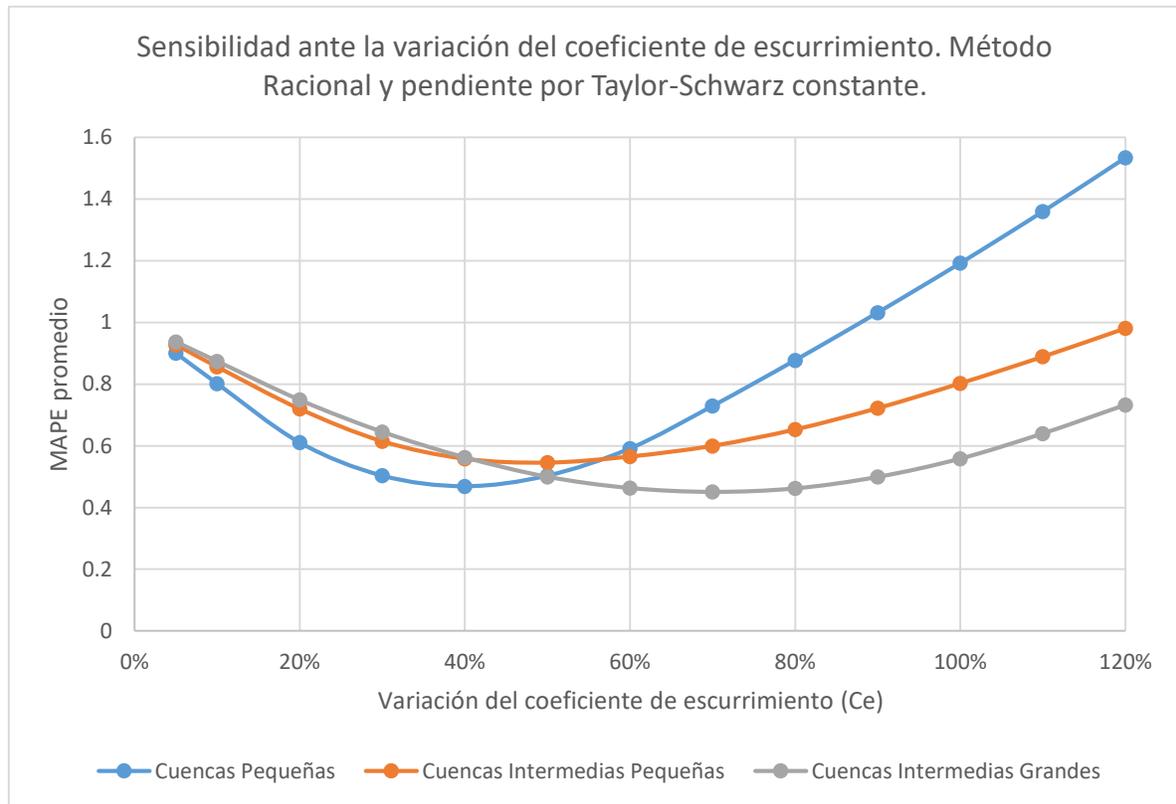


Ilustración 18. Sensibilidad variando coeficiente de escurrimiento, método racional y pendiente Taylor-Schwarz constante.

Cuando disminuye el coeficiente de escurrimiento disminuye también el MAPE promedio hasta el punto que los gastos estimados bajan tanto que las diferencias con el gasto medido empiezan a aumentar. Esto demuestra que los gastos estimados sin ninguna variación están encima que los gastos medidos.

El valor MAPE promedio más favorable ocurre cuando la variación llega a 0.40 veces el valor original con las cuencas pequeñas, a 0.50 veces el valor original con las cuencas intermedias pequeñas y 0.70 veces el valor original con las cuencas intermedias grandes.

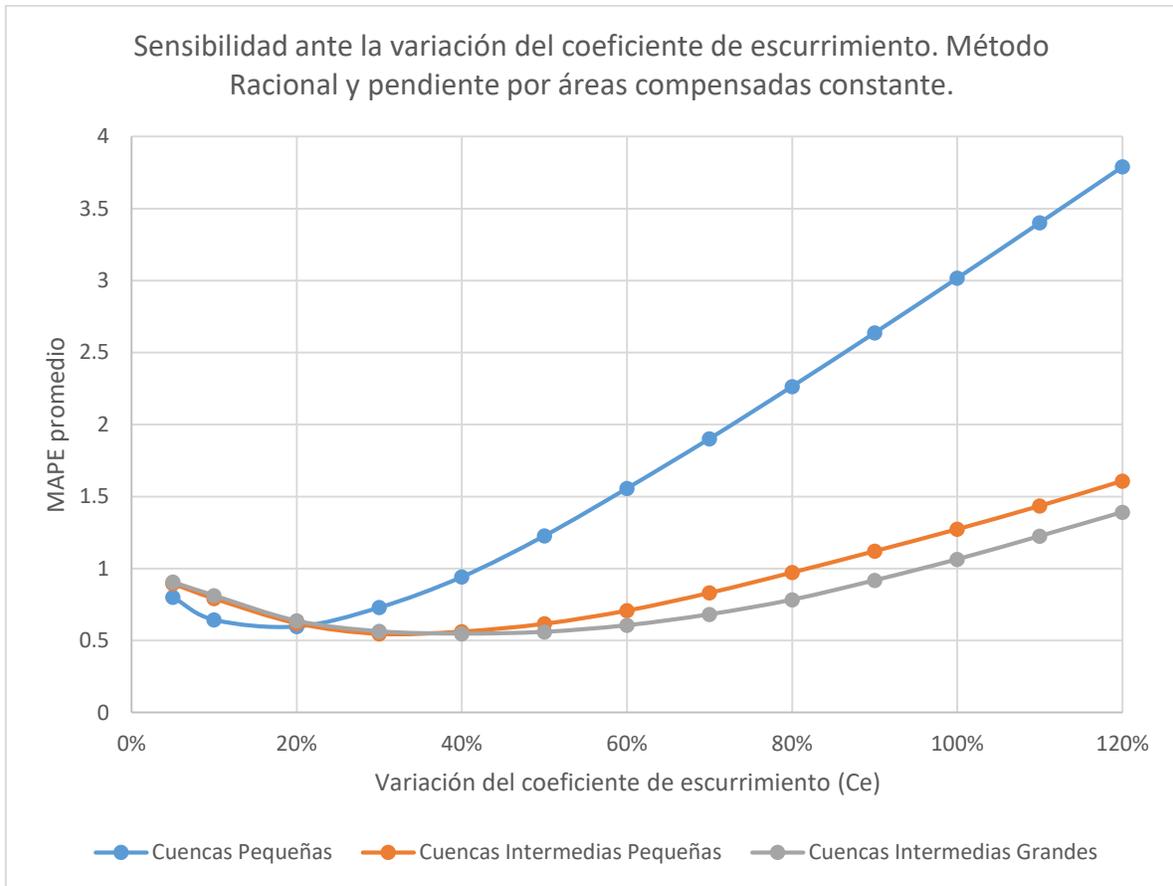


Ilustración 19. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método racional y pendiente por áreas compensadas constante.

El valor MAPE promedio más favorable ocurre cuando el coeficiente de escurrimiento baja 0.2 veces su valor real para las cuencas pequeñas, a 0.30 veces el valor original con las cuencas intermedias pequeñas, y 0.40 veces el valor original para cuencas intermedias grandes.

SENSIBILIDAD EN LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO

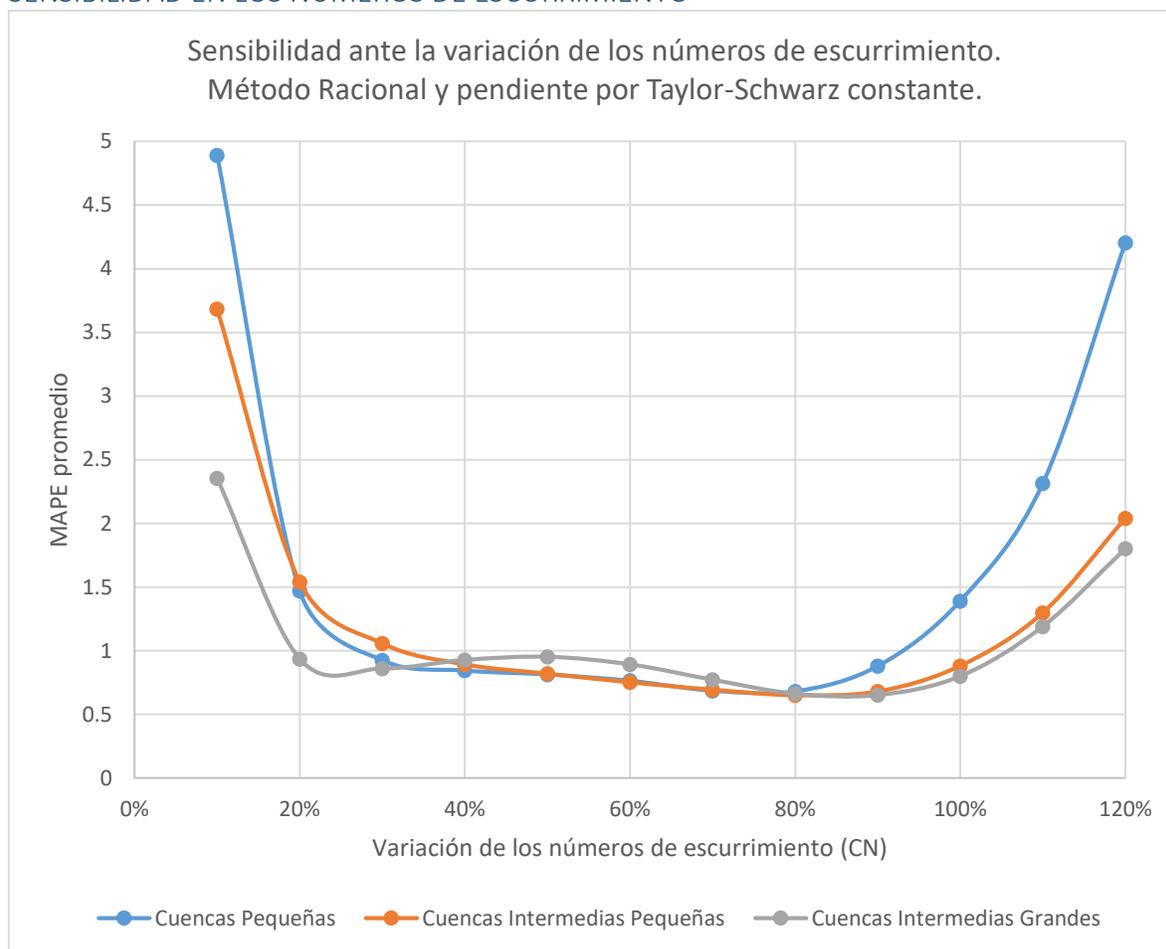


Ilustración 20. Sensibilidad variando los números de escurrimientos, método racional y pendiente por Taylor-Schwarz constante.

La respuesta del MAPE promedio ante la variación de los números de escurrimientos tiene varios picos que son debidos a que hay un pico diferente para cada periodo de retorno.

Los valores MAPE más favorables ocurren con una variación del 0.80 veces el valor original para cuencas pequeñas, 0.90 veces el valor original para cuencas intermedias cuencas y 0.90 veces para cuencas intermedias grandes.

Cuando la variación ronda el 30% y 90% la respuesta del MAPE promedio no cambia mucho pero cuando baja del 30% las diferencias se disparan rápidamente.

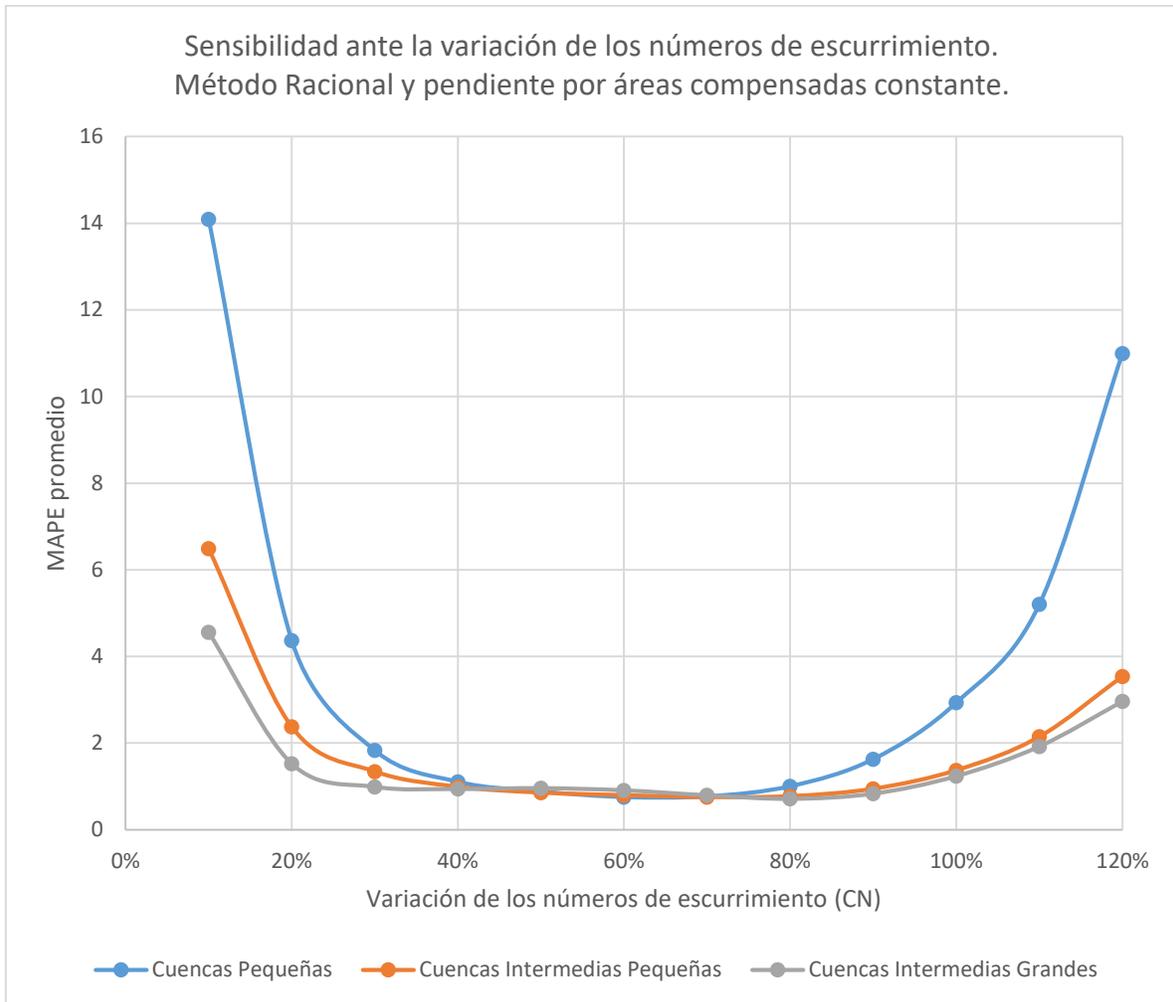


Ilustración 21. Sensibilidad variando los números de escurrimientos, método racional y pendiente por áreas compensadas constante.

El valor MAPE más favorable ocurre cuando los números de escurrimiento disminuyen a 0.70 veces su valor en las cuencas pequeñas, a 0.80 veces su valor original en las cuencas intermedias pequeñas e intermedias grandes.

HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ

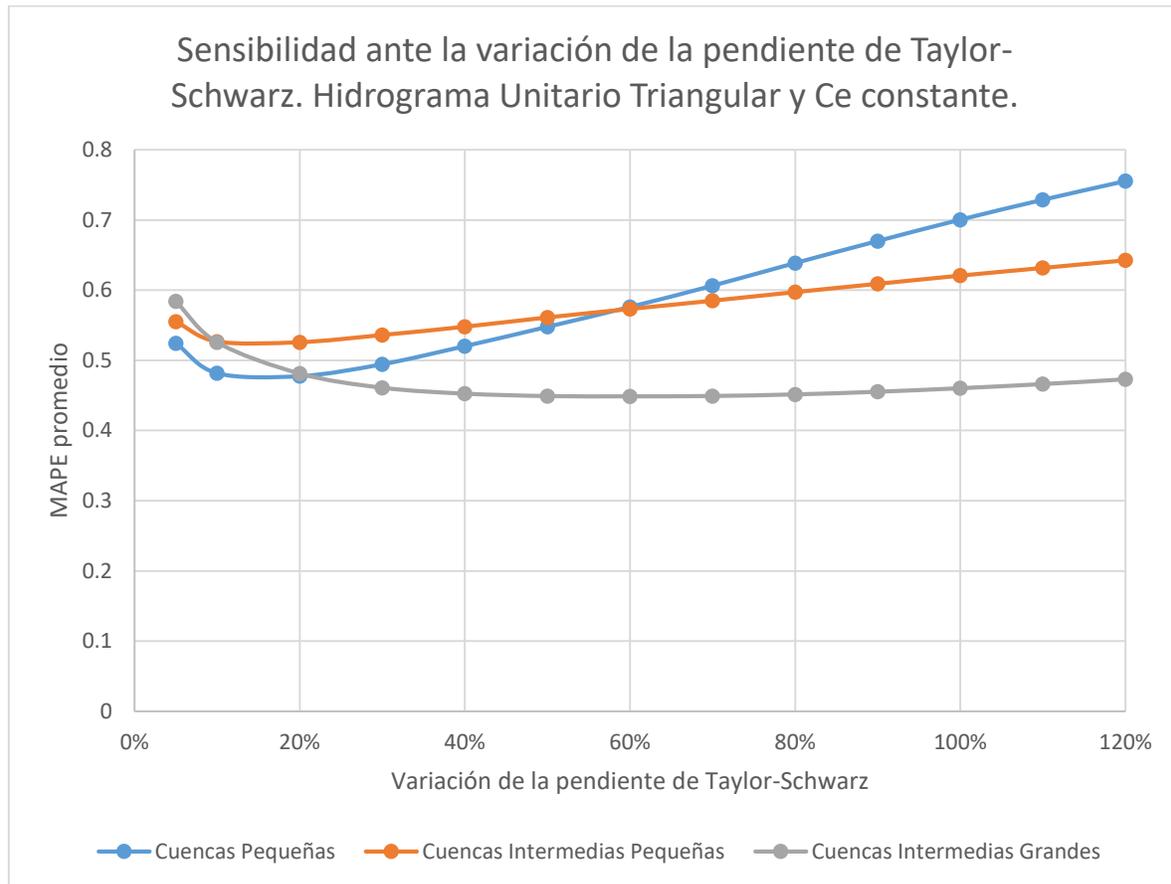


Ilustración 22. Sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.

Este es el mejor modelo en ambas pruebas de bondad de ajuste, por ello en el punto de 100% el MAPE es el menor con respecto a los otros modelos.

Con este modelo se observa que la pendiente entre la variable independiente y la variable dependiente es muy pequeña, es decir, que las variaciones entre la pendiente no tienen gran impacto en el MAPE promedio, para las cuencas intermedias pequeñas y grandes, por lo que se concluye que es el modelo menos sensible ante variaciones en sus parámetros condensados.

El valor MAPE más favorable ocurre cuando la pendiente tiene el 0.20 veces su valor original en las cuencas pequeñas, 0.10 veces el valor original en las cuencas intermedias pequeñas y 0.60 veces su valor original en las cuencas intermedias grandes.

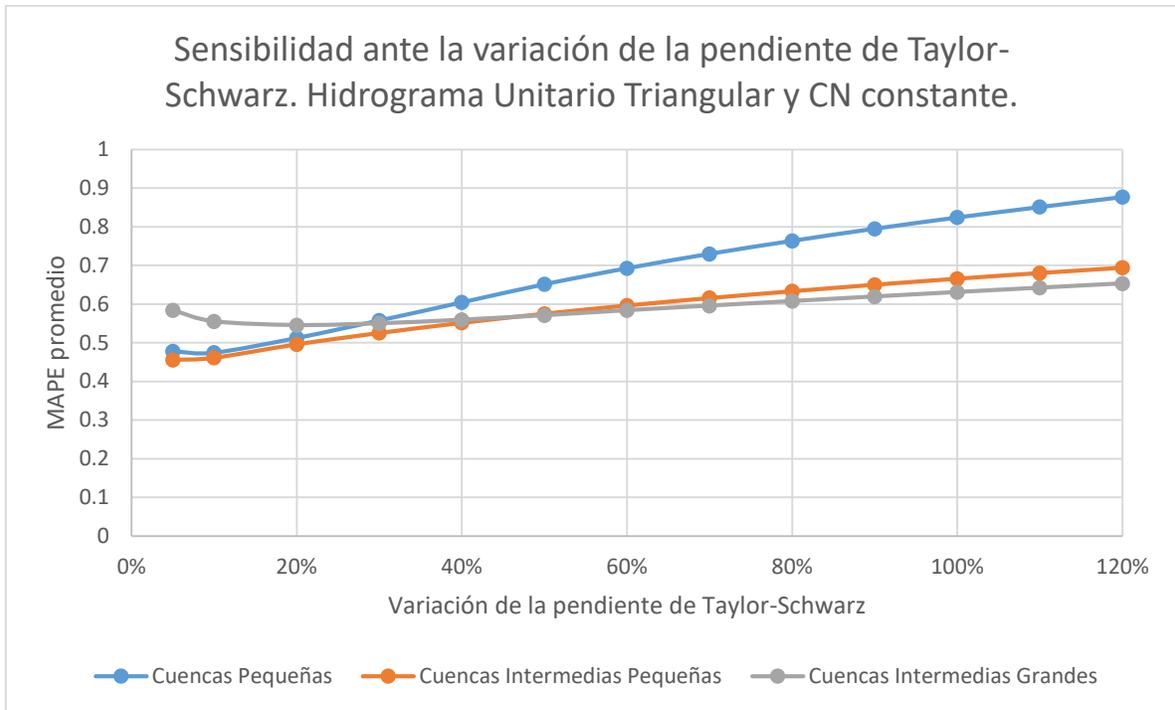


Ilustración 23. Sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz, método hidrograma unitario triangular y CN constante.

Los mejores valores MAPE promedio ocurren cuanto más disminuye la pendiente llegando hasta 0.10 y 0.05 veces su valor original.

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS

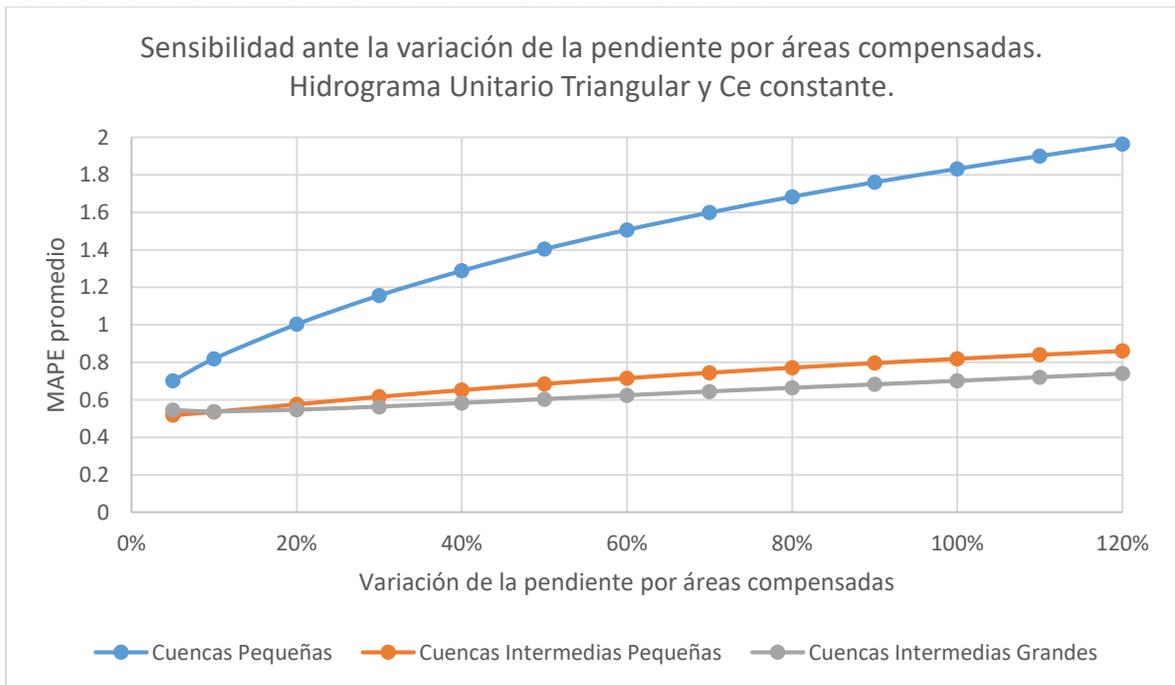


Ilustración 24. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.

En este modelo cuando disminuye la pendiente por áreas compensadas el MAPE disminuye por lo que el valor más favorable ocurre con el 0.05 veces el valor real para las cuencas pequeñas e intermedias pequeñas, y 0.10 veces el valor real para las cuencas intermedias grandes.

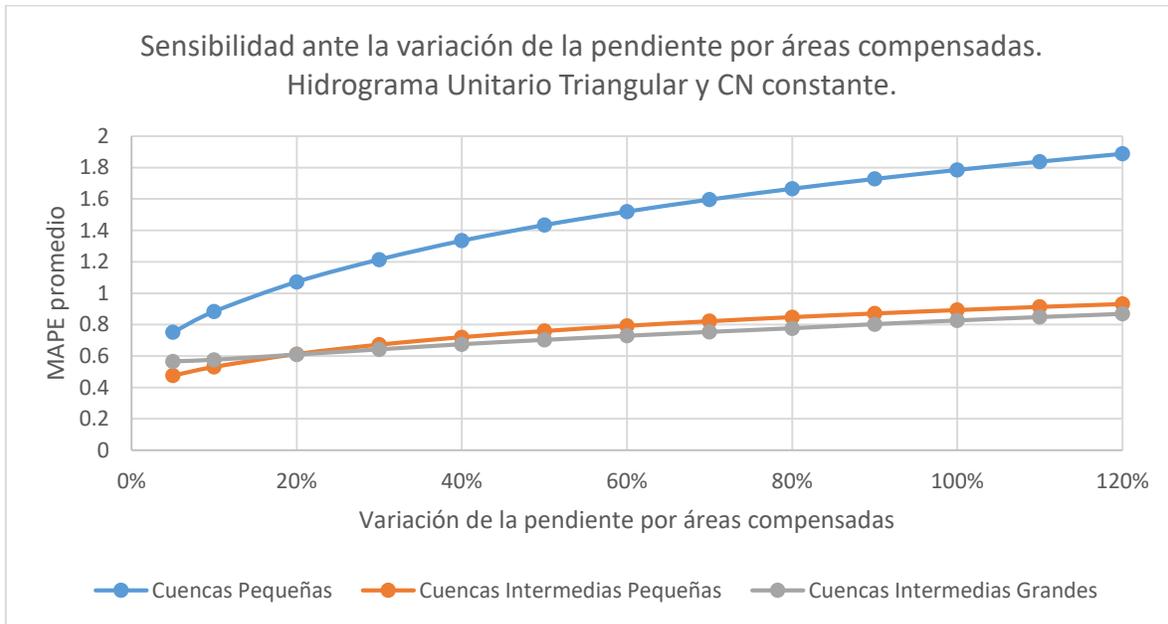


Ilustración 25. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método hidrograma unitario triangular y coeficiente de escurrimiento constante.

El valor MAPE promedio más favorable ocurre cuando la pendiente por áreas disminuye a 0.05 veces su valor original en cada tamaño de cuenca.

SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

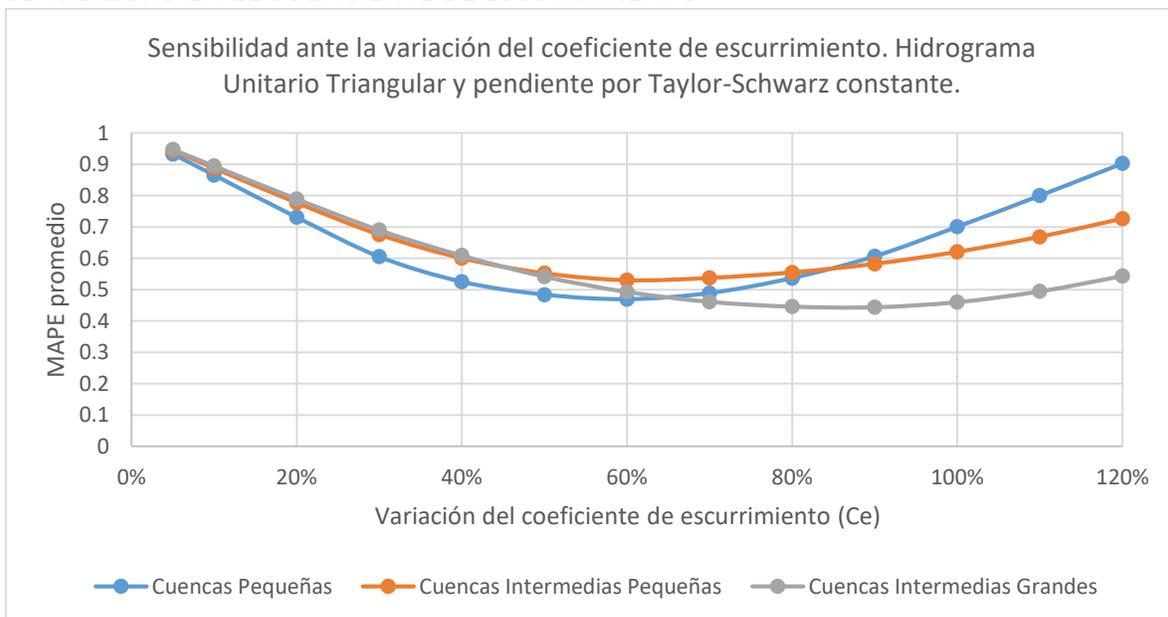


Ilustración 26. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante.

El valor MAPE más favorable ocurre cuando el coeficiente de escurrimiento disminuye a 0.60 veces su valor original en las cuencas pequeñas e intermedias pequeñas, y 0.90 veces su valor original en las cuencas intermedias grandes.

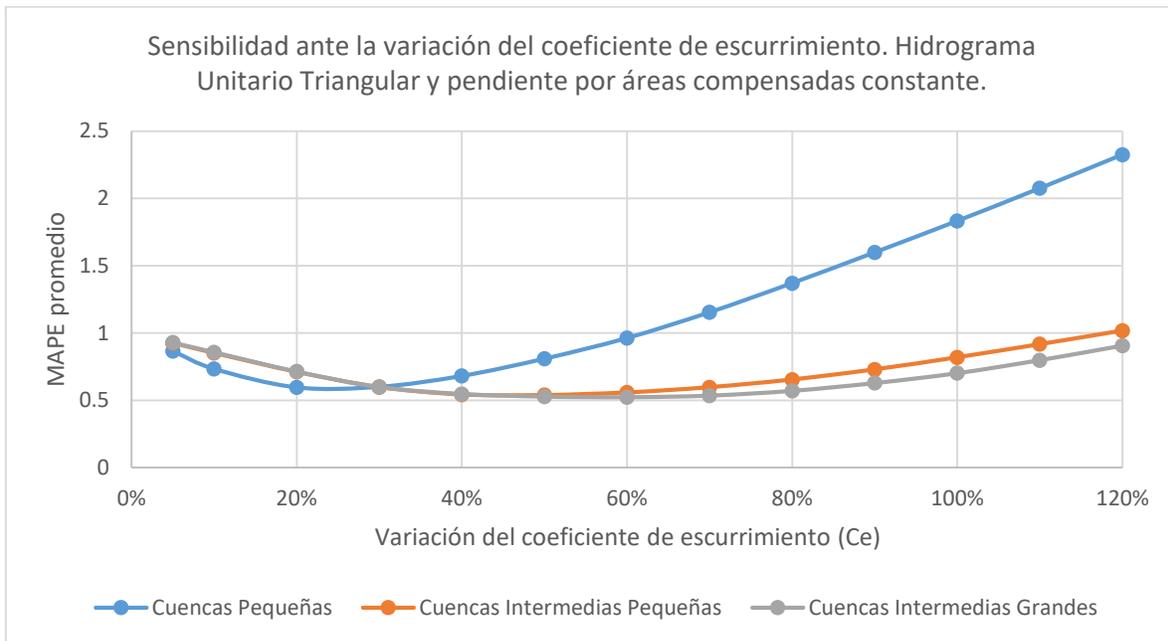


Ilustración 27. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por áreas compensadas constante.

SENSIBILIDAD EN LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

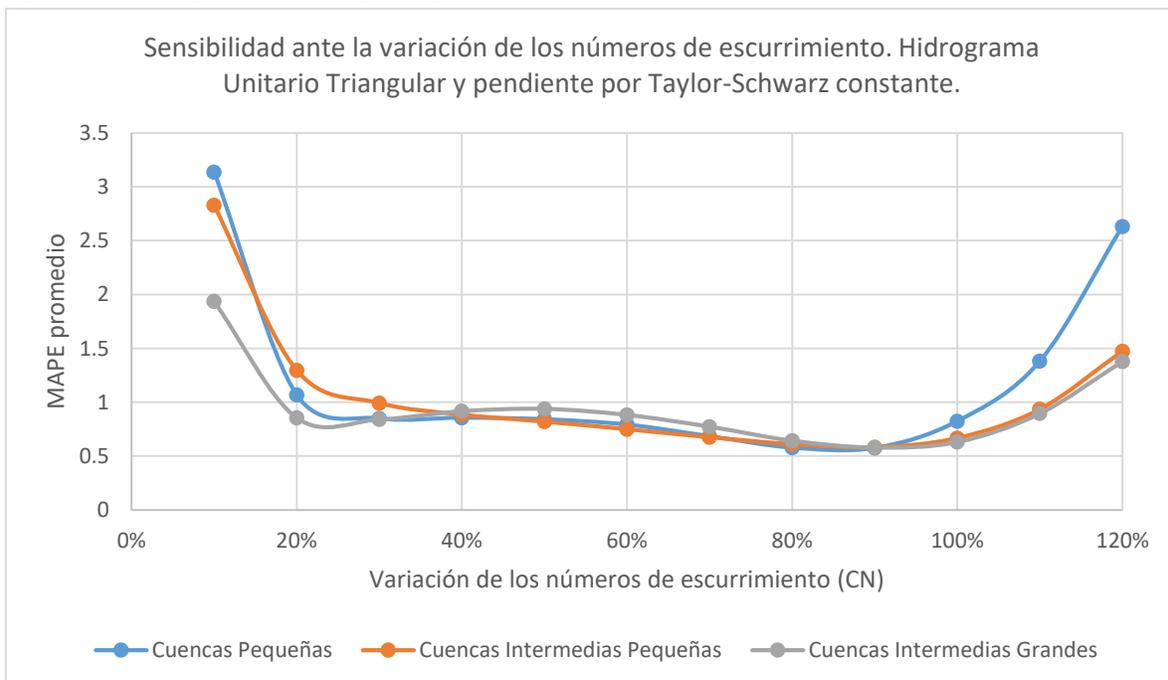


Ilustración 28. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante.

En la Ilustración 28 se observa que el valor MAPE promedio más favorable ocurre cuando los números de escurrimiento disminuyen al 0.90 de su valor original.

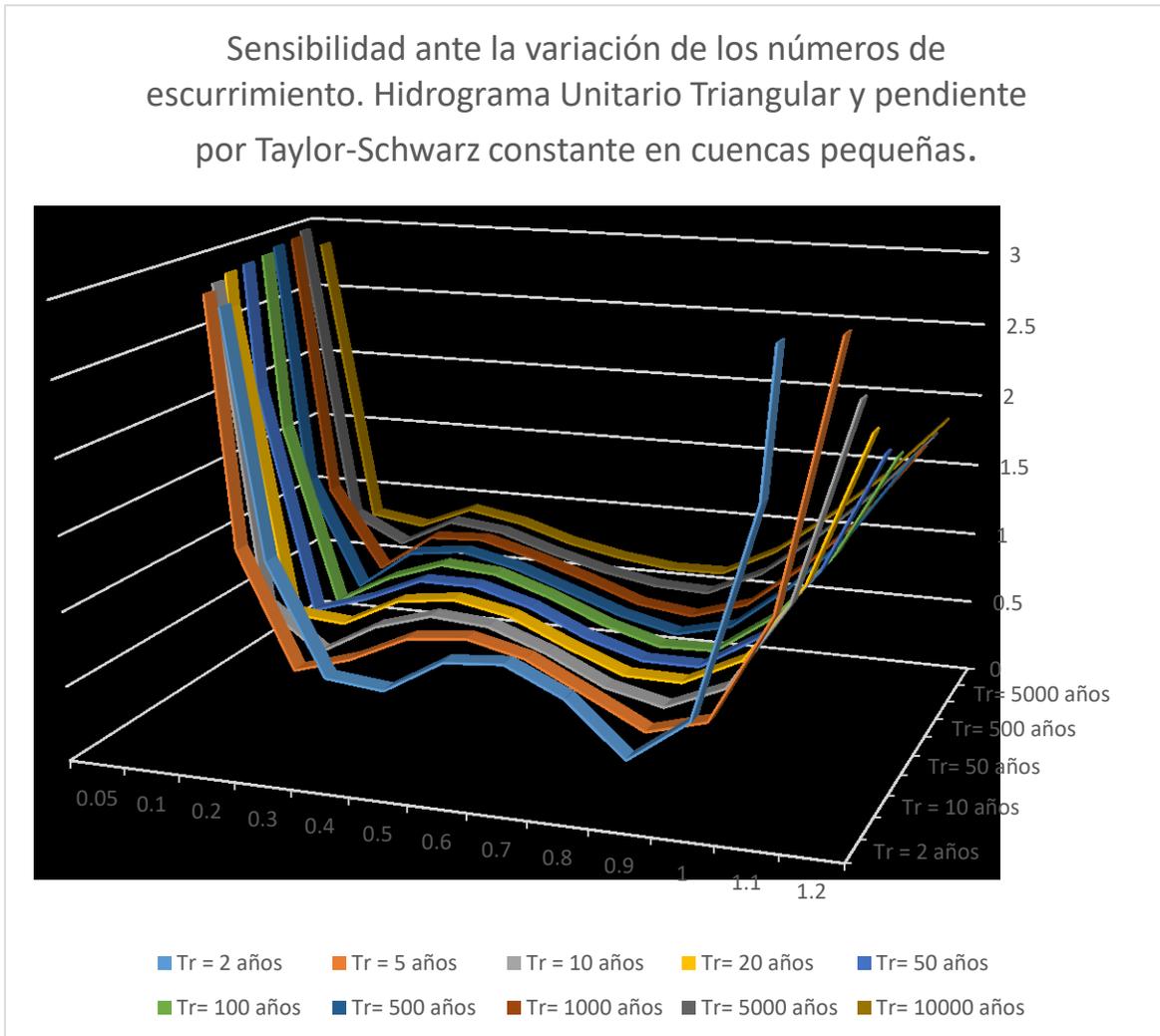


Ilustración 29. Sensibilidad ante la variación de los números de escurrimiento. Hidrograma Unitario Triangular y pendiente por Taylor-Schwarz constante en cuencas pequeñas.

La gráfica de análisis de sensibilidad ante la variación de los números de escurrimientos tiene el comportamiento más complejo, con varios picos mínimos locales que se obtienen al promediar el porcentaje de error medio MAPE de cada periodo de retorno, por ello en la Ilustración 29 se muestra a detalle el valor MAPE de cada periodo de retorno en el grupo de cuencas pequeñas.

Se aprecia que la curva del periodo de retorno de 2 años es el más sensible de los periodos de retorno.

Sensibilidad ante la variación de los números de escurrimiento. Hidrograma Unitario Triangular y pendiente por áreas compensadas constante.

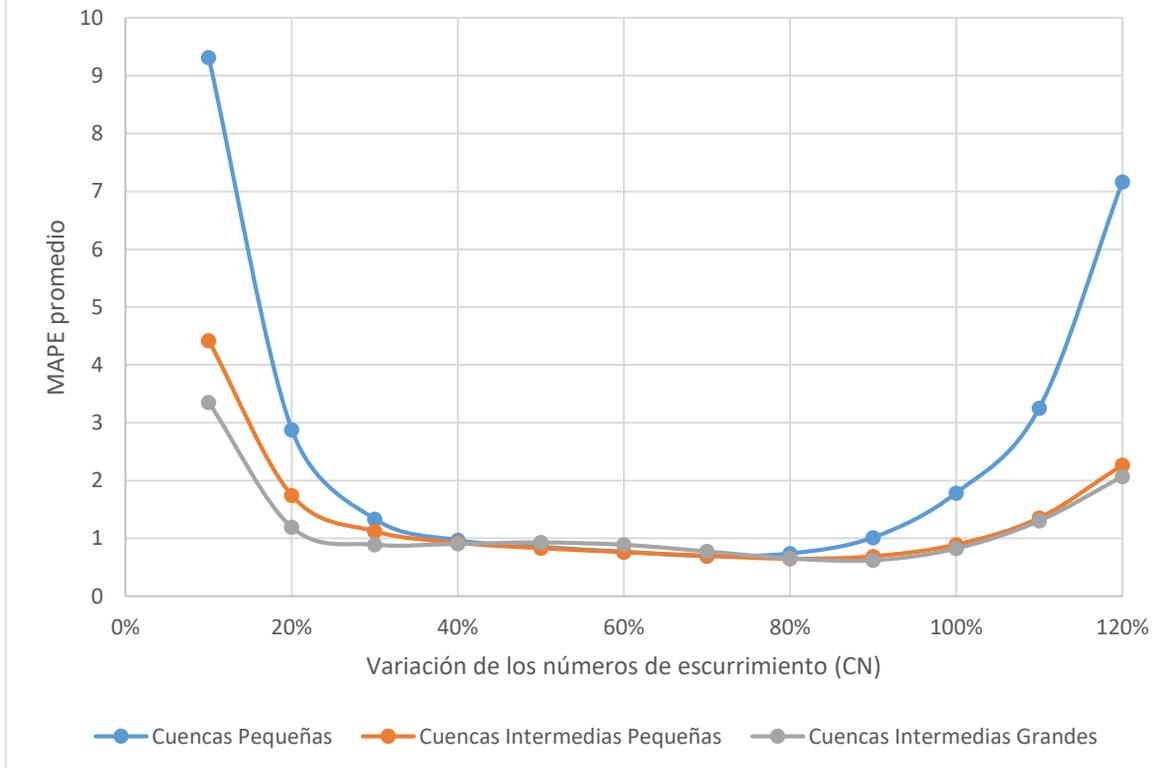


Ilustración 30. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método hidrograma unitario triangular y pendiente por áreas compensadas constante.

MÉTODO DE CHOW

El comportamiento es similar a los modelos ya presentados. Se presentan las gráficas del análisis de sensibilidad.

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE DE TAYLOR-SCHWARZ

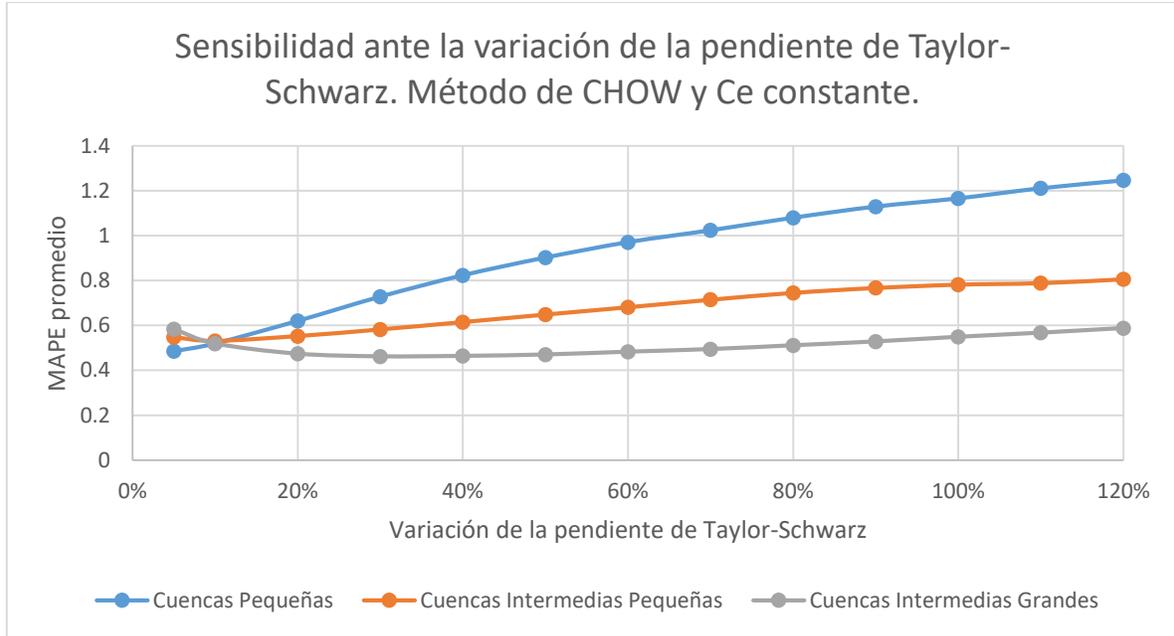


Ilustración 31. Sensibilidad variando la pendiente de Taylor-Schwarz, método de Chow y coeficiente de escurrimiento constante.

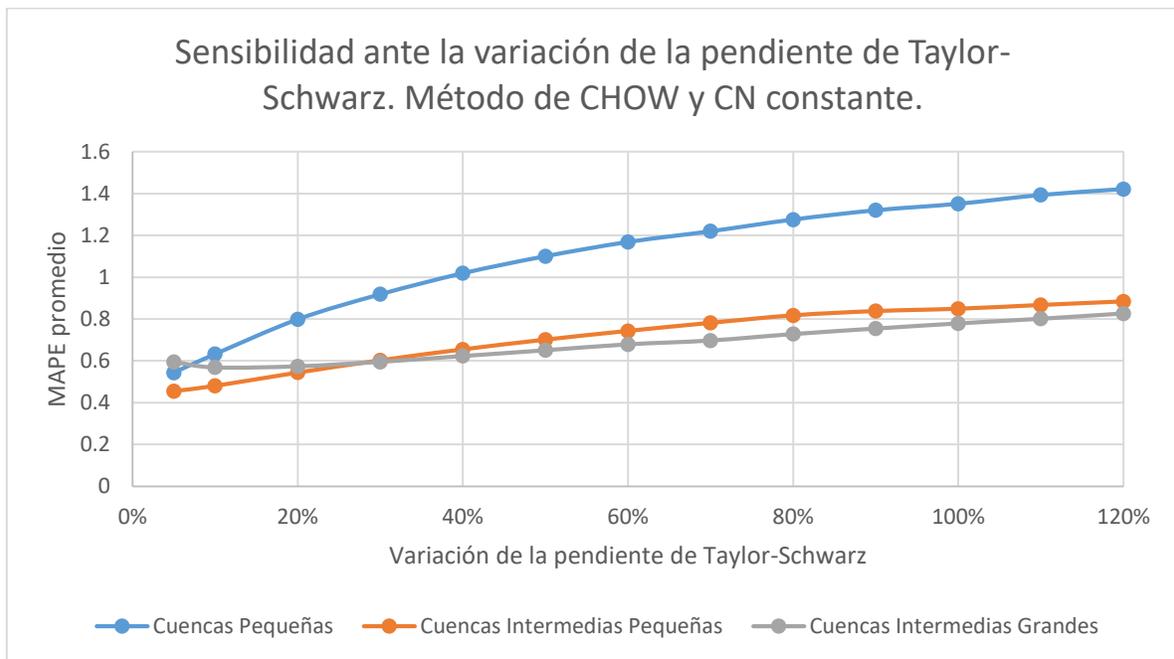


Ilustración 32. Sensibilidad variando la pendiente de Taylor-Schwarz, método de Chow y números de escurrimientos constante.

SENSIBILIDAD EN LA PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS

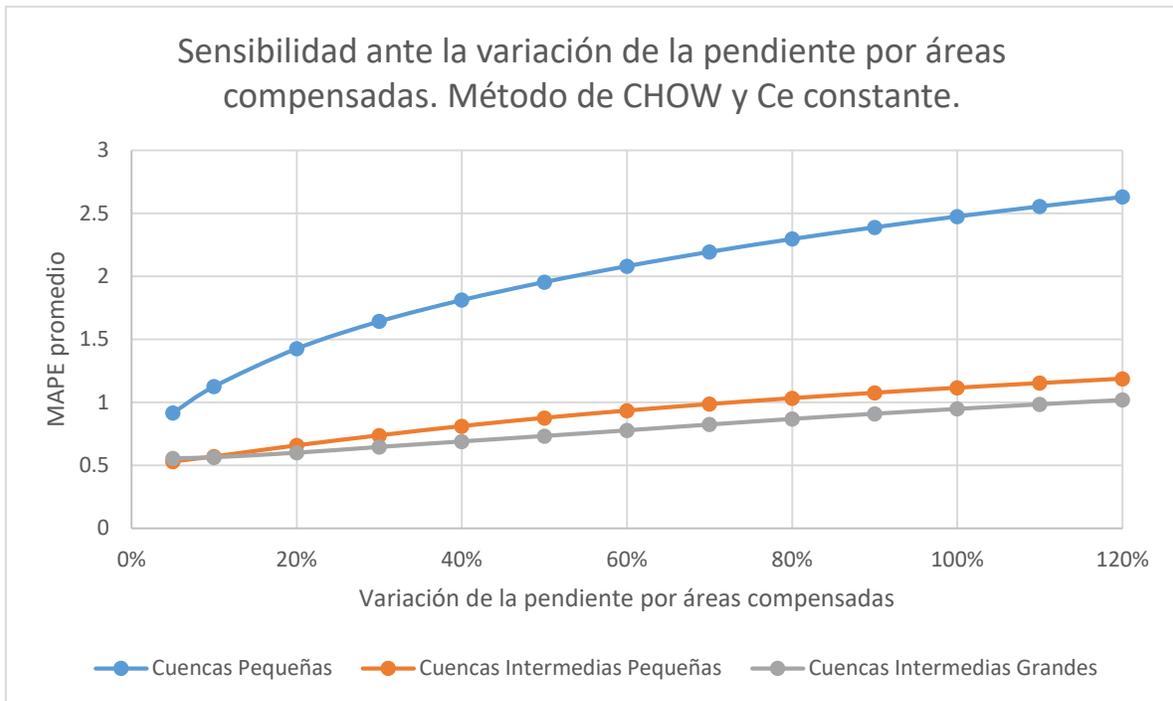


Ilustración 33. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método de Chow y coeficiente de escurrimiento constante.

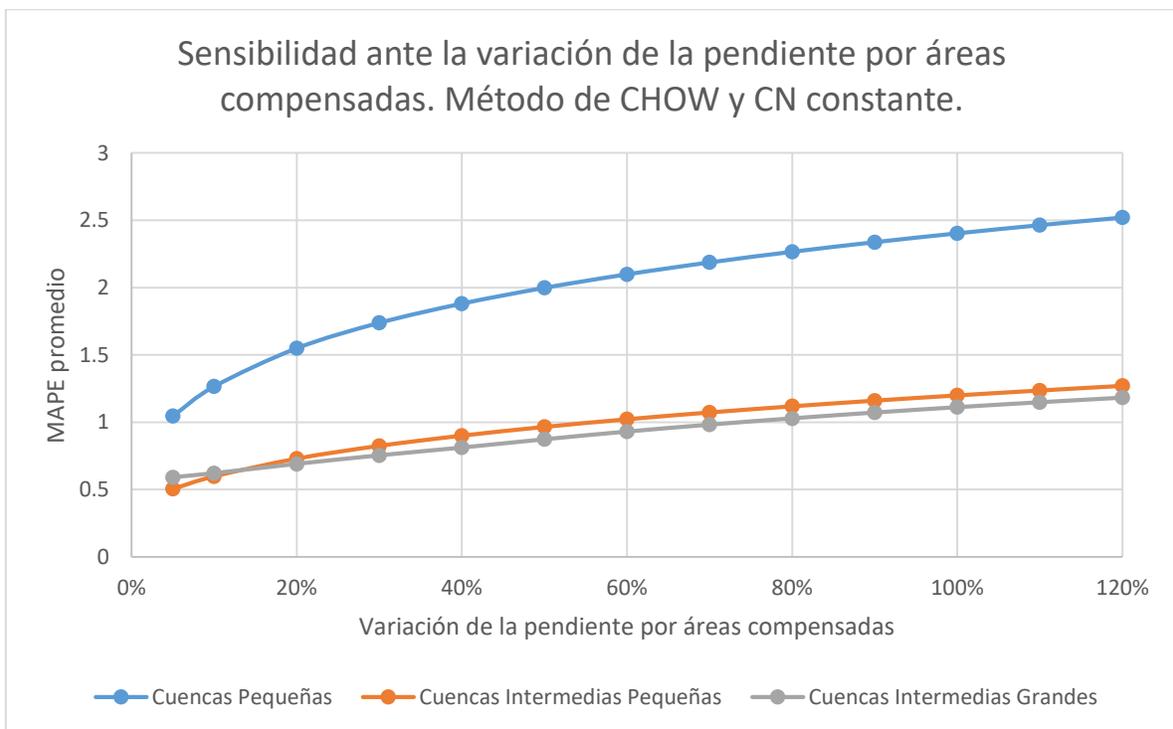


Ilustración 34. Sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas, método de Chow y números de escurrimiento constante.

SENSIBILIDAD EN EL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

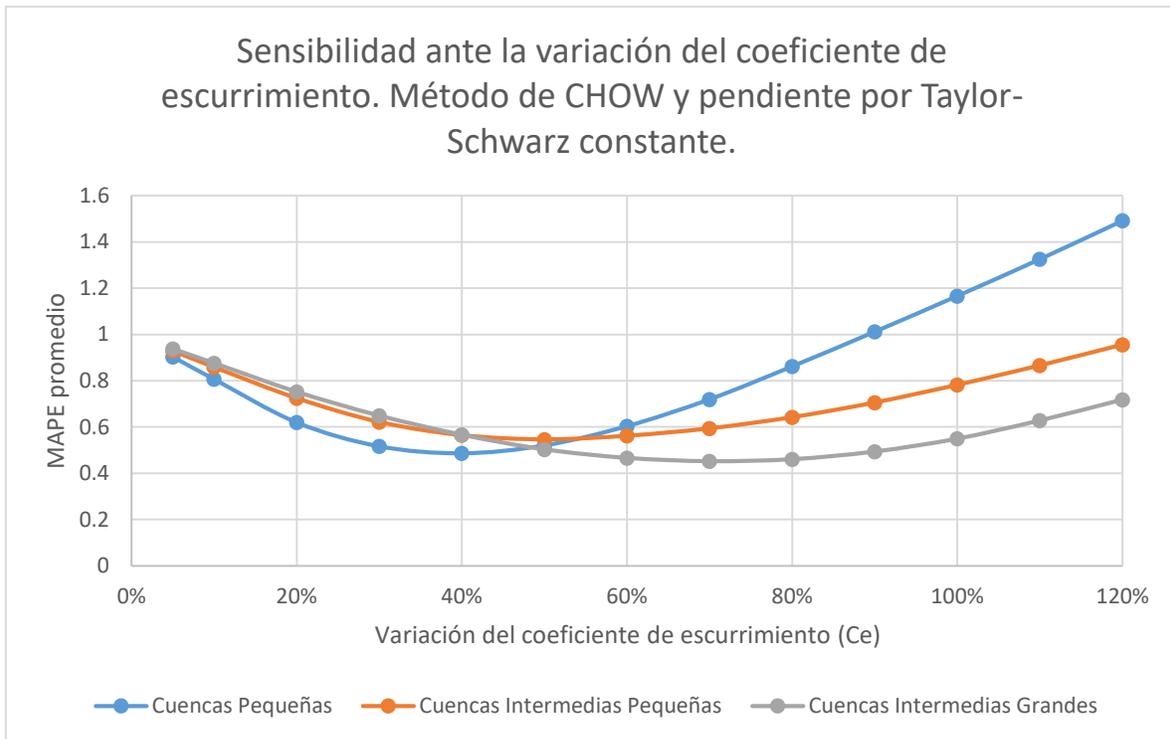


Ilustración 35. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método de Chow y pendiente por Taylor-Schwarz constante.

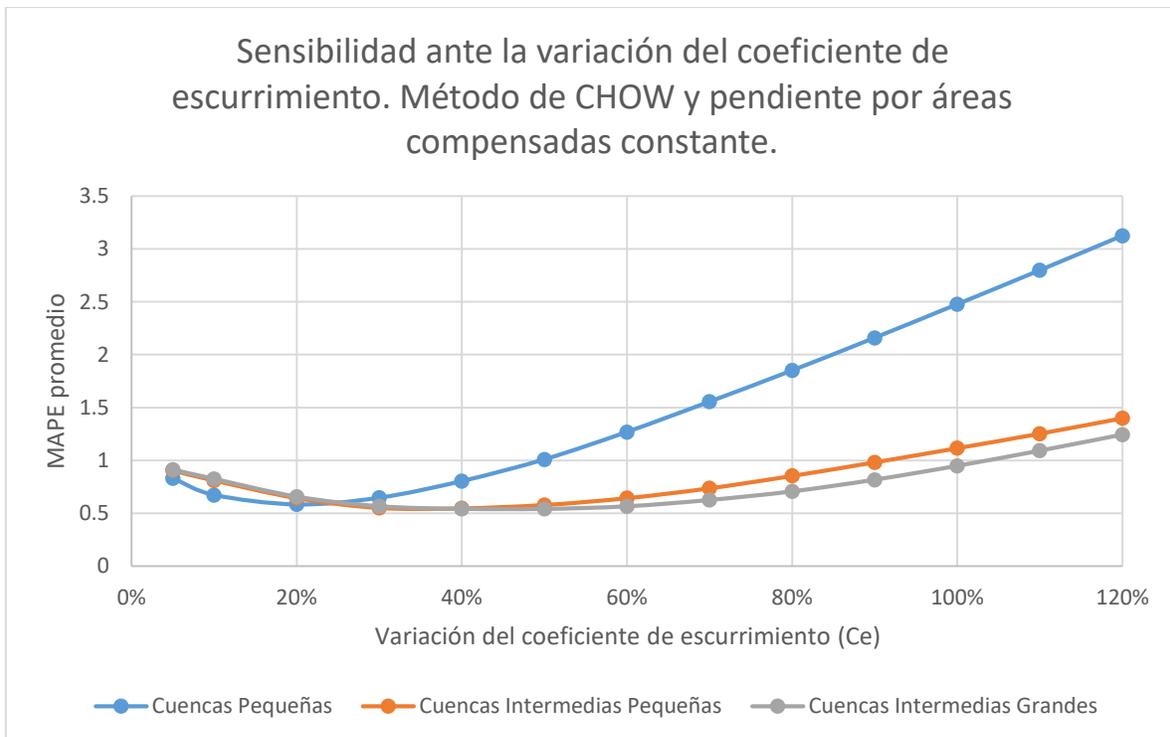


Ilustración 36. Sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento, método de Chow y pendiente por áreas compensadas constante.

SENSIBILIDAD EN EL NÚMERO DE ESCURRIMIENTOS

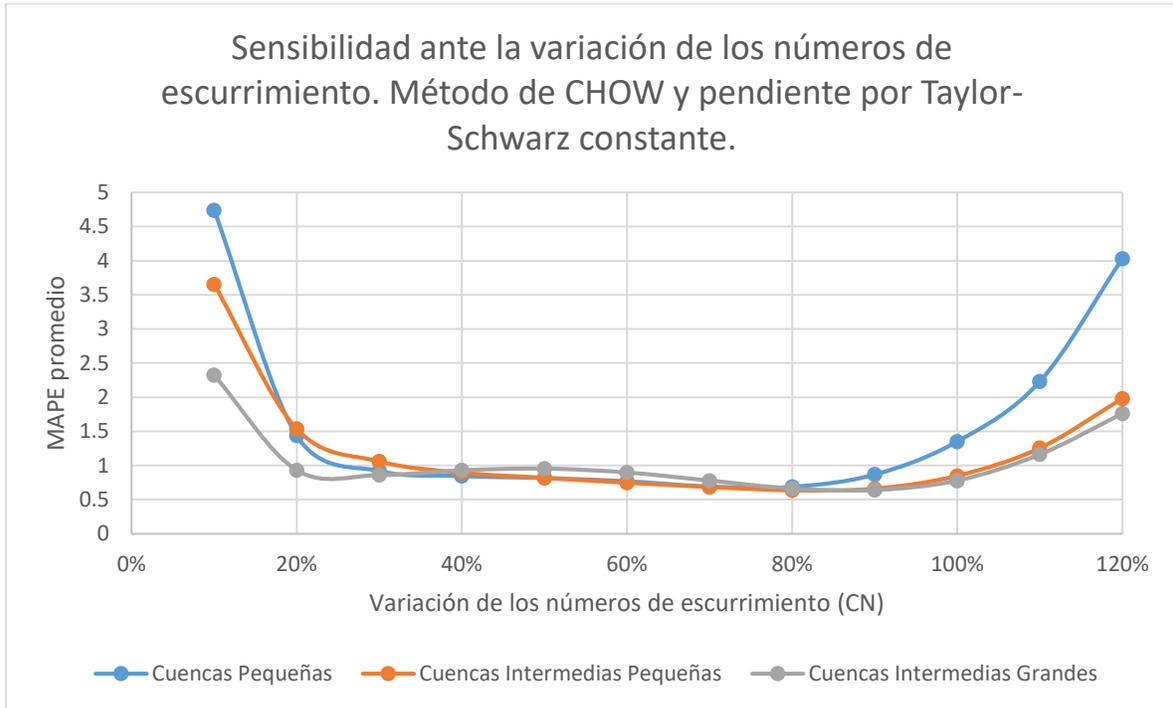


Ilustración 37. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método de Chow y pendiente por Taylor-Schwarz constante.

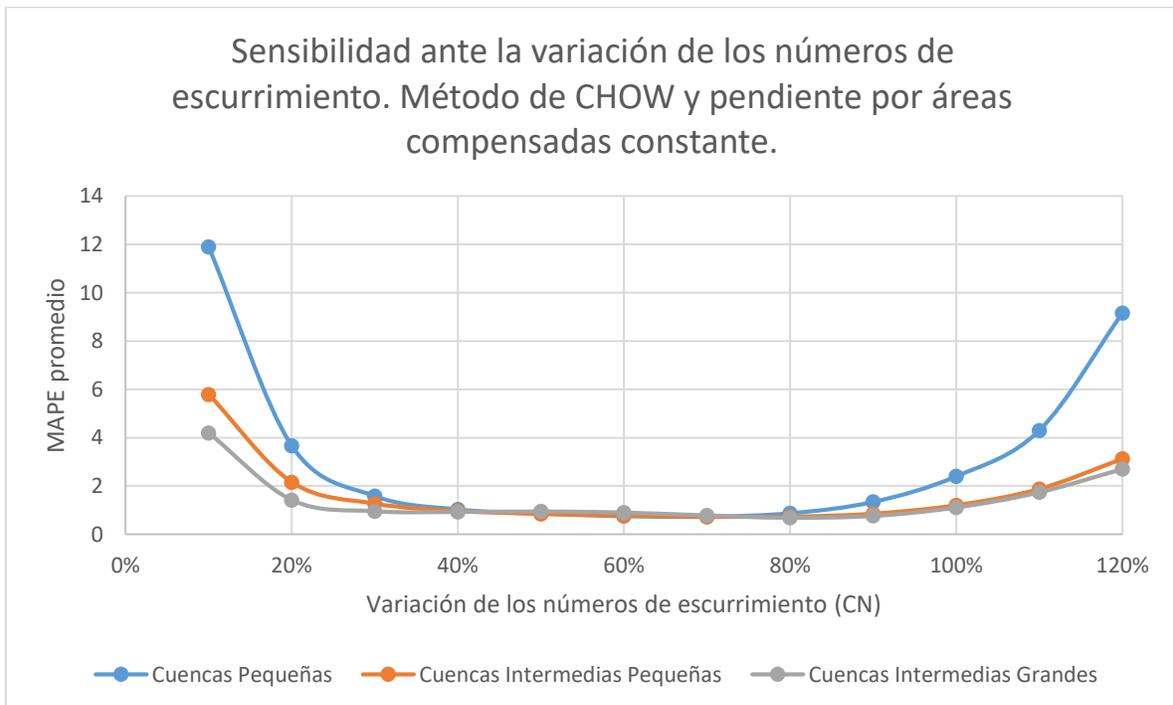


Ilustración 38. Sensibilidad variando los números de escurrimiento, método de Chow y pendiente por áreas compensadas constante.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD CON UN COEFICIENTE AGREGADO

Agregar un coeficiente añadido a cada combinación de modelo, como ejemplo, para el modelo Racional, tenemos $\hat{Q}_T = a(0.278C_T i_T^d A)$.

Los resultados del porcentaje de error medio MAPE de cada combinación posible de modelo, periodo de retorno y tamaño de cuenca se muestran en el anexo, y aquí mostraré solo dos gráficas para comparación, y las tablas de coeficientes agregados que minimizan el MAPE en cada modelo, periodo de retorno y tamaño de cuenca.

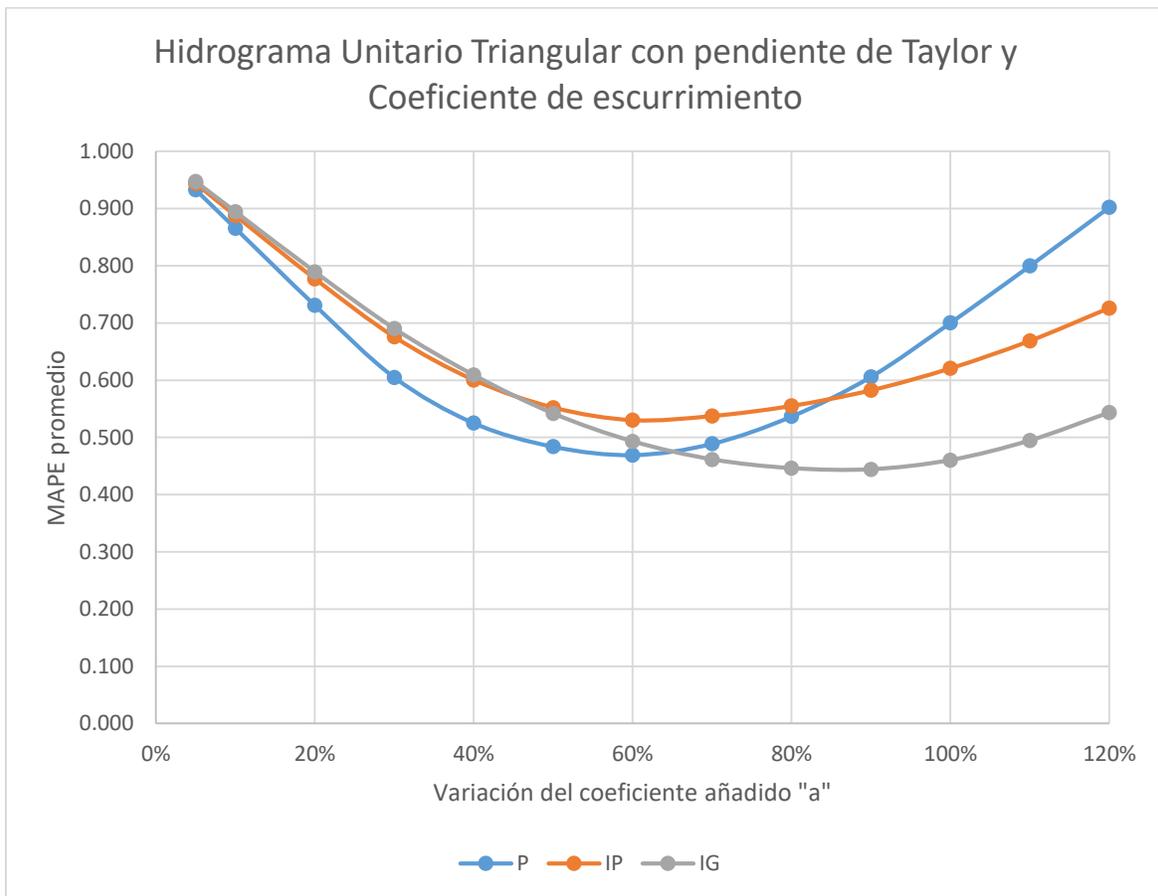


Ilustración 39. Sensibilidad variando el coeficiente añadido del modelo HUT, con pendiente de Taylor-Schwarz y C_e .

Los valores "a" más favorables resultan en 0.6 para las cuencas pequeñas, 0.6 para las cuencas intermedias pequeñas y 0.9 para cuencas intermedias grandes con un porcentaje de error medio MAPE de 0.47, 0.53 y 0.44 veces el gasto medido respectivamente.

Los resultados del análisis de sensibilidad de los modelos con coeficientes de escurrimiento y estos del coeficiente agregado son iguales, ya que el coeficiente de escurrimiento es un parámetro directamente proporcional a los gastos estimados. Los demás análisis tienen diferentes resultados debido a que los demás parámetros afectan los gastos estimados de forma indirecta (números de escurrimientos, pendientes del cauce principal).

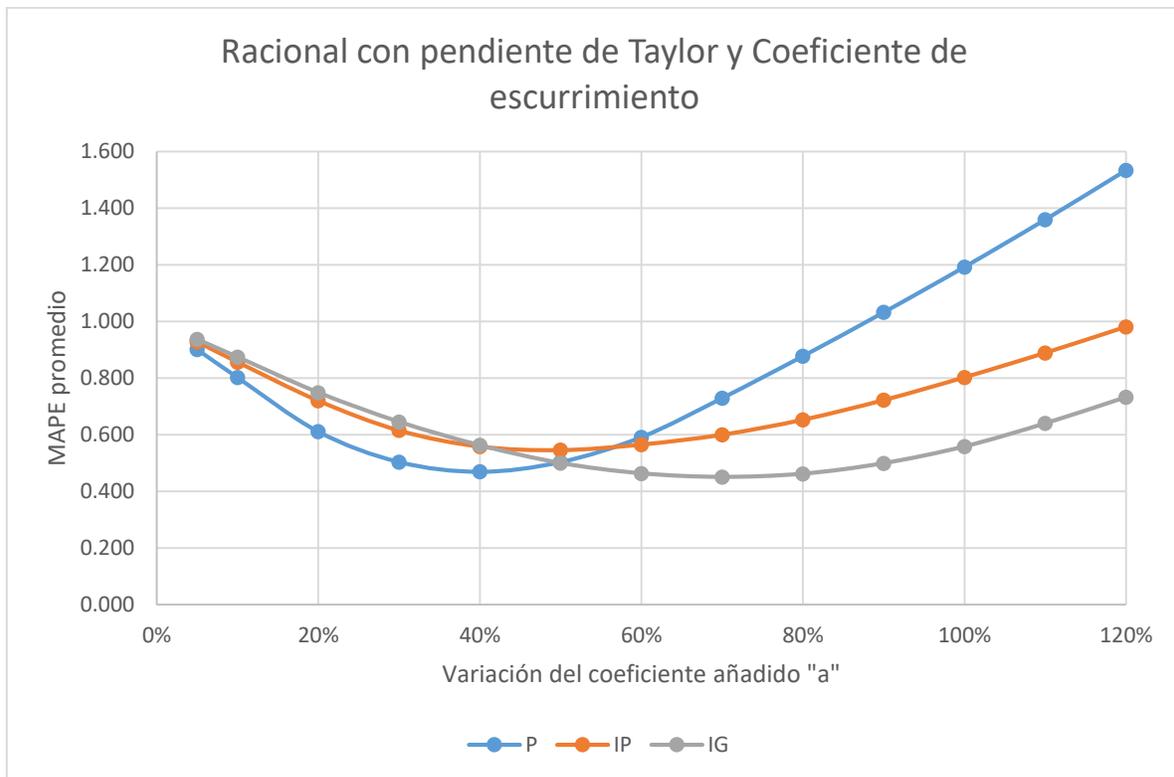


Ilustración 40. Sensibilidad variando el coeficiente añadido del modelo Racional, con pendiente de Taylor-Schwarz y Ce.

Para el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento el porcentaje del error medio MAPE más favorable ocurre cuando el coeficiente agregado vale 0.4 en las cuencas pequeñas, 0.5 en las cuencas intermedias pequeñas y 0.7 en las cuencas intermedias grandes.

El modelo HUT con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento es el mejor modelo por ambas pruebas de bondad de ajuste, y el modelo con mejor correlación con los gastos medidos, por ello es el que menos ocupa disminuir para obtener el porcentaje del error medio MAPE. Se refleja teniendo el coeficiente agregado "a" más grande en comparación con los demás modelos.

En las Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18 se muestran el coeficiente agregado que minimiza el porcentaje de error medio MAPE, conforme los resultados de análisis de sensibilidad mostrados en el Anexo, por cada modelo, a cada periodo de retorno y a cada tamaño de cuenca. También en las tablas se muestra el MAPE minino que se obtiene con el coeficiente agregado.

Si se desea obtener el mejor ajuste se debe multiplicar cada coeficiente agregado de cada periodo de retorno del modelo seleccionado, y si se desea tener un procedimiento más compacto solo se multiplica el coeficiente agregado de la columna MAPE promedio en cada periodo de retorno.

Cuencas Pequeñas		T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	100	500	1000	5000	10000	MAPE prom
R_T_Ce	Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
	MAPE	0.429	0.419	0.448	0.473	0.469	0.462	0.474	0.480	0.496	0.506	0.469
H_T_Ce	Coeficiente	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
	MAPE	0.431	0.418	0.448	0.470	0.468	0.463	0.468	0.477	0.496	0.505	0.469
C_T_Ce	Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
	MAPE	0.451	0.426	0.468	0.487	0.484	0.478	0.487	0.493	0.514	0.524	0.486
R_A_Ce	Coeficiente	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
	MAPE	0.615	0.518	0.562	0.595	0.599	0.601	0.607	0.611	0.619	0.614	0.597
H_A_Ce	Coeficiente	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	MAPE	0.584	0.510	0.559	0.592	0.601	0.603	0.579	0.576	0.580	0.589	0.595
C_A_Ce	Coeficiente	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	MAPE	0.585	0.495	0.557	0.607	0.601	0.590	0.574	0.573	0.585	0.592	0.583
R_T_CN	Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	MAPE	0.394	0.411	0.425	0.441	0.431	0.425	0.410	0.417	0.439	0.453	0.435
H_T_CN	Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	MAPE	0.393	0.411	0.427	0.445	0.430	0.413	0.405	0.418	0.448	0.462	0.427
C_T_CN	Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	MAPE	0.392	0.420	0.445	0.455	0.444	0.439	0.425	0.432	0.455	0.470	0.450
R_A_CN	Coeficiente	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2
	MAPE	0.531	0.473	0.519	0.572	0.561	0.546	0.538	0.549	0.584	0.587	0.551
H_A_CN	Coeficiente	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
	MAPE	0.528	0.466	0.517	0.575	0.564	0.547	0.542	0.534	0.545	0.557	0.553
C_A_CN	Coeficiente	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	MAPE	0.537	0.459	0.528	0.557	0.546	0.536	0.510	0.512	0.535	0.550	0.536

Tabla 16. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas pequeñas.

Cuencas Intermedia Pequeñas		T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	100	500	1000	5000	10000	MAPE prom
R_T_Ce	Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
	MAPE	0.515	0.514	0.516	0.531	0.542	0.546	0.551	0.551	0.558	0.561	0.546
H_T_Ce	Coeficiente	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6
	MAPE	0.496	0.503	0.507	0.518	0.534	0.532	0.538	0.539	0.543	0.546	0.530
C_T_Ce	Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
	MAPE	0.518	0.520	0.518	0.536	0.546	0.548	0.558	0.558	0.557	0.560	0.546
R_A_Ce	Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	MAPE	0.575	0.560	0.548	0.540	0.539	0.545	0.534	0.530	0.528	0.528	0.547
H_A_Ce	Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
	MAPE	0.556	0.542	0.532	0.525	0.532	0.531	0.533	0.529	0.520	0.522	0.538
C_A_Ce	Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
	MAPE	0.567	0.552	0.540	0.532	0.534	0.537	0.539	0.535	0.530	0.530	0.548
R_T_CN	Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	MAPE	0.471	0.470	0.480	0.483	0.501	0.507	0.515	0.517	0.523	0.527	0.499

H_T_CN	Coeficiente	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	MAPE	0.462	0.467	0.484	0.481	0.494	0.502	0.509	0.510	0.514	0.516	0.494
C_T_CN	Coeficiente	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	MAPE	0.467	0.469	0.482	0.480	0.492	0.499	0.506	0.508	0.512	0.516	0.494
R_A_CN	Coeficiente	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	MAPE	0.563	0.541	0.528	0.515	0.495	0.496	0.501	0.502	0.509	0.514	0.517
H_A_CN	Coeficiente	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
	MAPE	0.538	0.523	0.524	0.511	0.492	0.498	0.504	0.505	0.506	0.509	0.512
C_A_CN	Coeficiente	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
	MAPE	0.550	0.530	0.538	0.518	0.500	0.504	0.506	0.511	0.511	0.511	0.520

Tabla 17. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas intermedias pequeñas.

Cuencas Intermedias Grandes		T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	100	500	1000	5000	10000	MAPE prom
R_T_Ce	Coeficiente	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7
	MAPE	0.475	0.346	0.300	0.312	0.313	0.346	0.448	0.502	0.624	0.664	0.451
H_T_Ce	Coeficiente	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1	0.6	0.6	0.9
	MAPE	0.461	0.337	0.300	0.299	0.307	0.342	0.443	0.499	0.619	0.658	0.444
C_T_Ce	Coeficiente	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7
	MAPE	0.462	0.337	0.300	0.312	0.311	0.346	0.457	0.511	0.629	0.669	0.452
R_A_Ce	Coeficiente	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4
	MAPE	0.454	0.446	0.432	0.450	0.458	0.490	0.570	0.606	0.650	0.672	0.548
H_A_Ce	Coeficiente	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.6
	MAPE	0.443	0.421	0.400	0.416	0.423	0.452	0.538	0.581	0.641	0.665	0.523
C_A_Ce	Coeficiente	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5
	MAPE	0.450	0.436	0.430	0.435	0.446	0.475	0.555	0.599	0.658	0.679	0.542
R_T_CN	Coeficiente	0.3	0.5	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5
	MAPE	0.622	0.468	0.418	0.370	0.412	0.424	0.514	0.574	0.705	0.764	0.544
H_T_CN	Coeficiente	0.3	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.6
	MAPE	0.603	0.442	0.393	0.339	0.398	0.407	0.507	0.559	0.693	0.742	0.526
C_T_CN	Coeficiente	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5
	MAPE	0.608	0.454	0.409	0.358	0.409	0.419	0.523	0.583	0.711	0.769	0.544
R_A_CN	Coeficiente	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.4
	MAPE	0.577	0.435	0.370	0.360	0.399	0.457	0.584	0.631	0.715	0.743	0.555
H_A_CN	Coeficiente	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.5
	MAPE	0.568	0.423	0.352	0.346	0.383	0.425	0.551	0.608	0.690	0.722	0.530
C_A_CN	Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4
	MAPE	0.586	0.426	0.366	0.368	0.400	0.433	0.572	0.621	0.716	0.743	0.545

Tabla 18. Coeficiente agregado que minimiza el porcentaje del error medio MAPE en cada modelo y a cada periodo de retorno en las cuencas intermedias grandes.

En la primera columna se muestran las combinaciones de modelos posibles estudiadas en este estudio. En la primera columna se muestran los periodos de retorno $T_{año}$ en años, y el *MAPE prom* representa el MAPE empleando todos los periodos de retorno.

CONCLUSIONES

Haciendo la comparación entre las pruebas de bondad de ajuste del error estándar (EEA) y el porcentaje del error medio (MAPE) conseguimos describir su comportamiento. El EEA es la mejor prueba cuando me interesa que los valores estimados se apeguen bien a los mayores periodos de retorno así que se recomienda para obras hidráulicas de gran importancia y gran tamaño, y cuando se presentan tormentas ciclónicas.

El MAPE es la mejor prueba cuando quiero comparar estos resultados con otras cuencas ya que están normalizados (adimensionales) y, al asignarles el mismo peso a cada periodo de retorno, nos da los valores estimados que mejor se ajustan a todos los periodos de retorno. Por ello, en este trabajo, se emplea esta prueba para los análisis de sensibilidad.

Las propiedades de la cuenca con mayor correlación fueron el área de la cuenca, longitud del parteaguas, longitud de cauce principal, longitud de la red hídrica, el tiempo de concentración por áreas compensadas, el área conjunta de bosque y selva, el área de selvas, por lo que está bien hacer grupos por tamaño de cuenca en este trabajo. Algunas de estas propiedades están contempladas en los modelos lluvia-escurrimiento.

Las correlaciones entre los gastos estimados y los gastos medidos son peores en el tamaño de cuenca intermedios grandes en los periodos de retorno menor a 10 años y mayor a 100 años, como se observa en la Ilustración 11, por lo que no se recomienda su uso en esos periodos de retorno y tamaño de cuenca.

El mejor modelo para ambas pruebas de bondad de ajuste es el hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y coeficiente de escurrimiento. La frecuencia con la que ganó este modelo por la prueba MAPE es mayor que con la prueba del error estándar debido a las diferencias de estas pruebas mencionadas anteriormente.

Cuando se grafican los porcentajes del error medio promedios para cada periodo de retorno en los diferentes tamaños de cuenca se observa que los valores más pequeños se presentan en el grupo de cuencas intermedias pequeñas e intermedias grandes, Ilustración 11.

Los porcentajes de error medio MAPE más pequeños se encuentran entre los periodos de retorno entre 5 y 100 años de periodo de retorno para los diferentes tamaños de cuenca, así que se puede concluir que los modelos lluvias escurrimientos son muy buenos en este rango de periodo de retorno, mientras que empeora para periodos de retorno más grandes.

El análisis de sensibilidad explica que la razón por la cual el mejor modelo fue HUT con los parámetros condensados ya mencionados es que estos parámetros son los más pequeños (la pendiente por Taylor-Schwarz es menor que la pendiente por áreas).

Cuando la pendiente disminuye el tiempo de concentración aumenta, así como el tiempo de retraso. Cuando el tiempo de concentración aumenta (considerando que

el tiempo de concentración es la duración en exceso) la intensidad de precipitación disminuye, disminuyendo así los gastos estimados. Por ello, al ser menor la pendiente por Taylor-Schwarz que la pendiente por áreas compensadas la hace la mejor pendiente.

Cuando el coeficiente de escurrimiento disminuye el gasto estimado disminuye debido a que este parámetro es directamente proporcional, pero cuando disminuye demasiado las diferencias entre los gastos medidos y los gastos estimados vuelve a aumentar, para el mejor modelo (HUT y pendiente de Taylor) el valor MAPE más favorable ocurre entre el 50 y 90% del valor original.

Cuando los números de escurrimientos disminuyen algunos periodos de retorno disminuyen y otros aumentan, provocando una disminución del MAPE promedio muy pequeña hasta que disminuye tanto que todos los periodos de retorno aumentan haciendo que el MAPE promedio se dispare, debajo del 30% del valor real.

La respuesta de la variable dependiente (MAPE) ante la variación de los parámetros condensados del mejor modelo (HUT con pendiente de Taylor-Schwarz y C_e) es pequeña, haciendo que su pendiente sea casi horizontal, haciéndolo también el modelo menos sensible a cambios en los parámetros condensados.

Al agregar un coeficiente "a" y hacerlo variar en el análisis de sensibilidad demostramos que los gastos estimados por modelos lluvia-escurrimiento son mayores que los gastos medidos ya que al multiplicarlos por un número menor a uno se ajustan mejor a los gastos medidos. Y cuando los gastos estimados disminuyen mucho el error se vuelve a incrementar, encontrando que para el mejor modelo (HUT con pendiente de Taylor-Schwarz y C_e) el valor más favorable se obtiene con un coeficiente entre 0.60 y 0.90 dando un MAPE promedio aproximado de 0.50. Se concluye que haciendo las variaciones a los parámetros condensados en este estudio se puede llegar a obtener un MAPE promedio de 0.50, lo que significa un error de 0.50 veces el valor del gasto real. Para cuencas pequeñas este error no es tan grande y puede que no afecte tanto a la obra que se desee realizar, pero en cuencas grandes donde su gasto real es muy grande esta diferencia causa grandes diferencias económicas. Se recomienda emplear los modelos lluvias-escurrimiento en cuencas pequeñas e intermedias pequeñas, aplicando el coeficiente agregado para el modelo y/o periodo de retorno de interés que se elija cuando se sospeche que los gastos estimados resulten exagerados. Para cuencas intermedias grandes solo se recomienda usar cuando no haya más recursos, excluyendo el resultado del gasto estimado para periodos de retorno menores a 10 años y mayores a 100 años.

ANEXOS

ANEXO A. PROPIEDADES DE LAS CUENCAS EN EL ESTUDIO

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Área [km^2]	Parteaguas [km]	x [km]	y [km]	Zona UTM	m_p	Forma*
10057	BAMICORI	218.361	112.552	759.740	2919.360	12 N	2.148	3
12224	CHIQUITO	74.022	55.963	271.517	2173.519	14 N	1.834	3
12314	QUERENDARO	134.223	59.426	307.558	2183.976	14 N	1.446	2
12418	LOS CASTILLOS	100.619	59.745	228.230	2354.528	14 N	1.680	3
12499	LA PATIÑA	87.571	62.766	218.789	2352.014	14 N	1.891	3
12556	CERRO BLANCO	159.601	67.815	549.375	2359.443	13 N	1.514	3
12568	EL TEJOCOTE	176.492	71.768	408.652	2202.456	14 N	1.523	3
12574	LOS VELAZQUEZ	36.327	44.336	407.971	2138.634	14 N	2.074	3
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	166.932	67.096	403.629	2140.329	14 N	1.464	2
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	168.246	78.362	434.674	2164.887	14 N	1.704	3
13002	EL REFILION	186.034	79.431	517.460	2356.972	13 N	1.642	3
15009	LA ZOPILOTA	97.874	50.361	559.744	2174.431	13 N	1.436	2
15010	TECOMATES	154.768	70.369	562.548	2165.016	13 N	1.595	3
16021	SAN GREGORIO	158.920	70.966	673.905	2203.039	13 N	1.587	3
18269	ALPUYECA	110.338	67.817	469.439	2085.219	14 N	1.821	3
18291	A-10 TEXCALTITLAN	91.726	49.615	402.049	2098.118	14 N	1.461	2
18323	TETLAMA	67.203	39.755	468.614	2088.827	14 N	1.368	2
18403	TLALCHAPA	135.106	61.832	350.472	2040.573	14 N	1.500	3
18515	CUPATITZIO	247.190	89.769	804.711	2159.293	13 N	1.610	3
22026	ZANATEPEC	237.837	76.408	362.487	1833.709	15 N	1.397	2

x y y son el centroide de la cuenca.

m_p parámetro de forma.

Forma de la cuenca 1 - Casi redonda a oval redonda; 2 - De oval redonda a oval oblonga; 3 - De oval oblonga a rectangular.

Tabla 19. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Área [km^2]	Parteaguas [km]	x [km]	y [km]	Zona UTM	m_p	Forma*
11035	LA BALLONA	434.591	142.022	450.752	2510.033	13 N	1.921	3
12355	AGOSTADERO	366.046	136.360	795.962	2376.973	13 N	2.010	3
12371	VALLE DE GUADALUPE	326.666	100.998	755.068	2311.302	13 N	1.576	3
12535	CINCO SEÑORES	392.292	117.654	287.515	2319.056	14 N	1.675	3
15002	EL CHIFLON	359.688	100.411	545.238	2182.735	13 N	1.493	2
18225	CUAUTLA	306.119	99.562	524.164	2096.347	14 N	1.605	3
18236	AHUEHUEPAN	448.958	100.182	432.874	2044.557	14 N	1.333	2
18271	TEMIXCO	362.298	103.030	471.979	2107.263	14 N	1.526	3
19008	KM. 21 +000	296.181	95.082	414.170	1887.597	14 N	1.558	3
19009	PETATLAN	461.110	116.073	274.811	1952.550	14 N	1.524	3
22016	CHICAPA	417.587	132.751	322.194	1847.575	15 N	1.832	3
22018	OSTUTA	439.451	100.768	350.367	1842.683	13 N	1.356	2
23003	CAHUACAN	253.955	106.417	584.600	1651.417	15 N	1.883	3
23008	HUIXTLA	362.615	94.864	568.931	1687.361	15 N	1.405	2
23019	DESPOBLADO	277.266	97.552	558.721	1694.355	15 N	1.652	3
25027	CAMACHO	370.004	100.331	423.096	2745.652	14 N	1.471	2
25043	EL TOMASEÑO	397.151	121.579	435.973	2694.275	14 N	1.720	3
26247	LAS ROSAS	305.161	85.624	445.786	2214.146	14 N	1.382	2
26291	TANCUILIN	344.635	116.477	503.167	2354.959	14 N	1.769	3
26309	SAN LUIS AMECA II	317.671	114.949	522.781	2115.300	14 N	1.819	3

x y y son el centroide de la cuenca.

m_p parámetro de forma.

Forma de la cuenca 1 - Casi redonda a oval redonda; 2 - De oval redonda a oval oblonga; 3 - De oval oblonga a rectangular.

Tabla 20. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Área [km^2]	Parteaguas [km]	x [km]	y [km]	Zona UTM	m_p	Forma*
09068	TEZOCOMA	930.063	176.088	666.263	3080.119	12 N	1.628	3
10034	ZOPILOTE	655.341	157.887	776.605	2878.529	12 N	1.739	3
10083	EL QUELITE	824.262	211.137	360.431	2616.421	13 N	2.074	3
11070	LAS TORTUGAS	853.755	162.142	410.028	2576.719	13 N	1.565	3
12469	CUIXTLA	849.656	206.262	648.877	2353.120	13 N	1.995	3
13001	PASO DE AROCHA	504.418	158.099	511.293	2354.933	13 N	1.985	3
18193	YAUTEPEC	704.500	162.564	505.964	2102.764	14 N	1.727	3
18245	LOS SABINOS	575.367	152.768	415.609	2039.908	14 N	1.796	3
18264	ZACATEPEC	637.809	160.750	472.551	2095.039	13 N	1.795	3
19003	COYUQUILLA	549.596	127.197	287.997	1942.895	14 N	1.530	3

x y y son el centroide de la cuenca.
 m_p parámetro de forma.
 Forma de la cuenca 1 - Casi redonda a oval redonda; 2 - De oval redonda a oval oblonga; 3 - De oval oblonga a rectangular.

Tabla 21. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su área, parteaguas, coordenadas del centroide y parámetro de forma.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Pendiente de la cuenca	Elevación media [msnm]	Área sobre la curva hipsométrica	Área debajo de la curva hipsométrica	Relación hipsométrica
10057	BAMICORI	0.410645	388.88	150103.63	69829.11	2.1496
12224	CHIQUITO	0.388439	2203.05	43424.80	148774.26	0.2919
12314	QUERENDARO	0.367965	2454.62	103072.87	314887.01	0.3273
12418	LOS CASTILLOS	0.317880	2338.89	46989.94	228090.87	0.2060
12499	LA PATIÑA	0.256902	2103.57	71293.00	164110.09	0.4344
12556	CERRO BLANCO	0.332060	1068.78	93734.98	159438.06	0.5879
12568	EL TEJOCOTE	0.162514	2623.87	120286.05	441827.26	0.2722
12574	LOS VELAZQUEZ	0.152380	2866.11	61971.25	70981.30	0.8731
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	0.137815	2775.91	301505.31	309334.90	0.9747
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	0.195411	2775.36	333656.57	263079.04	1.2683
13002	EL REFILION	0.315240	1184.56	170312.61	191713.76	0.8884
15009	LA ZOPILOTA	0.391809	767.12	109735.99	58984.91	1.8604
15010	TECOMATES	0.364925	875.83	187573.23	115368.61	1.6259
16021	SAN GREGORIO	0.203661	2066.69	94628.31	286548.09	0.3302
18269	ALPUYECA	0.236973	1442.86	112047.82	137876.87	0.8127
18291	A-10 TEXCALTITLAN	0.276196	2721.27	41977.59	228523.92	0.1837
18323	TETLAMA	0.105038	1553.56	54184.77	91840.69	0.5900
18403	TLALCHAPA	0.319737	835.16	117334.24	91053.03	1.2886
18515	CUPATITZIO	0.200552	2207.47	301933.21	503270.25	0.5999
22026	ZANATEPEC	0.309397	669.99	281553.31	133404.19	2.1105

La pendiente de la cuenca se obtuvo con el método de Alvord.

Tabla 22. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Pendiente de la cuenca	Elevación media [msnm]	Área sobre la curva hipsométrica	Área debajo de la curva hipsométrica	Relación hipsométrica
11035	LA BALLONA	0.304708	229.04	283381.14	79711.97	3.5551
12355	AGOSTADERO	0.085257	1964.46	231469.84	625020.74	0.3703
12371	VALLE DE GUADALUPE	0.045916	2022.52	233294.99	625656.24	0.3729
12535	CINCO SEÑORES	0.202054	2176.44	337023.46	749437.41	0.4497
15002	EL CHIFLON	0.328960	796.72	688082.05	204999.02	3.3565
18225	CUAUTLA	0.216205	2388.11	987730.59	595242.19	1.6594
18236	AHUEHUEPAN	0.238874	3122.21	331346.27	1335351.23	0.2481
18271	TEMIXCO	0.156095	3210.12	293923.60	1051528.49	0.2795
19008	KM. 21 +000	0.153775	701.15	460949.04	173328.84	2.6594
19009	PETATLAN	0.326148	799.29	839168.48	305864.62	2.7436
22016	CHICAPA	0.248459	539.15	626439.22	176371.77	3.5518
22018	OSTUTA	0.261397	708.65	685032.60	255670.52	2.6794
23003	CAHUACAN	0.083809	476.59	782594.05	73174.89	10.6948
23008	HUIXTLA	0.331125	1277.06	524764.36	413247.87	1.2699
23019	DESPOBLADO	0.301974	1162.33	512461.32	279012.60	1.8367
25027	CAMACHO	0.229636	841.98	743106.36	205091.43	3.6233
25043	EL TOMASEÑO	0.312368	1001.01	494167.88	327226.54	1.5102
26247	LAS ROSAS	0.070975	2449.41	135154.71	708756.94	0.1907
26291	TANCUILIN	0.387700	788.51	491037.51	230532.72	2.1300
26309	SAN LUIS AMECA II	0.189936	2856.24	1042526.75	562753.01	1.8525

La pendiente de la cuenca se obtuvo con el método de Alvord.

Tabla 23. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Pendiente de la cuenca	Elevación media [msnm]	Área sobre la curva hipsométrica	Área debajo de la curva hipsométrica	Relación hipsométrica
09068	TEZOCOMA	0.232387	561.81	763790.66	440110.22	1.7355
10034	ZOPILOTE	0.182012	262.34	901432.79	108722.68	8.2911
10083	EL QUELITE	0.298331	306.38	967600.96	188817.13	5.1245
11070	LAS TORTUGAS	0.417268	574.80	1337051.40	391408.07	3.4160
12469	CUIXTLA	0.307783	1805.92	519066.66	1458707.60	0.3558
13001	PASO DE AROCHA	0.329513	1057.61	595392.78	474830.04	1.2539
18193	YAUTEPEC	0.156050	2310.52	1298771.7	1436077.5	0.9044
18245	LOS SABINOS	0.205110	1723.48	577518.57	923521.51	0.6253
18264	ZACATEPEC	0.122761	2090.38	1361430.88	1085533.80	1.2542
19003	COYUQUILLA	0.262428	892.59	893408.23	420545.77	2.1244
La pendiente de la cuenca se obtuvo con el método de Alvord.						

Tabla 24 Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su pendiente, elevación media y relación hipsométrica.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Longitud de cauce principal [km]	Longitud de la red hídrica [km]	Densidad de drenaje	Tipo de drenaje	Pendiente del cauce [A]	Pendiente del cauce [T]
10057	BAMICORI	40.180	1013.977	4.6436	3	0.012326	0.009634
12224	CHIQUITO	19.198	305.382	4.1256	3	0.115450	0.014152
12314	QUERENDARO	22.437	193.770	1.4436	2	0.113211	0.030991
12418	LOS CASTILLOS	23.522	62.859	0.6247	1	0.022974	0.002681
12499	LA PATIÑA	24.140	429.387	4.9033	3	0.094361	0.018917
12556	CERRO BLANCO	25.921	251.848	1.5780	3	0.049304	0.025123
12568	EL TEJOCOTE	21.155	270.582	1.5331	3	0.122006	0.000625
12574	LOS VELAZQUEZ	17.945	32.332	0.8900	1	0.019625	0.003672
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	20.450	106.925	0.6405	1	0.005465	0.001106
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	23.717	97.000	0.5765	1	0.016340	0.002026
13002	EL REFILION	37.780	289.977	1.5587	3	0.037068	0.016895
15009	LA ZOPILOTA	19.609	48.479	0.4953	1	0.018872	0.001685
15010	TECOMATES	24.255	79.804	0.5156	1	0.026907	0.001806
16021	SAN GREGORIO	18.590	68.913	0.4336	1	0.005742	0.000314
18269	ALPUYECA	30.534	81.291	0.7368	1	0.016499	0.002051
18291	A-10 TEXCALTITLAN	13.652	40.635	0.4430	1	0.018356	0.000555
18323	TETLAMA	10.670	16.445	0.2447	1	0.034305	0.023066
18403	TLALCHAPA	19.774	31.631	0.2341	1	0.022933	0.000918
18515	CUPATITZIO	25.048	70.443	0.2850	1	0.029556	0.001836
22026	ZANATEPEC	29.133	52.236	0.2196	1	0.014555	0.004918

Pendiente del cauce [A] es obtenida por el criterio de las áreas compensadas.

Pendiente del cauce [T] es obtenida por el método de Taylor-Schwarz.

Tipo de drenaje 1 – Drenaje regular; 2 – Drenaje normal; 3 – Buen drenaje.

Tabla 25. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Longitud de cauce principal [km]	Longitud de la red hídrica [km]	Densidad de drenaje	Tipo de drenaje	Pendiente del cauce [A]	Pendiente del cauce [T]
11035	LA BALLONA	63.079	644.801	1.4837	2	0.004398	0.004281
12355	AGOSTADERO	53.374	461.993	1.2621	2	0.038773	0.005966
12371	VALLE DE GUADALUPE	43.808	467.035	1.4297	2	0.049287	0.004202
12535	CINCO SEÑORES	46.995	560.340	1.4284	2	0.050217	0.009939
15002	EL CHIFLON	32.633	162.736	0.4524	1	0.013784	0.000893
18225	CUAUTLA	42.351	181.772	0.5938	1	0.031858	0.005197
18236	AHUEHUEPAN	34.207	107.782	0.2401	1	0.023396	0.004741
18271	TEMIXCO	39.319	95.798	0.2644	1	0.049361	0.017448
19008	KM. 21 +000	30.343	73.532	0.2483	1	0.018073	0.004732
19009	PETATLAN	53.494	98.645	0.2139	1	0.012364	0.004838
22016	CHICAPA	60.115	102.966	0.2466	1	0.006022	0.001695
22018	OSTUTA	32.186	101.934	0.2320	1	0.014561	0.003120
23003	CAHUACAN	48.502	77.017	0.3033	1	0.010699	0.004921
23008	HUIXTLA	39.979	71.312	0.1967	1	0.028512	0.012812
23019	DESPOBLADO	39.751	60.066	0.2166	1	0.034604	0.014702
25027	CAMACHO	39.525	104.933	0.2836	1	0.010266	0.004334
25043	EL TOMASEÑO	43.339	79.787	0.2009	1	0.011114	0.004470
26247	LAS ROSAS	32.466	73.993	0.2425	1	0.015071	0.006456
26291	TANCUILIN	42.823	82.918	0.2406	1	0.014130	0.002661
26309	SAN LUIS AMECA II	29.732	103.064	0.3244	1	0.016249	0.004688
Pendiente del cauce [A] es obtenida por el criterio de las áreas compensadas. Pendiente del cauce [T] es obtenida por el método de Taylor-Schwarz. Tipo de drenaje 1 – Drenaje regular; 2 – Drenaje normal; 3 – Buen drenaje.							

Tabla 26. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Longitud de cauce principal [km]	Longitud de la red hídrica [km]	Densidad de drenaje	Tipo de drenaje	Pendiente del cauce [A]	Pendiente del cauce [T]
09068	TEZOCOMA	54.506	1393.636	1.4984	2	0.011614	0.007310
10034	ZOPILOTE	67.704	965.934	1.4739	2	0.005810	0.003794
10083	EL QUELITE	81.456	1244.044	1.5093	3	0.004437	0.003054
11070	LAS TORTUGAS	73.029	1300.468	1.5258	3	0.007932	0.000804
12469	CUIXTLA	80.462	1194.533	1.4059	2	0.025983	0.013165
13001	PASO DE AROCHA	73.873	301.378	0.5975	1	0.020469	0.016346
18193	YAUTEPEC	52.452	223.951	0.3179	1	0.024444	0.001922
18245	LOS SABINOS	49.162	84.981	0.1477	1	0.025708	0.002982
18264	ZACATEPEC	65.070	114.003	0.1787	1	0.022411	0.007790
19003	COYUQUILLA	40.779	60.253	0.1096	1	0.015436	0.004405
Pendiente del cauce [A] es obtenida por el criterio de las áreas compensadas. Pendiente del cauce [T] es obtenida por el método de Taylor-Schwarz. Tipo de drenaje 1 – Drenaje regular; 2 – Drenaje normal; 3 – Buen drenaje.							

Tabla 27. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su longitud de cauce principal, longitud de red hídrica, densidad de drenaje, pendiente del cauce principal por Taylor-Schwarz y por áreas compensadas.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Área de Pastizal [%]	Área Agrícola [%]	Área Urbana [%]	Área de Bosque [%]	Área de Selva [%]	Área de Cuerpos de agua [%]
10057	BAMICORI	0.000	32.144	0.290	0.378	67.187	0.000
12224	CHIQUITO	0.000	30.843	10.559	58.598	0.000	0.000
12314	QUERENDARO	0.000	24.707	1.343	62.238	11.712	0.000
12418	LOS CASTILLOS	25.107	12.417	0.438	51.210	10.827	0.000
12499	LA PATIÑA	14.741	8.086	3.921	23.302	49.851	0.099
12556	CERRO BLANCO	0.000	31.001	0.714	36.975	29.401	1.910
12568	EL TEJOCOTE	0.000	65.396	0.529	33.597	0.000	0.478
12574	LOS VELAZQUEZ	0.000	65.603	0.000	34.397	0.000	0.000
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	0.000	77.950	0.000	20.850	0.000	0.702
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	0.000	73.772	0.000	25.359	0.000	0.869
13002	EL REFILION	0.000	27.066	0.000	71.887	1.047	0.000
15009	LA ZOPILOTA	0.000	51.581	0.101	38.700	9.618	0.000
15010	TECOMATES	0.000	24.560	1.145	70.288	4.007	0.000
16021	SAN GREGORIO	0.000	38.737	0.000	61.263	0.000	0.000
18269	ALPUYECA	0.000	36.017	3.520	41.301	19.162	0.000
18291	A-10 TEXCALTITLAN	0.000	53.746	0.000	46.254	0.000	0.000
18323	TETLAMA	0.000	41.480	0.000	54.395	4.125	0.000
18403	TLALCHAPA	0.000	11.352	1.967	76.991	9.689	0.000
18515	CUPATITZIO	0.000	37.103	5.460	57.438	0.000	0.000
22026	ZANATEPEC	0.000	18.454	0.405	47.864	33.278	0.000

Tabla 28. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Área de Pastizal [%]	Área Agrícola [%]	Área Urbana [%]	Área de Bosque [%]	Área de Selva [%]	Área de Cuerpos de agua [%]
11035	LA BALLONA	0.000	12.075	0.000	23.649	64.276	0.000
12355	AGOSTADERO	31.071	49.492	0.000	18.885	0.000	0.552
12371	VALLE DE GUADALUPE	40.757	46.891	0.901	2.177	8.363	0.912
12535	CINCO SEÑORES	29.870	24.091	0.000	45.765	0.000	0.274
15002	EL CHIFLON	0.000	35.501	0.314	60.552	3.633	0.000
18225	CUAUTLA	1.824	62.081	2.858	33.238	0.000	0.000
18236	AHUEHUEPAN	0.000	21.485	1.563	52.439	24.513	0.000
18271	TEMIXCO	0.000	13.202	15.715	71.024	0.000	0.059
19008	KM. 21 +000	0.000	33.104	1.219	46.240	19.231	0.000
19009	PETATLAN	0.000	22.392	0.617	46.001	30.991	0.000
22016	CHICAPA	0.000	11.788	0.653	35.493	52.065	0.000
22018	OSTUTA	0.000	0.644	0.000	62.533	36.823	0.000
23003	CAHUACAN	0.114	87.515	7.866	4.506	0.000	0.000
23008	HUIXTLA	0.000	57.782	0.958	41.238	0.021	0.000
23019	DESPOBLADO	0.000	43.343	0.000	38.881	17.776	0.000
25027	CAMACHO	24.734	28.810	0.563	45.850	0.000	0.043
25043	EL TOMASEÑO	19.412	20.988	0.208	59.393	0.000	0.000
26247	LAS ROSAS	2.520	61.343	1.249	34.412	0.000	0.475
26291	TANCUILIN	0.000	29.452	0.119	17.256	53.172	0.000
26309	SAN LUIS AMECA II	5.099	52.955	2.258	39.688	0.000	0.000

Tabla 29. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Área de Pastizal [%]	Área Agrícola [%]	Área Urbana [%]	Área de Bosque [%]	Área de Selva [%]	Área de Cuerpos de agua [%]
09068	TEZOCOMA	0.000	38.655	0.204	6.699	54.441	0.000
10034	ZOPILOTE	0.000	40.868	0.138	18.457	40.517	0.020
10083	EL QUELITE	0.000	19.056	0.000	10.481	70.464	0.000
11070	LAS TORTUGAS	0.000	7.597	0.076	56.491	35.836	0.000
12469	CUIXTLA	0.000	18.321	0.297	68.741	12.641	0.000
13001	PASO DE AROCHA	0.000	32.704	0.000	48.729	15.925	0.000
18193	YAUTEPEC	0.251	60.141	3.322	32.088	4.198	0.000
18245	LOS SABINOS	0.000	26.261	0.500	47.367	25.872	0.000
18264	ZACATEPEC	0.000	27.687	15.344	50.572	6.364	0.034
19003	COYUQUILLA	0.000	44.709	0.129	50.463	4.699	0.000

Tabla 30. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con su área en porcentaje de pastizales, agricultura, urbanización, bosques y cuerpos de agua.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Ce [2 años]	Ce [5 años]	Ce [10 años]	Ce [25 años]	Ce [50 años]	Ce [100 años]	Ce [500 años]
10057	BAMICORI	0.3629	0.3997	0.4197	0.4597	0.4897	0.5265	0.5897
12224	CHIQUITO	0.4523	0.4948	0.5183	0.5642	0.5990	0.6414	0.7084
12314	QUERENDARO	0.3602	0.3975	0.4175	0.4575	0.4875	0.5251	0.5877
12418	LOS CASTILLOS	0.3601	0.3963	0.4163	0.4563	0.4863	0.5250	0.5888
12499	LA PATIÑA	0.3570	0.3943	0.4143	0.4543	0.4843	0.5235	0.5862
12556	CERRO BLANCO	0.3628	0.3996	0.4196	0.4596	0.4896	0.5264	0.5896
12568	EL TEJOCOTE	0.3765	0.4099	0.4299	0.4699	0.4999	0.5333	0.5999
12574	LOS VELAZQUEZ	0.3762	0.4097	0.4297	0.4697	0.4997	0.5331	0.5997
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	0.3816	0.4137	0.4337	0.4737	0.5037	0.5358	0.6037
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	0.3798	0.4123	0.4323	0.4723	0.5023	0.5349	0.6023
13002	EL REFILION	0.3500	0.3900	0.4100	0.4500	0.4800	0.5200	0.5800
15009	LA ZOPILOTA	0.3703	0.4051	0.4251	0.4650	0.4950	0.5298	0.5949
15010	TECOMATES	0.3601	0.3975	0.4175	0.4575	0.4875	0.5250	0.5876
16021	SAN GREGORIO	0.3655	0.4016	0.4216	0.4616	0.4916	0.5277	0.5916
18269	ALPUYECA	0.3651	0.4012	0.4212	0.4612	0.4912	0.5276	0.5915
18291	A-10 TEXCALTITLAN	0.3715	0.4061	0.4261	0.4661	0.4961	0.5307	0.5961
18323	TETLAMA	0.3666	0.4024	0.4224	0.4624	0.4924	0.5283	0.5924
18403	TLALCHAPA	0.3496	0.3883	0.4094	0.4483	0.4794	0.5183	0.5823
18515	CUPATITZIO	0.3659	0.4017	0.4217	0.4617	0.4917	0.5280	0.5922
22026	ZANATEPEC	0.3575	0.3956	0.4156	0.4556	0.4856	0.5237	0.5856

Tabla 31. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Ce [2 años]	Ce [5 años]	Ce [10 años]	Ce [25 años]	Ce [50 años]	Ce [100 años]	Ce [500 años]
11035	LA BALLONA	0.3548	0.3936	0.4136	0.4536	0.4836	0.5224	0.5836
12355	AGOSTADERO	0.3562	0.3881	0.4131	0.4481	0.4831	0.5181	0.5962
12371	VALLE DE GUADALUPE	0.3416	0.3727	0.3974	0.4327	0.4674	0.5027	0.5566
12535	CINCO SEÑORES	0.3657	0.4002	0.4202	0.4602	0.4902	0.5278	0.5932
15002	EL CHIFLON	0.3639	0.4003	0.4203	0.4603	0.4903	0.5268	0.5905
18225	CUAUTLA	0.3758	0.4091	0.4291	0.4691	0.4991	0.5329	0.5996
18236	AHUEHUEPAN	0.3589	0.3966	0.4166	0.4566	0.4866	0.5245	0.5868
18271	TEMIXCO	0.3521	0.3892	0.4092	0.4492	0.4792	0.5179	0.5840
19008	KM. 21 +000	0.3635	0.4001	0.4201	0.4601	0.4901	0.5268	0.5902
19009	PETATLAN	0.3588	0.3965	0.4165	0.4565	0.4865	0.5243	0.5867
22016	CHICAPA	0.3538	0.3925	0.4125	0.4525	0.4825	0.5213	0.5829
22018	OSTUTA	0.3503	0.3902	0.4102	0.4502	0.4802	0.5201	0.5802
23003	CAHUACAN	0.3484	0.3789	0.4077	0.4389	0.4777	0.5089	0.5975
23008	HUIXTLA	0.3729	0.4070	0.4270	0.4670	0.4970	0.5313	0.5973
23019	DESPOBLADO	0.3673	0.4030	0.4230	0.4630	0.4930	0.5287	0.5930
25027	CAMACHO	0.3429	0.3774	0.3974	0.4374	0.4674	0.5074	0.5818
25043	EL TOMASEÑO	0.3537	0.3896	0.4117	0.4496	0.4817	0.5196	0.5880
26247	LAS ROSAS	0.3508	0.3842	0.4105	0.4442	0.4804	0.5142	0.5932
26291	TANCUILIN	0.3618	0.3988	0.4188	0.4588	0.4888	0.5259	0.5889
26309	SAN LUIS AMECA II	0.3718	0.4057	0.4257	0.4657	0.4957	0.5304	0.5969

Tabla 32. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Ce [2 años]	Ce [5 años]	Ce [10 años]	Ce [25 años]	Ce [50 años]	Ce [100 años]	Ce [500 años]
09068	TEZOCOMA	0.3508	0.3869	0.4109	0.4471	0.4810	0.5172	0.5890
10034	ZOPILOTE	0.3500	0.3859	0.4100	0.4459	0.4800	0.5159	0.5882
10083	EL QUELITE	0.3576	0.3957	0.4157	0.4557	0.4857	0.5238	0.5857
11070	LAS TORTUGAS	0.3530	0.3922	0.4122	0.4522	0.4822	0.5214	0.5822
12469	CUIXTLA	0.3574	0.3955	0.4155	0.4555	0.4855	0.5237	0.5856
13001	PASO DE AROCHA	0.3634	0.4001	0.4201	0.4601	0.4901	0.5267	0.5901
18193	YAUTEPEC	0.3748	0.4084	0.4284	0.4684	0.4984	0.5324	0.5988
18245	LOS SABINOS	0.3604	0.3977	0.4177	0.4577	0.4877	0.5251	0.5879
18264	ZACATEPEC	0.3580	0.3937	0.4137	0.4537	0.4837	0.5209	0.5883
19003	COYUQUILLA	0.3679	0.4034	0.4234	0.4634	0.4934	0.5289	0.5934

Tabla 33. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus coeficientes de escurrimientos a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	Suelo tipo A [%]	Suelo tipo B [%]	Suelo tipo C [%]	Suelo tipo D [%]	CN	CN Corregido	Factor de convectividad R
10057	BAMICORI	0.000	79.662	2.090	18.248	68.229	83.645	0.6
12224	CHIQUITO	0.000	16.422	3.647	71.339	78.712	90.442	0.6
12314	QUERENDARO	4.134	0.000	0.000	95.866	77.731	92.820	0.6
12418	LOS CASTILLOS	0.000	21.627	75.662	2.710	69.662	84.503	0.6
12499	LA PATIÑA	0.000	21.116	1.896	76.889	74.105	87.538	0.6
12556	CERRO BLANCO	0.000	53.586	18.225	26.279	68.915	84.060	0.6
12568	EL TEJOCOTE	0.000	20.155	22.779	56.588	80.055	91.262	0.6
12574	LOS VELAZQUEZ	36.784	0.000	31.539	31.677	70.356	84.956	0.6
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	26.847	0.000	43.211	28.714	77.005	89.400	0.6
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	33.183	0.000	21.626	44.030	72.931	86.750	0.6
13002	EL REFILION	2.043	33.166	3.065	60.940	71.578	86.609	0.6
15009	LA ZOPILOTA	0.000	65.616	20.110	14.273	70.343	84.946	0.3
15010	TECOMATES	0.000	9.436	10.682	79.882	77.552	89.738	0.3
16021	SAN GREGORIO	33.359	4.263	0.022	62.356	65.777	82.090	0.6
18269	ALPUYECA	1.421	22.009	41.762	34.808	74.256	87.638	0.6
18291	A-10 TEXCALTITLAN	35.748	0.766	0.000	63.486	73.028	86.816	0.6
18323	TETLAMA	2.249	0.000	64.799	32.952	77.144	89.487	0.6
18403	TLALCHAPA	0.000	62.494	24.847	12.659	63.262	80.383	0.6
18515	CUPATITZIO	85.200	14.603	0.000	0.000	46.002	66.242	0.6
22026	ZANATEPEC	2.769	54.086	18.773	24.373	65.713	82.048	0.3

CN es el número de curva, en todos los casos se necesitó corregir ya que la mayoría de tormentas máximas tuvieron precipitación antecedente

Tabla 34. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de convectividad.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	Suelo tipo A [%]	Suelo tipo B [%]	Suelo tipo C [%]	Suelo tipo D [%]	CN	CN Corregido	Factor de conectividad R
11035	LA BALLONA	1.234	42.564	40.363	15.822	80.361	91.611	0.3
12355	AGOSTADERO	0.000	56.693	36.706	2.521	75.301	88.320	0.6
12371	VALLE DE GUADALUPE	0.000	0.000	4.130	94.958	82.451	92.579	0.6
12535	CINCO SEÑORES	0.000	17.499	58.060	24.167	74.309	87.672	0.6
15002	EL CHIFLON	0.000	59.771	4.471	35.758	69.717	84.535	0.3
18225	CUAUTLA	81.033	14.624	0.000	4.343	57.035	75.836	0.6
18236	AHUEHUEPAN	0.840	33.107	28.126	37.927	71.053	85.451	0.6
18271	TEMIXCO	75.175	4.312	16.811	3.702	41.965	62.123	0.6
19008	KM. 21 +000	0.000	89.779	1.724	8.497	64.795	81.437	0.3
19009	PETATLAN	1.349	71.958	0.116	26.577	64.970	81.555	0.3
22016	CHICAPA	4.576	23.955	9.527	61.942	70.703	85.203	0.3
22018	OSTUTA	4.193	45.978	3.125	46.704	64.571	81.286	0.3
23003	CAHUACAN	11.854	0.000	2.752	85.394	83.948	93.381	0.6
23008	HUIXTLA	1.245	26.257	0.280	72.218	78.599	90.374	0.6
23019	DESPOBLADO	16.103	21.102	0.000	48.779	77.453	89.677	0.6
25027	CAMACHO	0.000	65.348	0.000	34.652	65.668	82.018	0.3
25043	EL TOMASEÑO	0.000	76.318	23.682	0.000	60.905	78.681	0.3
26247	LAS ROSAS	0.000	1.633	25.635	72.732	82.545	92.631	0.6
26291	TANCUILIN	0.000	73.533	7.048	19.419	66.224	82.382	0.3
26309	SAN LUIS AMECA II	69.259	25.486	5.255	0.000	53.899	73.357	0.6
CN es el número de curva, en todos los casos se necesitó corregir ya que la mayoría de tormentas máximas tuvieron precipitación antecedente								

Tabla 35. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de conectividad.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	Suelo tipo A [%]	Suelo tipo B [%]	Suelo tipo C [%]	Suelo tipo D [%]	CN	CN Corregido	Factor de conectividad R
09068	TEZOCOMA	0.000	19.411	47.669	32.812	74.801	87.891	0.6
10034	ZOPILOTE	0.000	48.802	17.694	33.483	70.853	85.732	0.6
10083	EL QUELITE	1.933	56.078	17.769	24.221	66.615	82.634	0.3
11070	LAS TORTUGAS	0.000	80.363	0.000	19.636	60.457	78.595	0.3
12469	CUIXTLA	0.057	43.482	26.912	29.313	68.352	83.720	0.6
13001	PASO DE AROCHA	9.154	17.792	7.790	54.380	72.985	88.312	0.6
18193	YAUTEPEC	55.539	39.138	2.111	3.212	60.475	78.359	0.6
18245	LOS SABINOS	0.000	55.535	0.769	43.695	69.793	84.580	0.6
18264	ZACATEPEC	43.200	17.659	19.527	19.615	56.771	75.636	0.6
19003	COYUQUILLA	0.930	40.658	0.000	58.412	75.739	88.601	0.3

CN es el número de curva, en todos los casos se necesitó corregir ya que la mayoría de tormentas máximas tuvieron precipitación antecedente

Tabla 36. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus áreas en porcentajes de los suelos hidrológicos, número de curva con su corrección por precipitación antecedente, y factor regional de conectividad.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	n_{hp}	\bar{x}_{hp}	s_{hp}	g_{hp}	k_{hp}	cv_{hp}	β_{hp}	$hp_{2 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{5 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{10 \text{ años}}$ [mm]
10057	BAMICORI	59	74.662	29.030	2.778	13.548	0.389	-0.191	68.83	86.48	101.00
12224	CHIQUITO	80	33.537	14.043	1.502	5.416	0.419	-0.174	29.87	41.53	53.42
12314	QUERENDARO	61	36.370	10.851	1.249	4.964	0.298	-0.059	34.25	43.70	50.32
12418	LOS CASTILLOS	69	50.516	15.249	0.906	3.074	0.302	-0.083	46.13	63.43	72.53
12499	LA PATIÑA	70	48.485	17.485	1.361	4.954	0.361	-0.136	44.50	58.99	72.43
12556	CERRO BLANCO	47	79.446	18.788	0.572	2.400	0.236	0.100	75.13	94.99	107.56
12568	EL TEJOCOTE	59	42.953	15.381	1.448	5.540	0.358	-0.111	39.45	51.75	62.26
12574	LOS VELAZQUEZ	55	34.193	16.221	1.524	6.552	0.474	-0.105	30.27	45.10	56.22
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	54	32.748	10.870	0.998	3.675	0.332	-0.058	30.38	41.05	48.13
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	56	36.463	10.344	1.422	8.029	0.284	-0.076	34.94	44.41	50.68
13002	EL REFILION	52	70.818	23.071	1.015	3.509	0.326	-0.103	66.49	87.29	107.73
15009	LA ZOPILOTA	45	83.227	30.836	1.303	4.632	0.371	-0.162	74.09	104.99	127.30
15010	TECOMATES	53	91.352	33.596	0.873	3.055	0.368	-0.062	82.16	122.96	142.36
16021	SAN GREGORIO	72	47.852	16.488	1.380	6.771	0.345	-0.068	44.62	58.70	68.63
18269	ALPUYECA	62	49.444	11.983	1.010	4.231	0.242	-0.003	47.22	58.00	65.31
18291	A-10 TEXCALTITLAN	37	38.867	8.426	0.985	5.498	0.217	-0.024	37.69	45.88	51.30
18323	TETLAMA	60	51.701	11.158	0.749	3.046	0.216	0.004	49.27	61.22	68.82
18403	TLALCHAPA	51	70.673	13.564	0.500	2.425	0.192	0.071	68.12	83.49	89.86
18515	CUPATITZIO	35	87.032	24.779	1.168	3.746	0.285	-0.136	80.20	103.90	133.40
22026	ZANATEPEC	37	149.179	84.855	1.349	4.636	0.569	-0.216	120.25	206.73	272.13

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de precipitación máxima 24 horas, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 37. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	n_{hp}	\bar{x}_{hp}	s_{hp}	g_{hp}	k_{hp}	cv_{hp}	β_{hp}	$hp_{2 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{5 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{10 \text{ años}}$ [mm]
11035	LA BALLONA	54	109.836	31.272	0.766	3.544	0.285	0.002	105.87	134.24	151.78
12355	AGOSTADERO	76	46.872	20.408	1.339	5.065	0.435	-0.126	42.08	60.33	73.64
12371	VALLE DE GUADALUPE	67	50.954	14.864	1.099	4.985	0.292	-0.002	48.50	61.71	70.45
12535	CINCO SEÑORES	73	39.941	14.603	2.359	9.817	0.366	-0.218	36.70	45.83	54.32
15002	EL CHIFLON	51	66.096	26.788	1.458	5.174	0.405	-0.176	57.98	84.53	103.91
18225	CUAUTLA	42	44.814	13.509	0.942	4.380	0.301	0.008	42.54	54.76	62.85
18236	AHUEHUEPAN	69	50.868	13.288	-0.23	3.482	0.261	0.358	52.09	60.55	65.87
18271	TEMIXCO	32	57.826	15.934	1.411	5.728	0.276	-0.114	54.68	67.92	78.16
19008	KM. 21 +000	40	107.815	43.102	0.954	3.653	0.400	-0.061	98.30	140.75	168.99
19009	PETATLAN	48	76.247	40.479	1.350	5.015	0.531	-0.136	65.09	105.36	133.79
22016	CHICAPA	68	92.608	47.700	1.249	5.031	0.515	-0.137	81.06	127.98	159.97
22018	OSTUTA	67	121.261	71.738	1.287	5.149	0.592	-0.106	102.20	170.75	223.29
23003	CAHUACAN	74	86.709	33.304	1.176	4.237	0.384	-0.090	78.72	111.40	133.65
23008	HUIXTLA	63	95.679	40.456	1.386	4.756	0.423	-0.222	83.16	123.76	153.50
23019	DESPOBLADO	55	92.782	32.947	1.445	5.378	0.355	-0.171	82.81	115.81	139.81
25027	CAMACHO	73	73.457	34.564	1.470	5.091	0.471	-0.167	63.24	97.37	122.10
25043	EL TOMASEÑO	51	98.027	55.542	1.560	5.317	0.567	-0.357	78.10	133.85	177.23
26247	LAS ROSAS	67	40.700	10.312	0.694	3.093	0.253	0.027	39.12	48.84	54.89
26291	TANCUILIN	55	123.636	52.012	1.139	4.345	0.421	-0.118	111.74	162.75	197.03
26309	SAN LUIS AMECA II	56	33.402	11.247	1.470	5.561	0.337	-0.157	30.57	40.42	47.94

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de precipitación máxima 24 horas, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 38. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	n_{hp}	\bar{x}_{hp}	s_{hp}	g_{hp}	k_{hp}	cv_{hp}	β_{hp}	$hp_{2 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{5 \text{ años}}$ [mm]	$hp_{10 \text{ años}}$ [mm]
09068	TEZOCOMA	55	67.881	21.949	1.098	4.106	0.323	-0.082	62.676	84.421	99.134
10034	ZOPILOTE	55	78.859	42.159	2.743	11.212	0.535	-0.312	69.059	88.182	104.262
10083	EL QUELITE	54	71.534	27.712	0.923	3.216	0.387	-0.084	64.849	92.616	111.433
11070	LAS TORTUGAS	47	91.602	37.493	1.116	4.001	0.409	-0.122	81.471	119.355	145.811
12469	CUIXTLA	61	48.007	16.246	0.777	3.146	0.338	-0.013	45.023	60.663	70.694
13001	PASO DE AROCHA	48	71.647	22.635	0.712	3.159	0.316	0.030	68.219	89.586	102.849
18193	YAUTEPEC	53	46.107	14.392	1.080	4.166	0.312	-0.055	42.595	56.644	66.262
18245	LOS SABINOS	57	47.805	11.588	1.014	4.248	0.242	-0.021	45.629	56.705	63.853
18264	ZACATEPEC	62	48.115	11.893	0.870	3.489	0.247	-0.010	45.963	57.375	64.678
19003	COYUQUILLA	42	80.436	50.571	2.255	9.857	0.629	-0.338	65.332	103.392	137.917

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de precipitación máxima 24 horas, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 39. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos de precipitación 24 horas.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	<i>hp</i> _{20 años} [mm]	<i>hp</i> _{50 años} [mm]	<i>hp</i> _{100 años} [mm]	<i>hp</i> _{500 años} [mm]	<i>hp</i> _{1000 años} [mm]	<i>hp</i> _{5000 años} [mm]	<i>hp</i> _{10000 años} [mm]
10057	BAMICORI	120.60	160.57	195.68	276.07	310.25	387.81	422.25
12224	CHIQUITO	63.37	73.87	81.14	97.36	104.25	119.95	126.93
12314	QUERENDARO	56.96	65.97	73.06	90.62	98.70	118.79	128.05
12418	LOS CASTILLOS	80.39	90.13	97.30	113.73	120.79	136.84	143.98
12499	LA PATIÑA	90.34	97.70	102.26	113.03	118.19	131.67	138.58
12556	CERRO BLANCO	115.69	125.38	132.78	151.12	159.54	179.42	188.52
12568	EL TEJOCOTE	84.89	90.35	92.86	99.07	102.66	115.15	121.76
12574	LOS VELAZQUEZ	67.88	84.50	98.20	134.45	152.26	199.62	222.90
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	54.81	63.25	69.44	83.38	89.24	102.63	108.33
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	56.69	64.47	70.31	83.79	89.58	103.03	108.82
13002	EL REFILION	119.69	130.29	137.78	155.80	164.16	184.58	194.28
15009	LA ZOPILOTA	149.15	177.61	198.92	247.91	268.87	317.28	338.05
15010	TECOMATES	156.24	172.56	184.37	211.26	222.79	249.04	260.74
16021	SAN GREGORIO	78.65	92.36	103.21	130.35	142.96	174.60	189.32
18269	ALPUYECA	72.48	82.02	89.43	107.59	115.93	136.72	146.36
18291	A-10 TEXCALTITLAN	56.50	63.24	68.28	79.94	84.95	96.59	101.60
18323	TETLAMA	72.92	77.87	81.81	92.20	97.13	108.79	114.08
18403	TLALCHAPA	93.05	101.34	108.37	124.61	131.60	147.51	154.59
18515	CUPATITZIO	141.19	149.03	154.59	167.70	173.70	188.71	196.29
22026	ZANATEPEC	337.50	423.91	489.28	641.03	706.38	858.11	923.46

Tabla 40. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	<i>hp</i> _{20 años} [mm]	<i>hp</i> _{50 años} [mm]	<i>hp</i> _{100 años} [mm]	<i>hp</i> _{500 años} [mm]	<i>hp</i> _{1000 años} [mm]	<i>hp</i> _{5000 años} [mm]	<i>hp</i> _{10000 años} [mm]
11035	LA BALLONA	167.73	187.17	200.91	230.10	241.64	266.28	276.03
12355	AGOSTADERO	87.23	105.99	120.94	158.67	176.36	221.13	242.12
12371	VALLE DE GUADALUPE	78.84	89.70	97.84	116.64	124.73	143.49	151.57
12535	CINCO SEÑORES	65.86	83.82	97.53	128.89	142.30	172.79	186.34
15002	EL CHIFLON	123.00	147.96	166.69	209.88	228.39	271.20	289.58
18225	CUAUTLA	70.61	80.66	88.18	105.58	113.06	130.41	137.88
18236	AHUEHUEPAN	70.92	77.43	82.29	93.51	98.34	109.33	114.22
18271	TEMIXCO	91.53	104.78	111.97	127.06	133.43	148.05	154.65
19008	KM. 21 +000	195.65	229.37	254.11	309.83	333.29	386.89	409.68
19009	PETATLAN	161.39	197.08	223.66	284.49	310.41	370.14	395.71
22016	CHICAPA	190.50	229.50	258.30	323.60	351.24	414.62	441.65
22018	OSTUTA	278.66	357.57	422.24	591.15	672.77	885.12	987.17
23003	CAHUACAN	154.86	181.94	201.92	247.23	266.39	310.34	329.07
23008	HUIXTLA	182.84	221.23	250.08	316.64	345.17	411.20	439.57
23019	DESPOBLADO	163.41	194.22	217.34	270.58	293.37	346.09	368.72
25027	CAMACHO	146.38	178.05	201.78	256.41	279.79	333.83	357.02
25043	EL TOMASEÑO	221.12	279.62	324.12	427.99	472.89	577.42	622.52
26247	LAS ROSAS	60.41	67.20	72.08	82.84	87.29	97.34	101.56
26291	TANCUILIN	229.53	270.82	301.19	369.80	398.75	465.00	493.19
26309	SAN LUIS AMECA II	55.93	67.52	77.23	103.65	117.00	153.56	172.09

Tabla 41. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	<i>hp</i>_{20 años} [mm]	<i>hp</i>_{50 años} [mm]	<i>hp</i>_{100 años} [mm]	<i>hp</i>_{500 años} [mm]	<i>hp</i>_{1000 años} [mm]	<i>hp</i>_{5000 años} [mm]	<i>hp</i>_{10000 años} [mm]
09068	TEZOCOMA	113.131	130.957	144.093	173.824	186.389	215.171	227.432
10034	ZOPILOTE	138.796	227.737	231.748	239.808	243.136	250.639	254.053
10083	EL QUELITE	129.347	152.175	169.003	207.108	223.216	260.125	275.851
11070	LAS TORTUGAS	171.355	204.257	228.701	284.483	308.203	362.785	386.123
12469	CUIXTLA	79.992	91.590	100.004	118.748	126.572	144.330	151.837
13001	PASO DE AROCHA	114.937	129.805	140.478	163.986	173.711	195.630	204.841
18193	YAUTEPEC	75.464	87.234	95.934	115.688	124.056	143.260	151.453
18245	LOS SABINOS	70.500	78.811	84.853	98.338	103.976	116.788	122.210
18264	ZACATEPEC	71.438	79.863	85.970	99.565	105.236	118.102	123.538
19003	COYUQUILLA	180.364	253.116	324.790	572.035	727.431	1265.045	1603.266

Tabla 42. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con la precipitación 24 horas a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	n_Q	\bar{x}_Q	s_Q	g_Q	k_Q	cv_Q	β_Q	Q_2 años [m ³ /s]	Q_5 años [m ³ /s]	Q_{10} años [m ³ /s]
10057	BAMICORI	33	189.132	176.573	1.415	4.089	0.934	-0.314	113.120	376.584	468.278
12224	CHIQUITO	53	38.057	17.386	0.495	2.322	0.457	0.061	34.198	55.159	62.629
12314	QUERENDARO	31	59.064	49.643	1.046	3.962	0.840	-0.224	47.170	96.476	130.157
12418	LOS CASTILLOS	50	36.324	44.794	2.007	7.450	1.233	-0.391	16.897	58.632	96.362
12499	LA PATIÑA	33	35.383	36.950	2.275	9.064	1.044	-0.482	23.008	44.146	58.214
12556	CERRO BLANCO	34	129.509	77.997	1.902	7.094	0.602	-0.248	108.744	161.800	221.836
12568	EL TEJOCOTE	41	33.539	19.228	0.676	2.695	0.573	0.002	28.925	53.156	62.705
12574	LOS VELAZQUEZ	35	16.299	9.520	-0.23	2.528	0.584	0.358	16.669	24.740	28.539
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	34	31.926	16.822	0.880	3.984	0.527	0.001	28.832	44.908	55.238
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	42	16.200	8.153	1.243	5.088	0.503	-0.084	14.241	21.759	27.344
13002	EL REFILION	47	214.378	126.557	0.370	1.741	0.590	-0.045	177.040	360.096	401.427
15009	LA ZOPILOTA	41	28.369	16.253	0.403	2.887	0.573	0.184	27.343	42.157	50.394
15010	TECOMATES	42	52.401	23.857	0.748	2.957	0.455	-0.015	47.929	71.221	86.181
16021	SAN GREGORIO	63	46.115	31.400	1.438	5.527	0.681	-0.155	37.189	65.503	88.059
18269	ALPUYECA	30	173.702	97.178	0.481	2.749	0.559	0.106	163.085	252.570	306.157
18291	A-10 TEXCALTITLAN	33	23.827	43.290	3.588	15.521	1.817	-1.075	5.902	36.628	70.192
18323	TETLAMA	37	93.795	60.726	0.991	3.222	0.647	-0.121	77.254	139.240	182.501
18403	TLALCHAPA	33	144.398	82.527	0.485	2.425	0.572	0.082	138.043	213.633	254.731
18515	CUPATITZIO	32	61.198	16.700	0.460	2.281	0.273	0.077	57.654	79.648	86.271
22026	ZANATEPEC	51	192.037	162.833	1.458	5.416	0.848	-0.320	139.920	303.527	424.846

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de gastos máximos, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 43. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	n_Q	\bar{x}_Q	s_Q	g_Q	k_Q	cv_Q	β_Q	Q_2 años [m ³ /s]	Q_5 años [m ³ /s]	Q_{10} años [m ³ /s]
11035	LA BALLONA	44	422.413	334.196	0.981	3.182	0.791	-0.118	334.603	669.415	903.713
12355	AGOSTADERO	38	66.907	42.063	1.367	6.081	0.629	-0.069	54.479	96.941	131.096
12371	VALLE DE GUADALUPE	45	81.786	70.714	2.977	15.103	0.865	-0.319	65.275	106.367	141.150
12535	CINCO SEÑORES	35	180.322	109.644	0.925	4.108	0.608	0.004	157.022	262.659	333.136
15002	EL CHIFLON	45	368.957	264.610	0.640	3.055	0.717	0.065	323.559	567.765	729.451
18225	CUAUTLA	47	178.494	158.842	2.293	9.118	0.890	-0.493	114.509	261.672	388.839
18236	AHUEHUEPAN	52	143.627	112.885	1.656	5.519	0.786	-0.297	99.466	211.454	302.922
18271	TEMIXCO	48	128.429	49.019	0.951	3.239	0.382	-0.081	115.442	165.503	213.665
19008	KM. 21 +000	39	328.503	286.418	1.026	3.497	0.872	-0.125	249.762	541.933	746.457
19009	PETATLAN	39	357.663	234.939	1.861	6.646	0.657	-0.323	272.240	500.883	682.562
22016	CHICAPA	56	293.214	316.895	2.107	8.756	1.081	-0.295	173.701	478.016	726.031
22018	OSTUTA	55	434.420	474.855	1.604	4.967	1.093	-0.312	251.629	722.278	1136.845
23003	CAHUACAN	39	173.478	70.415	1.610	6.209	0.406	-0.262	150.377	220.928	273.811
23008	HUIXTLA	38	272.411	159.051	0.578	3.179	0.584	0.094	246.484	396.221	495.360
23019	DESPOBLADO	36	251.414	159.310	0.186	1.979	0.634	0.203	243.032	389.257	469.132
25027	CAMACHO	57	327.243	283.041	1.453	5.538	0.865	-0.161	243.763	526.478	730.387
25043	EL TOMASEÑO	46	138.940	93.354	1.042	3.535	0.672	-0.103	115.112	208.925	273.449
26247	LAS ROSAS	40	82.751	73.831	0.765	2.894	0.892	-0.046	67.069	140.462	188.727
26291	TANCUILIN	46	546.190	358.470	1.835	6.758	0.656	-0.293	416.023	767.063	1044.979
26309	SAN LUIS AMECA II	51	21.074	17.798	1.784	6.501	0.845	-0.404	15.320	30.445	43.826

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de gastos máximos, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 44. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	n_Q	\bar{x}_Q	s_Q	g_Q	k_Q	cv_Q	β_Q	$Q_{2 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{5 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{10 \text{ años}}$ [m ³ /s]
09068	TEZOCOMA	39	299.997	311.256	2.729	12.866	1.038	-0.330	183.379	469.048	766.699
10034	ZOPILOTE	63	326.252	279.076	0.905	2.924	0.855	0.000	278.233	538.580	694.833
10083	EL QUELITE	36	451.631	409.317	1.650	5.798	0.906	-0.254	305.795	671.772	1013.636
11070	LAS TORTUGAS	38	647.359	545.992	0.886	2.596	0.843	0.006	410.346	1226.000	1480.445
12469	CUIXTLA	57	289.371	203.777	1.239	4.543	0.704	-0.137	232.412	437.289	582.115
13001	PASO DE AROCHA	45	143.397	146.472	1.848	6.001	1.021	-0.341	83.445	223.769	343.724
18193	YAUTEPEC	52	131.608	64.864	0.632	3.074	0.493	0.072	126.629	183.959	216.934
18245	LOS SABINOS	43	107.920	86.801	2.925	13.530	0.804	0.511	74.253	148.351	214.235
18264	ZACATEPEC	45	293.291	123.555	0.313	2.432	0.421	0.179	279.094	405.946	451.112
19003	COYUQUILLA	47	242.854	148.829	1.275	4.593	0.613	-0.111	202.073	346.390	459.104

n, x, s, g, k, cv, β son el número de datos de la serie de gastos máximos, media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, curtosis, coeficiente de variación y parámetro beta de la general de valores extremos.

Tabla 45. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con los estadísticos de la serie de datos hidrométricos.

Cuencas Pequeñas

Clave	Nombre	$Q_{20 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{50 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{100 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{500 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{1000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{5000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{10000 \text{ años}}$ [m ³ /s]
10057	BAMICORI	532.551	608.534	663.550	788.687	842.208	963.913	532.551
12224	CHIQUITO	68.897	76.665	82.426	95.838	101.700	115.301	68.897
12314	QUERENDARO	162.516	204.225	235.333	306.942	337.703	409.270	162.516
12418	LOS CASTILLOS	136.817	192.875	236.592	340.902	386.678	494.310	136.817
12499	LA PATIÑA	71.493	88.300	100.628	128.403	140.100	166.823	71.493
12556	CERRO BLANCO	319.480	377.337	413.465	491.584	524.448	598.912	319.480
12568	EL TEJOCOTE	69.283	77.263	83.289	98.074	104.924	121.557	69.283
12574	LOS VELAZQUEZ	31.338	34.038	35.545	37.874	38.529	39.546	31.338
12578	PUENTE LOS VELASQUEZ	64.821	76.783	85.467	104.822	112.905	131.257	64.821
12581	SAN BARTOLO DEL LLANO	33.143	41.315	47.967	65.263	73.613	95.394	33.143
13002	EL REFILION	422.141	436.270	441.953	447.864	448.926	450.126	422.141
15009	LA ZOPILOTA	57.295	64.971	69.918	79.187	82.399	88.448	57.295
15010	TECOMATES	100.055	117.370	129.937	157.945	169.640	196.189	100.055
16021	SAN GREGORIO	112.434	148.028	177.817	257.732	297.247	402.278	112.434
18269	ALPUYECA	353.697	410.074	448.810	528.059	558.170	620.066	353.697
18291	A-10 TEXCALTITLAN	108.655	164.158	208.494	316.392	364.343	477.992	108.655
18323	TETLAMA	224.256	278.030	317.973	409.110	447.859	537.018	224.256
18403	TLALCHAPA	292.651	340.902	376.785	459.413	494.911	575.718	292.651
18515	CUPATITZIO	88.695	94.484	102.160	120.740	128.624	147.251	88.695
22026	ZANATEPEC	545.139	703.186	822.245	1097.605	1215.859	1489.895	545.139

Tabla 46. Cuencas pequeñas empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Pequeñas

Clave	Nombre	$Q_{20 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{50 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{100 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{500 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{1000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{5000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{10000 \text{ años}}$ [m ³ /s]
11035	LA BALLONA	1131.619	1428.410	1651.529	2169.549	2393.620	2917.775	3145.484
12355	AGOSTADERO	168.218	222.730	268.581	392.389	453.964	618.541	699.570
12371	VALLE DE GUADALUPE	197.620	328.207	415.923	597.747	673.140	843.358	918.742
12535	CINCO SEÑORES	400.023	485.352	548.485	692.546	753.994	896.147	957.316
15002	EL CHIFLON	884.543	1085.294	1235.729	1583.361	1732.813	2079.665	2229.020
18225	CUAUTLA	522.919	706.704	849.064	1186.767	1334.388	1680.614	1830.890
18236	AHUEHUEPAN	397.290	524.781	622.627	852.844	952.920	1186.770	1287.984
18271	TEMIXCO	228.139	243.613	255.079	284.342	298.991	337.319	356.402
19008	KM. 21 +000	944.142	1198.992	1388.440	1821.012	2005.036	2428.625	2609.790
19009	PETATLAN	867.958	1116.555	1306.412	1751.141	1943.872	2393.296	2587.500
22016	CHICAPA	981.693	1326.892	1591.722	2214.619	2485.331	3117.811	3391.524
22018	OSTUTA	1475.420	1884.138	2181.908	2860.977	3151.682	3812.877	4106.756
23003	CAHUACAN	326.489	395.932	448.365	569.893	622.166	743.431	795.621
23008	HUIXTLA	590.456	713.549	805.790	1018.943	1110.581	1323.257	1414.835
23019	DESPOBLADO	535.131	607.426	653.315	737.499	766.036	818.655	836.528
25027	CAMACHO	930.140	1190.268	1385.022	1832.806	2024.286	2466.663	2656.427
25043	EL TOMASEÑO	335.309	414.563	473.217	606.550	663.085	792.903	848.317
26247	LAS ROSAS	234.020	291.082	332.793	426.441	465.770	555.446	593.501
26291	TANCUILIN	1328.164	1707.499	1997.007	2674.748	2968.332	3652.734	3948.409
26309	SAN LUIS AMECA II	59.373	83.811	105.652	169.578	203.713	301.454	352.689

Tabla 47. Cuencas intermedias pequeñas empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.

Cuencas Intermedias Grandes

Clave	Nombre	$Q_{20 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{50 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{100 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{500 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{1000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{5000 \text{ años}}$ [m ³ /s]	$Q_{10000 \text{ años}}$ [m ³ /s]
09068	TEZOCOMA	1150.300	1815.723	2461.399	4556.282	5772.693	9536.009	11643.213
10034	ZOPILOTE	841.708	1030.124	1170.718	1494.994	1634.386	1951.748	2092.875
10083	EL QUELITE	1423.713	2086.791	2692.675	4511.086	5500.536	8377.110	9902.858
11070	LAS TORTUGAS	1703.939	1983.179	2189.347	2662.450	2865.437	3327.377	3532.750
12469	CUIXTLA	722.721	904.598	1040.123	1350.298	1482.483	1787.132	1917.560
13001	PASO DE AROCHA	469.685	641.876	775.030	1090.427	1228.160	1550.983	1691.030
18193	YAUTEPEC	247.628	286.827	316.022	383.295	412.203	478.014	507.278
18245	LOS SABINOS	284.447	381.357	456.750	636.267	714.938	899.752	980.067
18264	ZACATEPEC	492.095	546.091	588.496	695.397	745.321	865.277	920.917
19003	COYUQUILLA	579.356	752.767	896.336	1276.237	1461.869	1949.904	2186.627

Tabla 48. Cuencas intermedias grandes empleadas en el estudio con sus gastos hidrométricos a diferentes periodos de retorno.

ANEXO B. CORRELACIÓN ENTRE LOS GASTOS MEDIDOS Y LA PRECIPITACIONES EN SUS PERIODOS DERETORNO

En la Tabla 49 se muestra la correlación de los gastos medidos Q_T y las precipitaciones hp_T en el mismo periodo de retorno.

		hp_2	hp_5	hp_{10}	hp_{20}	hp_{50}	hp_{100}	hp_{500}	hp_{1000}	hp_{5000}	hp_{10000}
Todas las cuencas	Q_T	0.590	0.573	0.578	0.572	0.550	0.516	0.416	0.369	0.263	0.222
Pequeñas	Q_T	0.553	0.482	0.512	0.545	0.610	0.650	0.703	0.716	0.731	0.734
Intermedias Pequeñas	Q_T	0.769	0.795	0.782	0.761	0.732	0.712	0.673	0.658	0.626	0.614
Intermedias Grandes	Q_T	0.505	0.704	0.685	0.595	0.392	0.298	0.111	0.057	-0.021	-0.041

Tabla 49. Correlación entre los gastos medidos y las precipitaciones de 24 horas.

ANEXO C. RESULTADOS DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD (PARÁMETROS CONDENSADOS)

Método		Racional					
Parámetro de prueba		Taylor-Schwarz (T)					
Parámetro sin cambios		Ce			CN		
Variación [%]	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
	120	1.2853	0.8547	0.6047	1.4786	0.9388	0.8560
	110	1.2399	0.8292	0.5816	1.4363	0.9111	0.8289
	100	1.1924	0.8027	0.5584	1.3910	0.8815	0.8002
	90	1.1421	0.7745	0.5356	1.3425	0.8501	0.7700
	80	1.0885	0.7448	0.5170	1.2899	0.8167	0.7387
	70	1.0307	0.7141	0.4993	1.2324	0.7808	0.7069
	60	0.9677	0.6812	0.4829	1.1692	0.7427	0.6788
	50	0.8979	0.6487	0.4704	1.0977	0.7009	0.6505
	40	0.8195	0.6152	0.4642	1.0154	0.6544	0.6229
	30	0.7282	0.5824	0.4622	0.9179	0.6021	0.5951
	20	0.6202	0.5528	0.4740	0.7982	0.5435	0.5737
10	0.5197	0.5315	0.5195	0.6321	0.4800	0.5683	
5	0.4851	0.5477	0.5834	0.5433	0.4549	0.5947	

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 50. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo Racional, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

Método		Racional					
Parámetro de prueba		Áreas Compensadas (A)					
Parámetro sin cambios		Ce			CN		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
120	3.2293	1.3665	1.1549	3.1022	1.4652	1.3264	
110	3.1262	1.3211	1.1101	3.0214	1.4204	1.2839	
100	3.0164	1.2734	1.0645	2.9346	1.3725	1.2387	
90	2.8988	1.2226	1.0172	2.8412	1.3215	1.1905	
80	2.7723	1.1686	0.9668	2.7395	1.2667	1.1383	
70	2.6354	1.1100	0.9128	2.6283	1.2068	1.0810	
60	2.4847	1.0455	0.8542	2.5044	1.1406	1.0183	
50	2.3163	0.9741	0.7943	2.3641	1.0667	0.9490	
40	2.1240	0.8931	0.7373	2.2025	0.9853	0.8722	
30	1.8995	0.7998	0.6808	2.0104	0.8913	0.7960	
20	1.6251	0.6970	0.6235	1.7654	0.7775	0.7196	
10	1.2457	0.5857	0.5744	1.4058	0.6220	0.6350	
5	0.9781	0.5353	0.5594	1.1265	0.5139	0.5966	

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 51. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo Racional, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

Método		Racional					
Parámetro de prueba		Coeficiente de escurrimiento (Ce)					
Parámetro sin cambios		T			A		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
120	1.5341	0.9810	0.7327	3.7895	1.6083	1.3918	
110	1.3598	0.8891	0.6400	3.4016	1.4352	1.2257	
100	1.1924	0.8027	0.5584	3.0164	1.2734	1.0645	
90	1.0322	0.7223	0.4992	2.6369	1.1210	0.9182	
80	0.8775	0.6531	0.4621	2.2647	0.9726	0.7835	
70	0.7292	0.6002	0.4508	1.9017	0.8312	0.6818	
60	0.5914	0.5656	0.4633	1.5567	0.7081	0.6057	
50	0.5033	0.5459	0.4999	1.2269	0.6168	0.5601	
40	0.4691	0.5584	0.5627	0.9415	0.5628	0.5478	
30	0.5035	0.6152	0.6454	0.7291	0.5468	0.5639	
20	0.6109	0.7201	0.7488	0.5973	0.6204	0.6369	
10	0.8022	0.8565	0.8743	0.6440	0.7922	0.8124	
5	0.9011	0.9283	0.9372	0.8018	0.8953	0.9062	

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 52. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente de escurrimiento en el modelo Racional, con diferente pendiente y tamaño de cuenca.

Método		Racional					
Parámetro de prueba		Números de escurrimientos (CN)					
Parámetro sin cambios		T			A		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
120	4.2033	2.0409	1.8017	10.9958	3.5412	2.9623	
110	2.3138	1.2984	1.1912	5.2019	2.1471	1.9235	
100	1.3910	0.8815	0.8002	2.9346	1.3725	1.2387	
90	0.8792	0.6798	0.6518	1.6316	0.9453	0.8344	
80	0.6813	0.6510	0.6625	1.0066	0.7743	0.7148	
70	0.6866	0.6937	0.7724	0.7732	0.7539	0.7971	
60	0.7643	0.7524	0.8931	0.7580	0.7971	0.9111	
50	0.8140	0.8196	0.9525	0.8867	0.8562	0.9616	
40	0.8446	0.8923	0.9281	1.1103	0.9918	0.9426	
30	0.9257	1.0579	0.8608	1.8359	1.3441	0.9912	
20	1.4697	1.5409	0.9366	4.3660	2.3750	1.5251	
10	4.8909	3.6835	2.3535	14.0912	6.4907	4.5569	
5	13.0246	9.1813	6.3681	34.6958	16.1345	11.7901	

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 53. Resultados del análisis de sensibilidad variando los números de escurrimiento en el modelo Racional, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.

Método		Hidrograma Unitario Triangular					
Parámetro de prueba		Taylor-Schwarz (T)					
Parámetro sin cambios		Ce			CN		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
Variación [%]	120	0.7554	0.6425	0.4731	0.8771	0.6945	0.6538
	110	0.7287	0.6317	0.4663	0.8514	0.6808	0.6426
	100	0.7004	0.6207	0.4604	0.8243	0.6661	0.6313
	90	0.6700	0.6091	0.4554	0.7953	0.6505	0.6199
	80	0.6386	0.5972	0.4516	0.7639	0.6336	0.6080
	70	0.6064	0.5850	0.4493	0.7303	0.6160	0.5962
	60	0.5761	0.5732	0.4488	0.6930	0.5967	0.5842
	50	0.5478	0.5612	0.4492	0.6516	0.5754	0.5713
	40	0.5203	0.5479	0.4526	0.6047	0.5518	0.5597
	30	0.4945	0.5361	0.4611	0.5578	0.5256	0.5503
	20	0.4775	0.5259	0.4813	0.5125	0.4963	0.5458
	10	0.4817	0.5268	0.5258	0.4745	0.4617	0.5556
	5	0.5244	0.5553	0.5840	0.4779	0.4562	0.5839

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 54. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

	Método	Hidrograma Unitario Triangular					
	Parámetro de prueba	Áreas Compensadas (A)					
	Parámetro sin cambios	Ce			CN		
Variación [%]	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
	120	1.9649	0.8610	0.7402	1.8876	0.9317	0.8688
	110	1.9002	0.8407	0.7211	1.8377	0.9131	0.8485
	100	1.8321	0.8192	0.7015	1.7849	0.8930	0.8268
	90	1.7603	0.7963	0.6825	1.7278	0.8714	0.8031
	80	1.6831	0.7718	0.6640	1.6653	0.8480	0.7772
	70	1.5986	0.7448	0.6446	1.5966	0.8219	0.7538
	60	1.5063	0.7159	0.6242	1.5201	0.7926	0.7289
	50	1.4038	0.6854	0.6038	1.4343	0.7593	0.7029
	40	1.2883	0.6521	0.5830	1.3344	0.7203	0.6752
	30	1.1566	0.6163	0.5632	1.2147	0.6727	0.6424
	20	1.0030	0.5760	0.5469	1.0726	0.6129	0.6093
	10	0.8193	0.5362	0.5375	0.8838	0.5308	0.5761
	5	0.7013	0.5178	0.5449	0.7516	0.4756	0.5663

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 55. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

	Método	Hidrograma Unitario Triangular					
	Parámetro de prueba	Coeficiente de escurrimiento (Ce)					
	Parámetro sin cambios	T			A		
Variación [%]	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
	120	0.9024	0.7263	0.5436	2.3248	1.0179	0.9060
	110	0.7998	0.6688	0.4947	2.0749	0.9168	0.7980
	100	0.7004	0.6207	0.4604	1.8321	0.8192	0.7015
	90	0.6061	0.5824	0.4442	1.5984	0.7292	0.6282
	80	0.5367	0.5550	0.4462	1.3698	0.6540	0.5706
	70	0.4890	0.5373	0.4616	1.1531	0.5968	0.5351
	60	0.4693	0.5302	0.4931	0.9618	0.5577	0.5234
	50	0.4839	0.5522	0.5418	0.8081	0.5383	0.5280
	40	0.5251	0.6004	0.6090	0.6802	0.5426	0.5476
	30	0.6049	0.6758	0.6903	0.5992	0.5981	0.5986
	20	0.7309	0.7773	0.7895	0.5951	0.7109	0.7134
	10	0.8655	0.8876	0.8948	0.7327	0.8514	0.8567
	5	0.9327	0.9438	0.9474	0.8652	0.9257	0.9284

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 56. Resultados del análisis de sensibilidad variando el Coeficiente de escurrimiento en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.

	Método	Hidrograma Unitario Triangular					
	Parámetro de prueba	Números de escurrimientos (CN)					
	Parámetro sin cambios	T			A		
Variación [%]	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
	120	2.6310	1.4725	1.3786	7.1640	2.2688	2.0692
	110	1.3809	0.9339	0.8958	3.2546	1.3536	1.3047
	100	0.8243	0.6661	0.6313	1.7849	0.8930	0.8268
	90	0.5764	0.5816	0.5800	1.0145	0.6914	0.6237
	80	0.5790	0.6099	0.6441	0.7374	0.6494	0.6549
	70	0.6856	0.6741	0.7742	0.6944	0.7000	0.7770
	60	0.7927	0.7483	0.8832	0.7664	0.7637	0.8916
	50	0.8425	0.8187	0.9394	0.8523	0.8313	0.9320
	40	0.8568	0.8842	0.9177	0.9674	0.9241	0.9080
	30	0.8509	0.9917	0.8412	1.3335	1.1231	0.8945
	20	1.0693	1.2966	0.8562	2.8801	1.7443	1.1939
	10	3.1365	2.8281	1.9362	9.3137	4.4189	3.3535
	5	8.5663	6.9613	5.2264	23.2876	11.0252	8.7497

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 57. Resultados del análisis de sensibilidad variando los números de escurrimientos en el modelo del Hidrograma unitario triangular, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.

Método		Chow					
Parámetro de prueba		Taylor-Schwarz (T)					
Parámetro sin cambios		Ce			CN		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
Variación [%]	120	1.2463	0.8060	0.5882	1.4212	0.8837	0.8263
	110	1.2111	0.7887	0.5677	1.3928	0.8665	0.8011
	100	1.1662	0.7821	0.5492	1.3508	0.8486	0.7788
	90	1.1296	0.7672	0.5286	1.3198	0.8374	0.7542
	80	1.0800	0.7455	0.5114	1.2754	0.8171	0.7278
	70	1.0239	0.7146	0.4945	1.2194	0.7811	0.6971
	60	0.9710	0.6812	0.4829	1.1681	0.7427	0.6788
	50	0.9024	0.6487	0.4704	1.1000	0.7009	0.6505
	40	0.8235	0.6152	0.4642	1.0185	0.6544	0.6229
	30	0.7282	0.5824	0.4622	0.9179	0.6021	0.5951
	20	0.6202	0.5528	0.4740	0.7982	0.5435	0.5737
	10	0.5197	0.5315	0.5195	0.6321	0.4800	0.5683
	5	0.4851	0.5477	0.5834	0.5433	0.4549	0.5947

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 58. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por Taylor-Schwarz en el modelo de CHOW, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

Método	Chow						
	Parámetro de prueba	Áreas Compensadas (A)					
	Parámetro sin cambios	Ce			CN		
Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG	
Variación [%]	120	2.6307	1.1878	1.0194	2.5203	1.2706	1.1828
	110	2.5558	1.1529	0.9850	2.4639	1.2362	1.1487
	100	2.4759	1.1158	0.9483	2.4030	1.1998	1.1119
	90	2.3900	1.0759	0.9099	2.3373	1.1609	1.0721
	80	2.2971	1.0329	0.8686	2.2659	1.1189	1.0290
	70	2.1948	0.9861	0.8242	2.1871	1.0732	0.9821
	60	2.0816	0.9344	0.7780	2.0987	1.0227	0.9306
	50	1.9553	0.8767	0.7332	1.9982	0.9657	0.8732
	40	1.8121	0.8113	0.6899	1.8811	0.9009	0.8118
	30	1.6426	0.7377	0.6457	1.7381	0.8253	0.7538
	20	1.4266	0.6579	0.5999	1.5494	0.7304	0.6904
	10	1.1263	0.5701	0.5640	1.2657	0.5987	0.6213
5	0.9162	0.5309	0.5564	1.0463	0.5053	0.5912	

Ce es coeficiente de escurrimiento y CN números de escurrimiento.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 59. Resultados del análisis de sensibilidad variando la pendiente por áreas compensadas en el modelo de CHOW, con diferente infiltración, y tamaño de cuenca.

Método		Chow					
Parámetro de prueba		Coeficiente de escurrimiento (Ce)					
Parámetro sin cambios		T			A		
Variación [%]	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
	120	1.4915	0.9562	0.7180	3.1238	1.3986	1.2436
	110	1.3255	0.8664	0.6278	2.7973	1.2534	1.0916
	100	1.1662	0.7821	0.5492	2.4759	1.1158	0.9483
	90	1.0119	0.7056	0.4935	2.1588	0.9825	0.8175
	80	0.8619	0.6421	0.4604	1.8498	0.8539	0.7070
	70	0.7194	0.5938	0.4519	1.5547	0.7371	0.6261
	60	0.6035	0.5617	0.4661	1.2684	0.6438	0.5663
	50	0.5201	0.5463	0.5032	1.0089	0.5797	0.5417
	40	0.4862	0.5645	0.5663	0.8036	0.5477	0.5425
	30	0.5165	0.6218	0.6489	0.6461	0.5522	0.5670
	20	0.6196	0.7245	0.7520	0.5829	0.6449	0.6576
10	0.8065	0.8587	0.8759	0.6730	0.8110	0.8255	
5	0.9033	0.9294	0.9380	0.8300	0.9053	0.9127	

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 60. Resultados del análisis de sensibilidad variando el Coeficiente de escurrimiento en el modelo de CHOW, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.

	Método	Chow					
	Parámetro de prueba	Números de escurrimientos (CN)					
	Parámetro sin cambios	T			A		
	Tamaño de cuenca	P	IP	IG	P	IP	IG
Variación [%]	120	4.0304	1.9788	1.7600	9.1537	3.1194	2.6986
	110	2.2304	1.2546	1.1613	4.3035	1.8724	1.7382
	100	1.3508	0.8486	0.7788	2.4030	1.1998	1.1119
	90	0.8675	0.6604	0.6396	1.3455	0.8505	0.7638
	80	0.6877	0.6367	0.6618	0.8748	0.7251	0.6897
	70	0.6926	0.6843	0.7786	0.7335	0.7316	0.7860
	60	0.7686	0.7472	0.8973	0.7575	0.7812	0.9021
	50	0.8163	0.8182	0.9545	0.8635	0.8425	0.9502
	40	0.8455	0.8932	0.9293	1.0347	0.9643	0.9288
	30	0.9198	1.0592	0.8599	1.5883	1.2669	0.9589
	20	1.4381	1.5361	0.9315	3.6666	2.1577	1.4204
	10	4.7410	3.6537	2.3224	11.8893	5.7913	4.1941
5	12.6601	9.0907	6.2755	29.4658	14.4262	10.8827	

T es la pendiente media por Taylor-Schwarz y A por áreas compensadas.

La variable de prueba varía de 1.2 a 0.05 y los resultados son los promedios de la prueba de bondad de ajuste MAPE para las cuencas de diferente tamaño.

Los tamaños de cuencas son P (pequeñas), IP (intermedias pequeñas) y IG (intermedias grandes).

Tabla 61. Resultados del análisis de sensibilidad variando el número de escurrimiento en el modelo de CHOW, con diferente pendiente, y tamaño de cuenca.

ANEXO D. RESULTADOS DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD (DEL COEFICIENTE AGREGADO)

MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.810	1.177	1.168	1.251	1.381	1.497	1.723	1.729	1.783	1.821	1.534
110%	1.592	1.029	1.024	1.103	1.216	1.322	1.532	1.543	1.600	1.636	1.360
100%	1.375	0.881	0.888	0.965	1.066	1.161	1.353	1.366	1.418	1.451	1.192
90%	1.168	0.736	0.767	0.847	0.929	1.005	1.178	1.190	1.236	1.266	1.032
80%	0.971	0.607	0.659	0.730	0.801	0.855	1.003	1.013	1.055	1.081	0.878
70%	0.784	0.506	0.560	0.614	0.676	0.720	0.827	0.836	0.873	0.896	0.729
60%	0.602	0.432	0.479	0.521	0.562	0.594	0.662	0.661	0.692	0.711	0.591
50%	0.481	0.419	0.448	0.481	0.493	0.504	0.544	0.544	0.554	0.563	0.503
40%	0.429	0.436	0.464	0.473	0.469	0.462	0.476	0.480	0.496	0.506	0.469
30%	0.450	0.520	0.543	0.536	0.519	0.501	0.474	0.480	0.500	0.513	0.504
20%	0.567	0.659	0.661	0.650	0.635	0.620	0.586	0.584	0.573	0.574	0.611
10%	0.774	0.830	0.830	0.825	0.815	0.806	0.787	0.788	0.785	0.783	0.802
5%	0.887	0.915	0.915	0.912	0.908	0.903	0.894	0.894	0.893	0.891	0.901
Min	0.429	0.419	0.448	0.473	0.469	0.462	0.474	0.480	0.496	0.506	0.469
Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 62. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.193	0.895	0.844	0.847	0.889	0.942	1.055	1.045	1.048	1.051	0.981
110%	1.052	0.812	0.772	0.768	0.803	0.847	0.956	0.957	0.961	0.963	0.889
100%	0.914	0.738	0.702	0.698	0.722	0.764	0.869	0.870	0.874	0.876	0.803
90%	0.793	0.665	0.632	0.631	0.662	0.698	0.782	0.783	0.787	0.791	0.722
80%	0.698	0.595	0.563	0.577	0.617	0.644	0.706	0.707	0.711	0.714	0.653
70%	0.619	0.541	0.531	0.545	0.581	0.601	0.647	0.647	0.645	0.644	0.600
60%	0.559	0.514	0.516	0.533	0.555	0.572	0.600	0.601	0.602	0.603	0.566
50%	0.515	0.519	0.522	0.531	0.542	0.546	0.567	0.568	0.573	0.576	0.546
40%	0.523	0.569	0.575	0.569	0.566	0.562	0.551	0.551	0.558	0.561	0.558
30%	0.613	0.651	0.656	0.646	0.625	0.609	0.586	0.586	0.588	0.590	0.615
20%	0.709	0.734	0.739	0.741	0.732	0.721	0.699	0.703	0.710	0.712	0.720
10%	0.826	0.860	0.870	0.870	0.866	0.861	0.850	0.852	0.855	0.856	0.857
5%	0.913	0.930	0.935	0.935	0.933	0.930	0.925	0.926	0.927	0.928	0.928
Min	0.515	0.514	0.516	0.531	0.542	0.546	0.551	0.551	0.558	0.561	0.546
Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 63. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.138	0.664	0.544	0.494	0.557	0.614	0.753	0.775	0.865	0.921	0.733
110%	0.988	0.592	0.469	0.416	0.477	0.530	0.657	0.677	0.762	0.833	0.640
100%	0.862	0.520	0.408	0.349	0.397	0.445	0.561	0.579	0.697	0.766	0.558
90%	0.750	0.448	0.360	0.326	0.343	0.373	0.478	0.524	0.661	0.729	0.499
80%	0.644	0.394	0.320	0.312	0.313	0.346	0.448	0.502	0.639	0.703	0.462
70%	0.546	0.349	0.300	0.315	0.329	0.367	0.465	0.515	0.634	0.690	0.451
60%	0.513	0.346	0.342	0.349	0.367	0.400	0.484	0.527	0.629	0.677	0.463
50%	0.494	0.406	0.443	0.457	0.431	0.438	0.503	0.539	0.624	0.664	0.500
40%	0.475	0.506	0.554	0.565	0.545	0.533	0.548	0.577	0.646	0.678	0.563
30%	0.525	0.630	0.666	0.674	0.658	0.649	0.626	0.633	0.684	0.709	0.645
20%	0.651	0.753	0.777	0.783	0.772	0.766	0.751	0.752	0.744	0.739	0.749
10%	0.825	0.877	0.889	0.891	0.886	0.883	0.875	0.876	0.872	0.869	0.874
5%	0.913	0.938	0.944	0.946	0.943	0.942	0.938	0.938	0.936	0.934	0.937
Min	0.475	0.346	0.300	0.312	0.313	0.346	0.448	0.502	0.624	0.664	0.451
Coeficiente	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 64. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.003	0.627	0.677	0.749	0.821	0.879	1.031	1.042	1.084	1.111	0.902
110%	0.872	0.552	0.606	0.670	0.736	0.783	0.912	0.922	0.960	0.985	0.800
100%	0.747	0.489	0.542	0.591	0.651	0.694	0.793	0.801	0.837	0.859	0.700
90%	0.622	0.438	0.484	0.528	0.574	0.608	0.679	0.681	0.713	0.733	0.606
80%	0.522	0.421	0.462	0.497	0.514	0.538	0.592	0.592	0.607	0.622	0.537
70%	0.464	0.418	0.448	0.472	0.484	0.490	0.520	0.521	0.532	0.541	0.489
60%	0.431	0.431	0.461	0.470	0.468	0.463	0.480	0.483	0.498	0.508	0.469
50%	0.439	0.483	0.508	0.501	0.488	0.474	0.468	0.477	0.496	0.505	0.484
40%	0.473	0.550	0.567	0.561	0.545	0.524	0.495	0.492	0.517	0.528	0.525
30%	0.561	0.652	0.654	0.643	0.630	0.614	0.580	0.577	0.567	0.571	0.605
20%	0.692	0.768	0.769	0.762	0.748	0.736	0.711	0.711	0.708	0.704	0.731
10%	0.846	0.884	0.885	0.881	0.874	0.868	0.855	0.856	0.854	0.852	0.865
5%	0.923	0.942	0.942	0.940	0.937	0.934	0.928	0.928	0.927	0.926	0.933
Min	0.431	0.418	0.448	0.470	0.468	0.463	0.468	0.477	0.496	0.505	0.469
Coeficiente	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 65. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	0.817	0.671	0.639	0.634	0.656	0.693	0.785	0.786	0.790	0.794	0.726
110%	0.728	0.615	0.585	0.589	0.617	0.645	0.719	0.722	0.732	0.736	0.669
100%	0.656	0.564	0.539	0.553	0.589	0.614	0.669	0.671	0.674	0.678	0.621
90%	0.601	0.530	0.521	0.524	0.560	0.583	0.627	0.627	0.625	0.625	0.582
80%	0.557	0.508	0.508	0.521	0.541	0.557	0.591	0.591	0.589	0.589	0.555
70%	0.522	0.503	0.507	0.518	0.534	0.538	0.561	0.563	0.564	0.564	0.537
60%	0.496	0.517	0.520	0.529	0.534	0.532	0.538	0.539	0.546	0.549	0.530
50%	0.519	0.569	0.576	0.565	0.560	0.556	0.543	0.543	0.543	0.546	0.552
40%	0.594	0.636	0.641	0.632	0.610	0.591	0.574	0.575	0.575	0.577	0.600
30%	0.670	0.702	0.706	0.699	0.686	0.673	0.647	0.652	0.660	0.663	0.676
20%	0.747	0.780	0.795	0.797	0.790	0.782	0.765	0.768	0.773	0.775	0.777
10%	0.863	0.890	0.897	0.898	0.895	0.891	0.882	0.884	0.887	0.888	0.888
5%	0.932	0.945	0.949	0.949	0.948	0.945	0.941	0.942	0.943	0.944	0.944
Min	0.496	0.503	0.507	0.518	0.534	0.532	0.538	0.539	0.543	0.546	0.530
Coeficiente	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.6

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 66. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	0.832	0.499	0.391	0.333	0.393	0.439	0.552	0.569	0.677	0.751	0.544
110%	0.732	0.440	0.353	0.321	0.349	0.381	0.480	0.513	0.654	0.722	0.495
100%	0.648	0.396	0.321	0.310	0.318	0.342	0.443	0.499	0.631	0.697	0.460
90%	0.563	0.356	0.302	0.299	0.307	0.347	0.450	0.503	0.628	0.687	0.444
80%	0.512	0.337	0.300	0.315	0.339	0.375	0.467	0.514	0.625	0.677	0.446
70%	0.486	0.342	0.347	0.368	0.372	0.403	0.483	0.525	0.622	0.668	0.462
60%	0.474	0.395	0.440	0.453	0.426	0.431	0.500	0.535	0.619	0.658	0.493
50%	0.461	0.484	0.533	0.544	0.521	0.509	0.525	0.555	0.625	0.659	0.542
40%	0.483	0.587	0.627	0.635	0.617	0.607	0.581	0.604	0.660	0.687	0.609
30%	0.564	0.690	0.720	0.727	0.713	0.705	0.686	0.687	0.695	0.715	0.690
20%	0.709	0.794	0.813	0.818	0.809	0.804	0.791	0.792	0.786	0.781	0.790
10%	0.855	0.897	0.907	0.909	0.904	0.902	0.895	0.896	0.893	0.890	0.895
5%	0.927	0.948	0.953	0.954	0.952	0.951	0.948	0.948	0.947	0.945	0.947
Min	0.461	0.337	0.300	0.299	0.307	0.342	0.443	0.499	0.619	0.658	0.444
Coeficiente	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9	1	1	1	0.6	0.6	0.9
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 67. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.740	1.139	1.130	1.213	1.341	1.455	1.678	1.688	1.746	1.784	1.492
110%	1.528	0.994	0.995	1.077	1.188	1.292	1.499	1.512	1.567	1.602	1.326
100%	1.321	0.849	0.869	0.959	1.052	1.138	1.326	1.338	1.389	1.420	1.166
90%	1.124	0.716	0.760	0.843	0.923	0.987	1.154	1.165	1.210	1.238	1.012
80%	0.932	0.600	0.654	0.727	0.798	0.849	0.981	0.991	1.031	1.056	0.862
70%	0.755	0.500	0.561	0.622	0.682	0.723	0.808	0.817	0.852	0.874	0.719
60%	0.597	0.435	0.487	0.543	0.585	0.617	0.679	0.679	0.696	0.715	0.603
50%	0.477	0.426	0.468	0.499	0.512	0.524	0.566	0.566	0.577	0.586	0.520
40%	0.451	0.453	0.480	0.487	0.484	0.478	0.493	0.497	0.514	0.524	0.486
30%	0.467	0.533	0.555	0.547	0.530	0.513	0.487	0.493	0.514	0.526	0.516
20%	0.579	0.668	0.669	0.657	0.643	0.628	0.595	0.593	0.582	0.583	0.620
10%	0.779	0.834	0.834	0.829	0.819	0.810	0.792	0.792	0.789	0.787	0.807
5%	0.890	0.917	0.917	0.914	0.909	0.905	0.896	0.896	0.895	0.894	0.903
Min	0.451	0.426	0.468	0.487	0.484	0.478	0.487	0.493	0.514	0.524	0.486
Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 68. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.170	0.876	0.824	0.826	0.866	0.917	1.026	1.016	1.019	1.021	0.956
110%	1.031	0.794	0.754	0.749	0.782	0.824	0.930	0.931	0.934	0.936	0.866
100%	0.895	0.722	0.685	0.681	0.703	0.744	0.845	0.846	0.849	0.851	0.782
90%	0.776	0.650	0.617	0.616	0.647	0.681	0.761	0.763	0.772	0.775	0.706
80%	0.683	0.585	0.555	0.570	0.608	0.634	0.694	0.695	0.697	0.700	0.642
70%	0.614	0.545	0.534	0.542	0.574	0.592	0.636	0.636	0.633	0.632	0.594
60%	0.559	0.520	0.518	0.536	0.553	0.565	0.591	0.592	0.592	0.592	0.562
50%	0.518	0.528	0.531	0.541	0.546	0.548	0.559	0.560	0.564	0.567	0.546
40%	0.532	0.576	0.582	0.577	0.574	0.571	0.558	0.558	0.557	0.560	0.564
30%	0.620	0.657	0.662	0.652	0.631	0.616	0.594	0.594	0.595	0.598	0.622
20%	0.713	0.738	0.743	0.745	0.736	0.726	0.704	0.708	0.715	0.717	0.724
10%	0.828	0.862	0.871	0.872	0.868	0.863	0.852	0.854	0.857	0.858	0.859
5%	0.914	0.931	0.936	0.936	0.934	0.931	0.926	0.927	0.929	0.929	0.929
Min	0.518	0.520	0.518	0.536	0.546	0.548	0.558	0.558	0.557	0.560	0.546
Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 69. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.092	0.643	0.528	0.477	0.549	0.606	0.745	0.767	0.858	0.915	0.718
110%	0.946	0.572	0.454	0.404	0.470	0.522	0.650	0.670	0.760	0.831	0.628
100%	0.824	0.502	0.395	0.342	0.391	0.439	0.554	0.573	0.699	0.774	0.549
90%	0.720	0.432	0.347	0.325	0.337	0.367	0.475	0.525	0.669	0.737	0.493
80%	0.618	0.380	0.314	0.312	0.311	0.346	0.457	0.511	0.646	0.710	0.460
70%	0.522	0.337	0.300	0.314	0.339	0.376	0.473	0.522	0.640	0.696	0.452
60%	0.493	0.343	0.342	0.358	0.376	0.408	0.491	0.533	0.634	0.682	0.466
50%	0.478	0.405	0.451	0.464	0.438	0.445	0.509	0.545	0.629	0.669	0.503
40%	0.462	0.515	0.561	0.571	0.550	0.538	0.553	0.581	0.649	0.682	0.566
30%	0.523	0.636	0.671	0.679	0.663	0.654	0.629	0.636	0.687	0.711	0.649
20%	0.659	0.757	0.781	0.786	0.775	0.769	0.753	0.754	0.746	0.741	0.752
10%	0.829	0.879	0.890	0.893	0.888	0.885	0.876	0.877	0.873	0.870	0.876
5%	0.915	0.939	0.945	0.946	0.944	0.942	0.938	0.938	0.937	0.935	0.938
Min	0.462	0.337	0.300	0.312	0.311	0.346	0.457	0.511	0.629	0.669	0.452
Coeficiente	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	0.5	0.7
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 70. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	4.681	3.117	3.125	3.344	3.561	3.748	4.101	4.062	4.061	4.094	3.790
110%	4.216	2.791	2.798	2.999	3.190	3.361	3.685	3.648	3.647	3.681	3.402
100%	3.751	2.467	2.471	2.654	2.818	2.973	3.268	3.235	3.247	3.281	3.016
90%	3.286	2.150	2.144	2.308	2.453	2.589	2.856	2.834	2.857	2.892	2.637
80%	2.821	1.834	1.827	1.970	2.103	2.213	2.457	2.446	2.473	2.504	2.265
70%	2.361	1.519	1.525	1.654	1.756	1.856	2.074	2.065	2.089	2.117	1.902
60%	1.910	1.229	1.236	1.347	1.455	1.534	1.701	1.695	1.719	1.743	1.557
50%	1.503	0.943	0.947	1.066	1.164	1.228	1.350	1.341	1.354	1.375	1.227
40%	1.127	0.691	0.717	0.843	0.916	0.956	1.037	1.032	1.041	1.055	0.941
30%	0.789	0.531	0.604	0.693	0.722	0.745	0.798	0.795	0.802	0.812	0.729
20%	0.621	0.518	0.562	0.595	0.599	0.601	0.607	0.611	0.625	0.634	0.597
10%	0.615	0.661	0.668	0.672	0.668	0.658	0.634	0.630	0.619	0.614	0.644
5%	0.765	0.831	0.830	0.821	0.811	0.804	0.788	0.790	0.790	0.788	0.802
Min	0.615	0.518	0.562	0.595	0.599	0.601	0.607	0.611	0.619	0.614	0.597
Coeficiente	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 71. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	2.145	1.579	1.434	1.406	1.448	1.521	1.682	1.656	1.613	1.600	1.608
110%	1.905	1.405	1.275	1.248	1.292	1.361	1.506	1.482	1.444	1.433	1.435
100%	1.684	1.241	1.128	1.114	1.152	1.207	1.333	1.314	1.284	1.277	1.273
90%	1.466	1.084	0.993	0.983	1.016	1.067	1.176	1.161	1.136	1.129	1.121
80%	1.247	0.931	0.871	0.861	0.882	0.926	1.023	1.009	0.989	0.986	0.973
70%	1.038	0.799	0.750	0.741	0.759	0.789	0.870	0.861	0.853	0.851	0.831
60%	0.859	0.691	0.647	0.638	0.645	0.674	0.735	0.731	0.730	0.731	0.708
50%	0.706	0.613	0.581	0.575	0.578	0.589	0.631	0.632	0.631	0.631	0.617
40%	0.615	0.560	0.548	0.540	0.539	0.546	0.570	0.570	0.570	0.569	0.563
30%	0.575	0.567	0.560	0.552	0.549	0.545	0.534	0.530	0.528	0.528	0.547
20%	0.611	0.652	0.659	0.652	0.636	0.618	0.593	0.593	0.594	0.596	0.620
10%	0.756	0.791	0.806	0.809	0.805	0.798	0.783	0.787	0.792	0.794	0.792
5%	0.870	0.896	0.903	0.905	0.903	0.899	0.892	0.893	0.896	0.897	0.895
Min	0.575	0.560	0.548	0.540	0.539	0.545	0.534	0.530	0.528	0.528	0.547
Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 72. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.967	1.260	1.095	1.064	1.154	1.216	1.444	1.471	1.586	1.659	1.392
110%	1.720	1.115	0.968	0.926	1.008	1.073	1.274	1.298	1.404	1.471	1.226
100%	1.481	0.977	0.844	0.791	0.867	0.939	1.108	1.128	1.222	1.288	1.064
90%	1.254	0.839	0.720	0.672	0.741	0.805	0.957	0.975	1.074	1.145	0.918
80%	1.058	0.713	0.595	0.561	0.614	0.671	0.806	0.831	0.958	1.027	0.783
70%	0.901	0.601	0.512	0.500	0.510	0.560	0.702	0.746	0.864	0.923	0.682
60%	0.744	0.515	0.461	0.460	0.476	0.515	0.631	0.668	0.769	0.820	0.606
50%	0.623	0.447	0.432	0.450	0.463	0.495	0.580	0.614	0.721	0.774	0.560
40%	0.539	0.446	0.465	0.466	0.458	0.490	0.570	0.608	0.697	0.739	0.548
30%	0.454	0.484	0.520	0.542	0.539	0.539	0.578	0.606	0.673	0.704	0.564
20%	0.517	0.638	0.669	0.674	0.658	0.647	0.620	0.622	0.650	0.672	0.637
10%	0.753	0.819	0.834	0.837	0.829	0.824	0.810	0.811	0.806	0.801	0.812
5%	0.876	0.910	0.917	0.919	0.915	0.912	0.905	0.905	0.903	0.901	0.906
Min	0.454	0.446	0.432	0.450	0.458	0.490	0.570	0.606	0.650	0.672	0.548
Coeficiente	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 73. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	2.896	1.885	1.878	2.025	2.159	2.274	2.521	2.508	2.536	2.567	2.325
110%	2.580	1.670	1.669	1.803	1.921	2.023	2.258	2.249	2.274	2.303	2.075
100%	2.272	1.460	1.468	1.593	1.690	1.792	1.998	1.990	2.015	2.043	1.832
90%	1.965	1.264	1.271	1.384	1.491	1.573	1.745	1.740	1.764	1.788	1.598
80%	1.671	1.068	1.074	1.185	1.292	1.363	1.504	1.494	1.512	1.534	1.370
70%	1.412	0.879	0.883	1.006	1.098	1.157	1.267	1.258	1.275	1.295	1.153
60%	1.156	0.711	0.731	0.858	0.932	0.973	1.060	1.054	1.063	1.080	0.962
50%	0.913	0.574	0.644	0.745	0.794	0.828	0.892	0.888	0.896	0.907	0.808
40%	0.721	0.510	0.575	0.656	0.683	0.694	0.737	0.734	0.742	0.750	0.680
30%	0.626	0.514	0.559	0.592	0.601	0.603	0.612	0.615	0.630	0.638	0.599
20%	0.584	0.576	0.606	0.628	0.624	0.610	0.579	0.576	0.580	0.589	0.595
10%	0.704	0.769	0.769	0.756	0.744	0.733	0.712	0.714	0.714	0.712	0.733
5%	0.840	0.885	0.885	0.878	0.872	0.866	0.856	0.857	0.857	0.856	0.865
Min	0.584	0.510	0.559	0.592	0.601	0.603	0.579	0.576	0.580	0.589	0.595
Coeficiente	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 74. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.324	0.972	0.903	0.893	0.922	0.969	1.072	1.058	1.036	1.031	1.018
110%	1.172	0.869	0.819	0.810	0.831	0.871	0.966	0.953	0.939	0.937	0.917
100%	1.022	0.782	0.738	0.727	0.746	0.776	0.860	0.853	0.845	0.843	0.819
90%	0.882	0.704	0.665	0.651	0.663	0.691	0.763	0.758	0.758	0.758	0.729
80%	0.763	0.635	0.597	0.590	0.603	0.625	0.682	0.678	0.681	0.685	0.654
70%	0.671	0.588	0.560	0.557	0.556	0.567	0.617	0.618	0.617	0.617	0.597
60%	0.608	0.552	0.538	0.535	0.533	0.542	0.567	0.567	0.567	0.567	0.558
50%	0.565	0.542	0.532	0.525	0.532	0.531	0.539	0.539	0.539	0.539	0.538
40%	0.556	0.563	0.563	0.551	0.546	0.543	0.533	0.529	0.520	0.522	0.543
30%	0.589	0.633	0.640	0.634	0.616	0.597	0.569	0.569	0.566	0.569	0.598
20%	0.693	0.722	0.727	0.729	0.723	0.713	0.692	0.697	0.705	0.707	0.711
10%	0.815	0.852	0.862	0.865	0.862	0.857	0.846	0.849	0.853	0.854	0.851
5%	0.908	0.926	0.931	0.932	0.931	0.928	0.923	0.924	0.926	0.927	0.926
Min	0.556	0.542	0.532	0.525	0.532	0.531	0.533	0.529	0.520	0.522	0.538
Coeficiente	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 75. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.287	0.822	0.700	0.650	0.736	0.799	0.949	0.966	1.048	1.103	0.906
110%	1.111	0.721	0.609	0.562	0.642	0.699	0.836	0.852	0.941	1.008	0.798
100%	0.960	0.637	0.524	0.489	0.548	0.599	0.724	0.741	0.864	0.928	0.702
90%	0.843	0.553	0.468	0.453	0.473	0.516	0.639	0.683	0.798	0.856	0.628
80%	0.728	0.492	0.429	0.425	0.431	0.469	0.590	0.629	0.731	0.783	0.571
70%	0.626	0.438	0.400	0.416	0.427	0.461	0.549	0.586	0.696	0.752	0.535
60%	0.565	0.421	0.420	0.422	0.423	0.452	0.538	0.581	0.682	0.730	0.523
50%	0.504	0.428	0.450	0.460	0.455	0.473	0.549	0.584	0.669	0.708	0.528
40%	0.443	0.462	0.506	0.528	0.524	0.524	0.559	0.587	0.655	0.687	0.548
30%	0.470	0.584	0.620	0.626	0.607	0.595	0.587	0.591	0.641	0.665	0.599
20%	0.619	0.723	0.746	0.751	0.738	0.730	0.711	0.712	0.706	0.699	0.713
10%	0.809	0.861	0.873	0.875	0.869	0.865	0.855	0.856	0.853	0.850	0.857
5%	0.905	0.931	0.937	0.938	0.935	0.933	0.928	0.928	0.926	0.925	0.928
Min	0.443	0.421	0.400	0.416	0.423	0.452	0.538	0.581	0.641	0.665	0.523
Coeficiente	0.4	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.3	0.3	0.6

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 76. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	3.876	2.554	2.561	2.740	2.920	3.080	3.386	3.353	3.366	3.401	3.124
110%	3.478	2.280	2.281	2.445	2.604	2.753	3.034	3.008	3.027	3.063	2.797
100%	3.080	2.009	2.001	2.157	2.297	2.430	2.688	2.671	2.697	2.730	2.476
90%	2.682	1.738	1.738	1.871	1.997	2.107	2.350	2.341	2.367	2.397	2.159
80%	2.288	1.477	1.483	1.603	1.704	1.804	2.022	2.014	2.038	2.066	1.850
70%	1.902	1.229	1.235	1.340	1.447	1.528	1.702	1.697	1.721	1.745	1.555
60%	1.548	0.982	0.987	1.098	1.198	1.264	1.394	1.385	1.404	1.425	1.268
50%	1.223	0.757	0.767	0.893	0.970	1.019	1.109	1.100	1.117	1.135	1.009
40%	0.913	0.567	0.638	0.739	0.790	0.824	0.888	0.884	0.892	0.902	0.804
30%	0.682	0.495	0.557	0.626	0.650	0.655	0.694	0.691	0.700	0.710	0.646
20%	0.585	0.542	0.580	0.607	0.601	0.590	0.574	0.573	0.585	0.592	0.583
10%	0.651	0.709	0.709	0.695	0.688	0.678	0.655	0.654	0.648	0.644	0.673
5%	0.798	0.855	0.854	0.846	0.838	0.832	0.819	0.820	0.820	0.818	0.830
Min	0.585	0.495	0.557	0.607	0.601	0.590	0.574	0.573	0.585	0.592	0.583
Coeficiente	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 77. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.859	1.365	1.237	1.213	1.259	1.327	1.470	1.447	1.410	1.400	1.399
110%	1.658	1.216	1.107	1.095	1.132	1.188	1.316	1.297	1.267	1.258	1.253
100%	1.462	1.077	0.986	0.977	1.011	1.061	1.171	1.156	1.132	1.125	1.116
90%	1.265	0.939	0.878	0.868	0.890	0.935	1.034	1.020	0.999	0.997	0.983
80%	1.069	0.818	0.769	0.760	0.779	0.810	0.897	0.886	0.877	0.875	0.854
70%	0.900	0.713	0.672	0.658	0.671	0.698	0.768	0.764	0.763	0.763	0.737
60%	0.751	0.631	0.597	0.590	0.594	0.613	0.668	0.665	0.664	0.666	0.644
50%	0.644	0.575	0.555	0.553	0.545	0.560	0.589	0.591	0.592	0.593	0.580
40%	0.584	0.552	0.540	0.532	0.534	0.537	0.549	0.550	0.549	0.549	0.548
30%	0.567	0.574	0.575	0.564	0.559	0.549	0.539	0.535	0.530	0.530	0.552
20%	0.638	0.675	0.681	0.675	0.660	0.644	0.611	0.614	0.624	0.627	0.645
10%	0.769	0.811	0.825	0.827	0.824	0.817	0.804	0.807	0.812	0.814	0.811
5%	0.882	0.906	0.912	0.914	0.912	0.909	0.902	0.904	0.906	0.907	0.905
Min	0.567	0.552	0.540	0.532	0.534	0.537	0.539	0.535	0.530	0.530	0.548
Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 78. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.770	1.120	0.972	0.939	1.023	1.083	1.295	1.319	1.425	1.491	1.244
110%	1.539	0.993	0.857	0.810	0.888	0.959	1.137	1.159	1.256	1.317	1.092
100%	1.321	0.867	0.743	0.693	0.770	0.835	0.990	1.009	1.095	1.161	0.948
90%	1.117	0.742	0.629	0.584	0.653	0.712	0.851	0.868	0.976	1.043	0.817
80%	0.956	0.637	0.531	0.504	0.545	0.593	0.713	0.759	0.884	0.947	0.707
70%	0.812	0.546	0.469	0.464	0.464	0.516	0.648	0.689	0.799	0.854	0.626
60%	0.667	0.468	0.430	0.441	0.455	0.490	0.584	0.623	0.723	0.781	0.566
50%	0.586	0.436	0.434	0.435	0.446	0.475	0.555	0.599	0.702	0.751	0.542
40%	0.508	0.448	0.467	0.476	0.472	0.490	0.564	0.599	0.682	0.721	0.542
30%	0.450	0.495	0.537	0.557	0.554	0.554	0.573	0.599	0.661	0.690	0.567
20%	0.538	0.663	0.692	0.697	0.682	0.672	0.647	0.648	0.658	0.679	0.658
10%	0.769	0.832	0.846	0.848	0.841	0.836	0.824	0.824	0.820	0.816	0.825
5%	0.885	0.916	0.923	0.924	0.920	0.918	0.912	0.912	0.910	0.908	0.913
Min	0.450	0.436	0.430	0.435	0.446	0.475	0.555	0.599	0.658	0.679	0.542
Coeficiente	0.3	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2	0.2	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 79. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, coeficiente de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.668	1.312	1.453	1.601	1.683	1.744	1.900	1.976	2.177	2.276	1.779
110%	1.471	1.152	1.278	1.409	1.493	1.549	1.691	1.762	1.949	2.042	1.580
100%	1.279	0.998	1.113	1.230	1.309	1.361	1.499	1.565	1.736	1.820	1.391
90%	1.091	0.853	0.953	1.067	1.134	1.185	1.309	1.368	1.522	1.598	1.208
80%	0.908	0.719	0.814	0.911	0.963	1.009	1.119	1.172	1.309	1.376	1.030
70%	0.735	0.595	0.692	0.760	0.800	0.833	0.929	0.975	1.095	1.154	0.857
60%	0.591	0.510	0.579	0.636	0.648	0.662	0.740	0.779	0.882	0.932	0.696
50%	0.479	0.440	0.478	0.519	0.519	0.525	0.557	0.586	0.669	0.710	0.548
40%	0.394	0.411	0.425	0.463	0.454	0.443	0.451	0.461	0.495	0.522	0.452
30%	0.415	0.473	0.445	0.441	0.431	0.425	0.410	0.417	0.439	0.453	0.435
20%	0.578	0.631	0.609	0.589	0.578	0.570	0.552	0.546	0.544	0.551	0.575
10%	0.789	0.816	0.805	0.794	0.789	0.785	0.773	0.767	0.750	0.742	0.781
5%	0.894	0.908	0.902	0.897	0.894	0.892	0.886	0.883	0.875	0.871	0.890
Min	0.394	0.411	0.425	0.441	0.431	0.425	0.410	0.417	0.439	0.453	0.435
Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 80. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.202	0.993	0.983	0.973	1.003	1.047	1.145	1.187	1.275	1.309	1.112
110%	1.073	0.882	0.860	0.856	0.887	0.928	1.026	1.065	1.146	1.178	0.990
100%	0.957	0.784	0.768	0.763	0.779	0.822	0.915	0.950	1.024	1.053	0.881
90%	0.843	0.701	0.691	0.683	0.692	0.728	0.809	0.840	0.905	0.931	0.782
80%	0.738	0.630	0.617	0.615	0.616	0.637	0.708	0.737	0.801	0.826	0.692
70%	0.633	0.572	0.571	0.561	0.554	0.561	0.618	0.645	0.702	0.725	0.614
60%	0.548	0.520	0.532	0.522	0.505	0.524	0.553	0.568	0.616	0.636	0.552
50%	0.504	0.483	0.498	0.496	0.501	0.509	0.527	0.534	0.549	0.558	0.516
40%	0.471	0.470	0.480	0.483	0.501	0.507	0.515	0.517	0.523	0.527	0.499
30%	0.530	0.549	0.548	0.545	0.553	0.553	0.553	0.555	0.561	0.564	0.551
20%	0.681	0.699	0.698	0.694	0.688	0.682	0.667	0.661	0.649	0.644	0.676
10%	0.840	0.850	0.849	0.847	0.844	0.841	0.834	0.831	0.824	0.822	0.838
5%	0.920	0.925	0.925	0.923	0.922	0.920	0.917	0.915	0.912	0.911	0.919
Min	0.471	0.470	0.480	0.483	0.501	0.507	0.515	0.517	0.523	0.527	0.499
Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 81. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.553	0.980	0.837	0.799	0.856	0.836	0.901	0.977	1.202	1.326	1.027
110%	1.390	0.865	0.734	0.699	0.752	0.733	0.809	0.872	1.069	1.181	0.910
100%	1.233	0.750	0.631	0.599	0.647	0.630	0.717	0.774	0.959	1.062	0.800
90%	1.090	0.653	0.528	0.501	0.544	0.542	0.638	0.695	0.866	0.959	0.702
80%	0.960	0.600	0.478	0.423	0.464	0.495	0.589	0.640	0.793	0.886	0.633
70%	0.840	0.550	0.443	0.370	0.431	0.458	0.540	0.585	0.747	0.834	0.580
60%	0.743	0.500	0.422	0.381	0.415	0.424	0.514	0.574	0.726	0.801	0.550
50%	0.676	0.468	0.418	0.418	0.412	0.446	0.543	0.586	0.705	0.767	0.544
40%	0.630	0.486	0.463	0.466	0.480	0.517	0.595	0.629	0.718	0.764	0.575
30%	0.622	0.558	0.582	0.588	0.571	0.588	0.646	0.672	0.739	0.773	0.634
20%	0.647	0.699	0.721	0.725	0.714	0.716	0.708	0.714	0.759	0.782	0.719
10%	0.799	0.850	0.861	0.863	0.857	0.858	0.854	0.850	0.836	0.827	0.845
5%	0.900	0.925	0.930	0.931	0.928	0.929	0.927	0.925	0.918	0.913	0.923
Min	0.622	0.468	0.418	0.370	0.412	0.424	0.514	0.574	0.705	0.764	0.544
Coeficiente	0.3	0.5	0.5	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 82. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	0.937	0.740	0.837	0.935	0.991	1.038	1.150	1.204	1.343	1.412	1.059
110%	0.817	0.653	0.746	0.832	0.876	0.918	1.021	1.070	1.198	1.261	0.939
100%	0.703	0.578	0.669	0.734	0.769	0.798	0.892	0.937	1.053	1.110	0.824
90%	0.607	0.520	0.592	0.651	0.666	0.681	0.763	0.803	0.908	0.959	0.715
80%	0.524	0.470	0.516	0.568	0.569	0.581	0.633	0.669	0.762	0.808	0.610
70%	0.457	0.424	0.461	0.503	0.502	0.500	0.525	0.545	0.623	0.661	0.520
60%	0.397	0.411	0.427	0.466	0.459	0.448	0.458	0.469	0.505	0.534	0.458
50%	0.393	0.430	0.430	0.445	0.430	0.413	0.405	0.418	0.448	0.462	0.427
40%	0.460	0.506	0.477	0.448	0.446	0.441	0.429	0.432	0.455	0.467	0.456
30%	0.570	0.624	0.601	0.580	0.569	0.561	0.545	0.539	0.538	0.546	0.567
20%	0.713	0.749	0.734	0.720	0.713	0.707	0.691	0.683	0.660	0.649	0.702
10%	0.856	0.875	0.867	0.860	0.856	0.854	0.846	0.841	0.830	0.824	0.851
5%	0.928	0.937	0.934	0.930	0.928	0.927	0.923	0.921	0.915	0.912	0.925
Min	0.393	0.411	0.427	0.445	0.430	0.413	0.405	0.418	0.448	0.462	0.427
Coeficiente	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 83. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	0.902	0.744	0.713	0.703	0.711	0.746	0.832	0.864	0.931	0.958	0.810
110%	0.818	0.673	0.651	0.645	0.652	0.675	0.750	0.778	0.839	0.863	0.734
100%	0.734	0.610	0.598	0.595	0.596	0.614	0.672	0.699	0.759	0.783	0.666
90%	0.651	0.564	0.564	0.554	0.547	0.556	0.602	0.629	0.687	0.710	0.606
80%	0.567	0.524	0.535	0.524	0.508	0.519	0.556	0.576	0.622	0.642	0.557
70%	0.511	0.493	0.506	0.502	0.494	0.504	0.531	0.539	0.565	0.578	0.522
60%	0.478	0.467	0.489	0.488	0.495	0.503	0.512	0.519	0.533	0.537	0.502
50%	0.462	0.471	0.484	0.481	0.496	0.502	0.509	0.510	0.514	0.516	0.494
40%	0.509	0.524	0.520	0.526	0.535	0.536	0.535	0.538	0.544	0.547	0.531
30%	0.618	0.641	0.640	0.635	0.630	0.623	0.615	0.612	0.605	0.602	0.622
20%	0.745	0.761	0.760	0.757	0.753	0.748	0.738	0.733	0.724	0.720	0.744
10%	0.873	0.880	0.880	0.878	0.877	0.874	0.869	0.867	0.862	0.860	0.872
5%	0.936	0.940	0.940	0.939	0.938	0.937	0.934	0.933	0.931	0.930	0.936
Min	0.462	0.467	0.484	0.481	0.494	0.502	0.509	0.510	0.514	0.516	0.494
Coeficiente	0.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 84. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.186	0.720	0.605	0.577	0.629	0.612	0.700	0.756	0.931	1.031	0.775
110%	1.063	0.633	0.521	0.496	0.545	0.544	0.630	0.687	0.856	0.947	0.692
100%	0.957	0.578	0.462	0.433	0.477	0.496	0.591	0.643	0.796	0.879	0.631
90%	0.861	0.540	0.428	0.370	0.438	0.466	0.552	0.599	0.742	0.831	0.583
80%	0.765	0.503	0.403	0.339	0.412	0.437	0.513	0.559	0.725	0.805	0.546
70%	0.691	0.465	0.393	0.364	0.398	0.407	0.507	0.564	0.709	0.780	0.528
60%	0.649	0.442	0.398	0.398	0.404	0.430	0.525	0.569	0.693	0.754	0.526
50%	0.608	0.465	0.439	0.443	0.455	0.492	0.571	0.606	0.696	0.742	0.552
40%	0.604	0.523	0.535	0.541	0.524	0.554	0.617	0.645	0.717	0.754	0.601
30%	0.603	0.625	0.651	0.656	0.640	0.643	0.663	0.684	0.738	0.765	0.667
20%	0.667	0.750	0.767	0.770	0.760	0.762	0.756	0.750	0.758	0.777	0.752
10%	0.834	0.875	0.884	0.885	0.880	0.881	0.878	0.875	0.863	0.856	0.871
5%	0.917	0.938	0.942	0.943	0.940	0.941	0.939	0.937	0.932	0.928	0.936
Min	0.603	0.442	0.393	0.339	0.398	0.407	0.507	0.559	0.693	0.742	0.526
Coeficiente	0.3	0.6	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.5	0.6
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 85. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR TAYLOR-SCHWARZ Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.588	1.255	1.396	1.545	1.628	1.690	1.848	1.924	2.122	2.220	1.722
110%	1.398	1.100	1.229	1.358	1.447	1.508	1.653	1.723	1.906	1.997	1.532
100%	1.212	0.954	1.068	1.195	1.276	1.332	1.465	1.530	1.697	1.779	1.351
90%	1.031	0.819	0.917	1.045	1.109	1.159	1.279	1.337	1.487	1.561	1.174
80%	0.855	0.696	0.797	0.896	0.943	0.985	1.092	1.144	1.277	1.343	1.003
70%	0.698	0.586	0.685	0.755	0.787	0.812	0.906	0.951	1.068	1.125	0.837
60%	0.574	0.502	0.573	0.633	0.647	0.661	0.720	0.758	0.858	0.907	0.683
50%	0.474	0.436	0.484	0.542	0.542	0.548	0.576	0.596	0.668	0.706	0.557
40%	0.392	0.420	0.445	0.481	0.472	0.462	0.471	0.482	0.516	0.534	0.467
30%	0.435	0.489	0.460	0.455	0.444	0.439	0.425	0.432	0.455	0.470	0.450
20%	0.591	0.642	0.619	0.598	0.587	0.579	0.562	0.557	0.555	0.562	0.585
10%	0.795	0.821	0.810	0.799	0.794	0.790	0.778	0.772	0.756	0.747	0.786
5%	0.898	0.910	0.905	0.900	0.897	0.895	0.889	0.886	0.878	0.874	0.893
Min	0.392	0.420	0.445	0.455	0.444	0.439	0.425	0.432	0.455	0.470	0.450
Coeficiente	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 86. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.159	0.955	0.945	0.934	0.966	1.009	1.105	1.146	1.231	1.265	1.072
110%	1.034	0.847	0.825	0.824	0.854	0.894	0.990	1.027	1.106	1.137	0.954
100%	0.922	0.752	0.739	0.734	0.749	0.791	0.882	0.916	0.987	1.015	0.849
90%	0.811	0.673	0.665	0.657	0.664	0.700	0.779	0.809	0.872	0.897	0.753
80%	0.710	0.608	0.594	0.592	0.591	0.612	0.681	0.710	0.772	0.796	0.666
70%	0.609	0.552	0.551	0.541	0.533	0.539	0.598	0.626	0.684	0.706	0.594
60%	0.527	0.503	0.515	0.505	0.494	0.512	0.539	0.553	0.600	0.619	0.537
50%	0.488	0.469	0.491	0.488	0.492	0.499	0.515	0.522	0.536	0.544	0.504
40%	0.467	0.472	0.482	0.480	0.493	0.499	0.506	0.508	0.512	0.516	0.494
30%	0.541	0.559	0.557	0.550	0.554	0.555	0.550	0.548	0.553	0.555	0.552
20%	0.688	0.706	0.705	0.700	0.695	0.689	0.674	0.669	0.656	0.652	0.683
10%	0.844	0.853	0.852	0.850	0.847	0.844	0.837	0.834	0.828	0.826	0.842
5%	0.922	0.926	0.926	0.925	0.924	0.922	0.919	0.917	0.914	0.913	0.921
Min	0.467	0.469	0.482	0.480	0.492	0.499	0.506	0.508	0.512	0.516	0.494
Coeficiente	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 87. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.485	0.940	0.804	0.771	0.830	0.812	0.891	0.966	1.192	1.316	1.001
110%	1.328	0.828	0.704	0.673	0.727	0.711	0.799	0.862	1.059	1.172	0.886
100%	1.177	0.716	0.604	0.576	0.625	0.613	0.708	0.766	0.951	1.054	0.779
90%	1.039	0.626	0.508	0.480	0.525	0.534	0.629	0.688	0.859	0.951	0.684
80%	0.915	0.577	0.461	0.404	0.456	0.487	0.582	0.633	0.791	0.884	0.619
70%	0.800	0.530	0.428	0.358	0.424	0.451	0.534	0.584	0.756	0.843	0.571
60%	0.713	0.483	0.409	0.381	0.409	0.419	0.523	0.583	0.734	0.808	0.546
50%	0.651	0.454	0.416	0.417	0.416	0.456	0.551	0.594	0.711	0.773	0.544
40%	0.610	0.476	0.462	0.476	0.489	0.525	0.601	0.635	0.723	0.769	0.576
30%	0.608	0.559	0.590	0.595	0.577	0.593	0.651	0.676	0.742	0.776	0.637
20%	0.645	0.706	0.726	0.730	0.718	0.720	0.712	0.717	0.762	0.784	0.722
10%	0.805	0.853	0.863	0.865	0.859	0.860	0.856	0.852	0.837	0.828	0.848
5%	0.902	0.927	0.932	0.933	0.930	0.930	0.928	0.926	0.918	0.914	0.924
Min	0.608	0.454	0.409	0.358	0.409	0.419	0.523	0.583	0.711	0.769	0.544
Coeficiente	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 88. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Taylor-Schwarz, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO RACIONAL CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	3.296	2.760	3.098	3.529	3.647	3.715	3.919	4.034	4.370	4.549	3.692
110%	2.955	2.456	2.765	3.160	3.268	3.330	3.517	3.625	3.939	4.099	3.311
100%	2.613	2.160	2.439	2.791	2.889	2.946	3.123	3.222	3.509	3.654	2.935
90%	2.272	1.864	2.115	2.425	2.510	2.566	2.739	2.829	3.091	3.224	2.563
80%	1.931	1.573	1.791	2.072	2.149	2.207	2.362	2.446	2.681	2.799	2.201
70%	1.596	1.305	1.479	1.735	1.806	1.863	2.004	2.076	2.279	2.381	1.852
60%	1.268	1.054	1.183	1.415	1.491	1.526	1.646	1.708	1.882	1.969	1.514
50%	0.972	0.812	0.929	1.122	1.176	1.203	1.289	1.340	1.485	1.558	1.188
40%	0.748	0.595	0.720	0.872	0.906	0.922	0.965	0.997	1.107	1.164	0.900
30%	0.594	0.473	0.557	0.678	0.684	0.681	0.711	0.728	0.786	0.817	0.671
20%	0.531	0.505	0.519	0.572	0.561	0.546	0.538	0.549	0.584	0.602	0.551
10%	0.661	0.690	0.665	0.676	0.664	0.652	0.625	0.612	0.587	0.587	0.642
5%	0.823	0.845	0.831	0.813	0.808	0.805	0.796	0.791	0.776	0.769	0.806
Min	0.531	0.473	0.519	0.572	0.561	0.546	0.538	0.549	0.584	0.587	0.551
Coeficiente	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 89. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.864	1.630	1.613	1.600	1.620	1.673	1.810	1.865	1.981	2.028	1.768
110%	1.675	1.444	1.429	1.409	1.435	1.479	1.593	1.643	1.751	1.795	1.565
100%	1.487	1.262	1.245	1.232	1.250	1.291	1.400	1.444	1.538	1.577	1.373
90%	1.302	1.090	1.079	1.068	1.081	1.122	1.220	1.259	1.343	1.377	1.194
80%	1.126	0.952	0.944	0.937	0.933	0.967	1.050	1.084	1.162	1.193	1.035
70%	0.965	0.841	0.816	0.808	0.799	0.821	0.901	0.933	1.002	1.028	0.891
60%	0.814	0.736	0.714	0.681	0.676	0.695	0.758	0.786	0.844	0.867	0.757
50%	0.711	0.647	0.628	0.601	0.572	0.580	0.623	0.644	0.696	0.716	0.642
40%	0.629	0.558	0.563	0.550	0.523	0.515	0.527	0.536	0.565	0.579	0.554
30%	0.563	0.541	0.528	0.515	0.495	0.496	0.501	0.502	0.509	0.514	0.517
20%	0.614	0.615	0.600	0.578	0.573	0.564	0.548	0.543	0.540	0.542	0.572
10%	0.783	0.793	0.791	0.788	0.786	0.781	0.771	0.766	0.757	0.753	0.777
5%	0.892	0.896	0.896	0.894	0.893	0.891	0.885	0.883	0.879	0.877	0.889
Min	0.563	0.541	0.528	0.515	0.495	0.496	0.501	0.502	0.509	0.514	0.517
Coeficiente	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 90. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	2.027	1.397	1.243	1.233	1.367	1.395	1.545	1.666	2.005	2.182	1.606
110%	1.791	1.241	1.106	1.083	1.186	1.213	1.367	1.477	1.788	1.950	1.420
100%	1.556	1.092	0.970	0.949	1.023	1.032	1.188	1.288	1.571	1.718	1.239
90%	1.357	0.943	0.833	0.814	0.881	0.877	1.009	1.099	1.354	1.486	1.065
80%	1.162	0.794	0.696	0.679	0.739	0.744	0.863	0.930	1.140	1.255	0.900
70%	0.991	0.677	0.594	0.557	0.609	0.639	0.742	0.801	0.979	1.085	0.767
60%	0.850	0.580	0.509	0.461	0.522	0.548	0.636	0.693	0.887	0.984	0.667
50%	0.741	0.494	0.424	0.399	0.435	0.457	0.584	0.652	0.823	0.907	0.592
40%	0.670	0.435	0.370	0.360	0.399	0.460	0.587	0.641	0.779	0.846	0.555
30%	0.602	0.449	0.454	0.457	0.465	0.495	0.590	0.631	0.734	0.784	0.566
20%	0.577	0.617	0.636	0.635	0.615	0.613	0.641	0.661	0.715	0.743	0.645
10%	0.756	0.808	0.818	0.818	0.808	0.806	0.797	0.790	0.767	0.772	0.794
5%	0.878	0.904	0.909	0.909	0.904	0.903	0.898	0.895	0.883	0.877	0.896
Min	0.577	0.435	0.370	0.360	0.399	0.457	0.584	0.631	0.715	0.743	0.555
Coeficiente	0.2	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.4

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 91. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo Racional con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.986	1.619	1.843	2.129	2.205	2.264	2.422	2.507	2.747	2.868	2.259
110%	1.754	1.429	1.629	1.896	1.971	2.026	2.176	2.253	2.470	2.579	2.018
100%	1.531	1.254	1.419	1.671	1.743	1.796	1.933	2.003	2.200	2.299	1.785
90%	1.308	1.084	1.217	1.454	1.529	1.567	1.690	1.753	1.930	2.019	1.555
80%	1.092	0.919	1.036	1.248	1.315	1.344	1.446	1.502	1.660	1.739	1.330
70%	0.916	0.757	0.876	1.054	1.106	1.126	1.203	1.252	1.390	1.459	1.114
60%	0.766	0.612	0.737	0.890	0.926	0.943	0.988	1.021	1.136	1.194	0.921
50%	0.645	0.506	0.601	0.745	0.759	0.772	0.806	0.828	0.903	0.947	0.751
40%	0.567	0.466	0.542	0.642	0.643	0.629	0.647	0.661	0.713	0.741	0.625
30%	0.528	0.501	0.517	0.575	0.564	0.547	0.543	0.554	0.590	0.609	0.553
20%	0.611	0.601	0.581	0.597	0.584	0.569	0.542	0.534	0.545	0.557	0.572
10%	0.760	0.789	0.770	0.748	0.739	0.734	0.722	0.715	0.696	0.686	0.736
5%	0.880	0.894	0.885	0.873	0.869	0.867	0.861	0.858	0.848	0.843	0.868
Min	0.528	0.466	0.517	0.575	0.564	0.547	0.542	0.534	0.545	0.557	0.553
Coeficiente	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, **MAPE** es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el **coeficiente** es la variación con el MAPE mínimo **Min** en cada periodo de retorno.

Tabla 92. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.226	1.032	1.007	0.998	0.997	1.034	1.127	1.164	1.242	1.275	1.110
110%	1.106	0.933	0.903	0.894	0.890	0.923	1.008	1.044	1.122	1.152	0.998
100%	0.994	0.839	0.811	0.804	0.799	0.818	0.900	0.933	1.002	1.029	0.893
90%	0.885	0.759	0.735	0.714	0.712	0.733	0.800	0.830	0.891	0.916	0.797
80%	0.776	0.692	0.674	0.640	0.632	0.652	0.700	0.726	0.781	0.803	0.708
70%	0.684	0.631	0.616	0.595	0.567	0.572	0.616	0.634	0.681	0.701	0.630
60%	0.626	0.569	0.571	0.556	0.530	0.528	0.545	0.558	0.591	0.606	0.568
50%	0.571	0.523	0.539	0.530	0.509	0.502	0.507	0.514	0.528	0.538	0.526
40%	0.538	0.533	0.524	0.511	0.492	0.498	0.504	0.505	0.506	0.509	0.512
30%	0.583	0.589	0.576	0.552	0.546	0.544	0.535	0.530	0.530	0.530	0.551
20%	0.689	0.702	0.700	0.696	0.692	0.686	0.671	0.665	0.652	0.647	0.680
10%	0.844	0.851	0.850	0.848	0.846	0.843	0.835	0.832	0.826	0.823	0.840
5%	0.922	0.926	0.925	0.924	0.923	0.921	0.918	0.916	0.913	0.912	0.920
Min	0.538	0.523	0.524	0.511	0.492	0.498	0.504	0.505	0.506	0.509	0.512
Coeficiente	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 93. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo del Hidrograma Unitario Triangular con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.404	0.954	0.838	0.818	0.892	0.896	1.026	1.114	1.364	1.494	1.080
110%	1.239	0.842	0.735	0.716	0.783	0.775	0.902	0.976	1.201	1.320	0.949
100%	1.099	0.729	0.631	0.615	0.676	0.680	0.786	0.851	1.048	1.153	0.827
90%	0.974	0.632	0.546	0.525	0.579	0.604	0.698	0.753	0.918	1.009	0.724
80%	0.865	0.561	0.486	0.444	0.513	0.537	0.620	0.669	0.834	0.930	0.646
70%	0.759	0.496	0.425	0.379	0.449	0.470	0.553	0.614	0.794	0.882	0.582
60%	0.699	0.453	0.364	0.350	0.385	0.425	0.551	0.612	0.766	0.841	0.545
50%	0.649	0.423	0.352	0.346	0.383	0.438	0.559	0.610	0.739	0.801	0.530
40%	0.599	0.442	0.438	0.437	0.443	0.474	0.567	0.608	0.711	0.761	0.548
30%	0.568	0.555	0.578	0.578	0.554	0.556	0.606	0.629	0.690	0.722	0.604
20%	0.628	0.703	0.719	0.719	0.703	0.702	0.689	0.686	0.727	0.748	0.702
10%	0.810	0.852	0.859	0.859	0.851	0.851	0.844	0.839	0.823	0.814	0.840
5%	0.905	0.926	0.930	0.930	0.926	0.925	0.922	0.920	0.912	0.907	0.920
Min	0.568	0.423	0.352	0.346	0.383	0.425	0.551	0.608	0.690	0.722	0.530
Coeficiente	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.4	0.3	0.3	0.5
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 94. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo del Hidrograma unitario triangular con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

MODELO DE CHOW CON PENDIENTE POR ÁREAS COMPENSADAS Y NÚMEROS DE ESCURRIMIENTOS

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	2.697	2.235	2.523	2.880	2.985	3.047	3.235	3.340	3.638	3.788	3.037
110%	2.406	1.982	2.244	2.565	2.662	2.721	2.907	3.003	3.276	3.414	2.718
100%	2.115	1.729	1.967	2.251	2.344	2.410	2.579	2.667	2.921	3.048	2.403
90%	1.823	1.484	1.692	1.960	2.048	2.106	2.261	2.341	2.569	2.683	2.097
80%	1.540	1.257	1.433	1.678	1.754	1.812	1.954	2.026	2.226	2.326	1.800
70%	1.260	1.050	1.179	1.406	1.480	1.523	1.647	1.710	1.885	1.973	1.511
60%	1.007	0.843	0.958	1.150	1.211	1.240	1.341	1.394	1.544	1.619	1.231
50%	0.794	0.650	0.769	0.919	0.962	0.980	1.039	1.083	1.208	1.271	0.968
40%	0.629	0.502	0.599	0.742	0.757	0.771	0.805	0.825	0.904	0.954	0.749
30%	0.537	0.459	0.529	0.612	0.608	0.595	0.606	0.619	0.668	0.694	0.593
20%	0.552	0.530	0.528	0.557	0.546	0.536	0.510	0.512	0.535	0.550	0.536
10%	0.698	0.734	0.710	0.703	0.691	0.682	0.658	0.647	0.623	0.612	0.676
5%	0.849	0.867	0.855	0.840	0.835	0.833	0.825	0.821	0.808	0.802	0.833
Min	0.537	0.459	0.528	0.557	0.546	0.536	0.510	0.512	0.535	0.550	0.536
Coeficiente	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 95. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias pequeñas											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.655	1.427	1.412	1.391	1.411	1.455	1.567	1.616	1.721	1.763	1.542
110%	1.484	1.259	1.245	1.228	1.243	1.284	1.386	1.430	1.523	1.562	1.364
100%	1.314	1.100	1.083	1.075	1.084	1.125	1.224	1.263	1.348	1.382	1.200
90%	1.154	0.970	0.955	0.949	0.946	0.982	1.070	1.106	1.183	1.215	1.053
80%	1.007	0.859	0.838	0.833	0.825	0.849	0.930	0.963	1.033	1.061	0.920
70%	0.868	0.764	0.738	0.716	0.711	0.732	0.801	0.830	0.892	0.916	0.797
60%	0.738	0.680	0.661	0.625	0.609	0.627	0.672	0.697	0.751	0.773	0.683
50%	0.662	0.600	0.592	0.571	0.540	0.543	0.572	0.588	0.626	0.644	0.594
40%	0.590	0.530	0.545	0.535	0.511	0.504	0.506	0.513	0.531	0.544	0.531
30%	0.550	0.550	0.538	0.518	0.500	0.505	0.510	0.511	0.511	0.511	0.520
20%	0.637	0.638	0.625	0.615	0.610	0.603	0.583	0.578	0.569	0.566	0.603
10%	0.803	0.812	0.810	0.808	0.805	0.801	0.792	0.788	0.779	0.776	0.797
5%	0.902	0.906	0.905	0.904	0.903	0.901	0.896	0.894	0.890	0.888	0.899
Min	0.550	0.530	0.538	0.518	0.500	0.504	0.506	0.511	0.511	0.511	0.520
Coeficiente	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3

T_año es el periodo de retorno en años, *MAPE* es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el *coeficiente* es la variación con el MAPE mínimo *Min* en cada periodo de retorno.

Tabla 96. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias pequeñas.

Análisis de sensibilidad del coeficiente agregado al modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas y Números de escurrimientos en cuencas intermedias grandes											
Variación	T_2	T_5	T_10	T_20	T_50	T_100	T_500	T_1000	T_5000	T_10000	MAPE
120%	1.850	1.262	1.122	1.105	1.218	1.243	1.390	1.501	1.812	1.974	1.448
110%	1.629	1.122	0.995	0.973	1.063	1.073	1.224	1.326	1.611	1.760	1.278
100%	1.417	0.984	0.868	0.848	0.919	0.919	1.059	1.151	1.410	1.545	1.112
90%	1.235	0.845	0.741	0.723	0.787	0.782	0.905	0.981	1.209	1.331	0.954
80%	1.063	0.710	0.619	0.599	0.655	0.671	0.778	0.840	1.025	1.130	0.809
70%	0.923	0.619	0.540	0.498	0.559	0.586	0.680	0.733	0.904	1.008	0.705
60%	0.797	0.530	0.463	0.417	0.479	0.502	0.588	0.653	0.832	0.925	0.619
50%	0.710	0.468	0.386	0.374	0.400	0.433	0.572	0.635	0.793	0.871	0.564
40%	0.648	0.426	0.366	0.368	0.403	0.459	0.578	0.628	0.755	0.817	0.545
30%	0.586	0.473	0.490	0.489	0.483	0.511	0.583	0.621	0.716	0.763	0.572
20%	0.592	0.642	0.660	0.660	0.641	0.639	0.648	0.667	0.717	0.743	0.661
10%	0.771	0.821	0.830	0.830	0.820	0.819	0.811	0.804	0.784	0.772	0.806
5%	0.885	0.910	0.915	0.915	0.910	0.910	0.905	0.902	0.892	0.886	0.903
Min	0.586	0.426	0.366	0.368	0.400	0.433	0.572	0.621	0.716	0.743	0.545
Coeficiente	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.4
T_año es el periodo de retorno en años, MAPE es el porcentaje de error medio empleando todos los periodos de retorno, el coeficiente es la variación con el MAPE mínimo Min en cada periodo de retorno.											

Tabla 97. Resultados del análisis de sensibilidad variando el coeficiente agregado en el modelo de CHOW con pendiente por Áreas compensadas, números de escurrimiento en cuencas intermedias grandes.

REFERENCIAS

- Aparicio Mijares, F. J. (2006). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: Limusa.
- Baeza Ramírez, C. (2007). *Estimación regional de factores de convectividad para el cálculo de las relaciones intensidad-duración-frecuencia*. Ciudad de México: Tesis de Maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM.
- Bell, F. C. (Enero de 1969). Generalized Rainfall - Duration - Frequency Relationships. *ASCE Journal of Hydraulics Division*, 95(HY1), 311-327.
- Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí, México: Universidad de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería.
- Chen, C.-I. (1983). Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(12), 1603-1621.
- Escalante Sandoval, C. A., & Reyes Chávez, L. (2002). *Técnicas estadísticas en hidrología*. UNAM: Facultad de Ingeniería.
- Luna Vera, J. A. (2013). *Predicción y pronóstico de tormentas en Regiones de Montaña Aplicación en la Cuenca del Río La Paz, Bolivia*. Ciudad de México: Tesis de Doctorado, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM.
- Mendoza Grande, M. (2001). *Factores de regionalización de lluvias máximas en la República Mexicana*. México, D.F.: Tesis de Maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM.