



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA



Unidad Iztapalapa
DIVISIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
POSGRADO EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

***“APLICACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS PARA IDENTIFICAR
LAS SEQUÍAS Y CRECIDAS EN LA PARTE MEXICANA DE LA
CUENCA DEL RÍO COLORADO”.***

TESIS

Que para obtener el título de
MAESTRO EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

PRESENTA

Fausto Arturo Klimek Albarrán

MATRÍCULA: 2223803578.

klimek2696@hotmail.com

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Claudia Rojas Serna

JURADO:

Presidente: Dr. Carlos Agustín Escalante Sandoval

Secretario: Dr. Antonio Zoilo Márquez García

Vocal: Dr. Francisco Javier Aparicio Mijares

Iztapalapa, Ciudad De México, 17 de noviembre de 2025

Agradecimientos

Francamente no iba a hacer agradecimientos, no porque no quisiera, sino porque mi cabeza está en otras partes ahora mismo. Primero quisiera agradecer a la UAM por permitirme realizar la maestría en Energía y Medio Ambiente, al CONAHCYT por su apoyo mediante la beca con el convenio No. 1256000, así como a los profesores que me impartieron clase.

Quiero hacer un agradecimiento especial a mi asesora de tesis, la Dra. Claudia Rojas Serna, sin ella no hubiera terminado ni siquiera el 1er trimestre -yo no soy hidrólogo como tal-, gracias por todo su apoyo. También a mis compañeras del área de Recursos Hidrológicos, hemos hecho un muy buen grupo de trabajo y entablado una buena amistad.

Obviamente también agradecer a mi familia, a mis padres, tío y tía que han estado al pendiente de mí, y de que tenga mis necesidades básicas cubiertas. A mis primos/as, que me apoyan y animan, lo tengo presente, no se me olvida. No puede faltar el agradecimiento a mis abuelas, por ellas estoy vivo, no me alcanzan las palabras para agradecerles por todo lo que hicieron por mí y mi familia en general, todo lo que fui, soy y seré es por ellas.

No pueden faltar mis amigos/as, no los voy a mencionar porque seguramente se me va a pasar alguno y no quisiera que fuera así. Gracias por estar ahí, gracias por ayudarme, muchas veces se piensa que el trabajo realizado es solamente de una persona, pero realmente son muchísimas las que están inmiscuidas para que se puedan dar las cosas. Si algo he aprendido es que uno solo no puede lograr nada, siempre se necesita ayuda de los demás, y tampoco está mal pedir ayuda cuando se necesita.

Por último, quisiera agradecer al Dr. Eduardo Benavides, quien fuera asesor mío en la licenciatura y eventualmente un buen amigo. Siempre creyó en mí, incluso cuando yo dudé de mí mismo, no voy a olvidar nunca el cómo me apoyó para que pudiera terminar la carrera, espero esté descansando en paz. Ojalá pudiera estar aquí al igual que todos los que se han ido para verme cumplir mis metas y objetivos.

Me gusta pensar que soy el cúmulo de muchas situaciones o circunstancias -a veces muy extrañas-, y que por eso estoy aquí. Al final del día solo quiero hacer las cosas bien y que me recuerden como una buena persona. Ahora soy Ingeniero Geólogo, especialista en Recursos Geotérmicos y con maestría en Energía y Medio Ambiente (Recursos Hidrológicos) ...Se van a desmayar cuando les diga que quiero ser chef.

ÍNDICE

Agradecimientos	i
ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
Resumen	1
Abstract	1
Introducción	2
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	5
1.1 Estado del arte	5
1.2 Localización	10
1.3 Hipótesis	10
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivos particulares	11
1.5 Metodología	12
CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	14
2.1 Fisiografía	14
2.2 Clima.....	15
2.3 Geología.....	18
2.4 Hidrología.....	19
2.5 Calidad del agua	20
2.6 Contexto Sociodemográfico.....	23
2.6.1 Tratado de aguas México-Estados Unidos de 1944.....	24
2.6.2 Ejemplo de Acta de la CILA (Acta 332).....	27
CAPÍTULO 3. REGIONALIZACIÓN	28
3.1 Delimitación de las subcuencas	28
3.2 Pendiente del Cauce	30
3.2.1 Pendiente y longitud del cauce Subcuenca 1	34
3.2.2 Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 2.....	34

3.2.3	Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 3.....	35
3.2.4	Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 4.....	35
3.2.5	Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 5.....	36
3.3	Clasificación de corrientes.....	36
3.4	Área drenada de estaciones hidrométricas.....	37
CAPÍTULO 4. PRECIPITACIÓN, GASTO Y EVAPOTRANSPIRACIÓN.....		40
4.1	Estimadores de calidad investigativa de Precipitación.....	40
4.2	Precipitación.....	41
4.2.1	Estaciones Climatológicas.....	41
4.2.2	Precipitación Total Media Anual	42
4.2.3	Precipitación Total Media Mensual Anual	45
4.2.4	Precipitación en las subcuencas.....	46
4.3	Evapotranspiración.....	55
4.3.1	Evapotranspiración Media Anual.	58
4.3.2	Evapotranspiración Media Mensual.....	62
4.3.3	Evapotranspiración en las subcuencas.....	63
4.4	Gasto	71
4.4.1	Estaciones hidrométricas.....	73
4.4.2	Gasto Medio Anual	76
4.4.3	Gasto Medio Mensual.....	77
4.4.4	Gastos CILA.....	78
4.4.5	Gasto en las Subcuencas.....	82
4.5	Periodos de retorno (Tr)	89
4.5.1	Periodo de retorno para precipitación de la cuenca general.	89
4.5.2	Periodo de retorno para gasto de la cuenca general.	92
CAPÍTULO 5. DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS Y LÍMITES DE CONFIANZA.....		94
5.1	Método de los Momentos	94
5.2	Método de máxima verosimilitud	95
5.3	Pruebas de Homogeneidad e Independencia	95

5.4	Distribuciones de Frecuencias.....	98
5.5	Límites de confianza.....	100
CAPÍTULO 6. ESTRUCTURA DE LOS MODELOS PARA ESTIMAR SEQUÍA-CRECIDAS: GR2M y GR1A.....		117
6.1	Modelo GR2M.....	117
6.1.1	Cuenca general.....	118
6.1.2	Subcuenca 1.....	122
6.1.3	Subcuenca 2.....	125
6.1.4	Subcuenca 3.....	128
6.1.5	Subcuenca 4.....	131
6.1.6	Subcuenca 5.....	134
6.2	Modelo GR1A.....	137
6.2.1	Cuenca general.....	137
6.2.2	Subcuenca 1.....	139
6.2.3	Subcuenca 2.....	141
6.2.4	Subcuenca 3.....	143
6.2.5	Subcuenca 4.....	144
6.2.6	Subcuenca 5.....	146
CAPÍTULO 7. ÍNDICES DE SEQUÍA HIDROLÓGICA Y METEOROLÓGICA.....		148
7.1	Distribución de Frecuencia Acumulada.....	148
7.2	Índices sequía-crecidas.....	154
7.3	Índices sequía-periodo húmedo propuestos.....	167
CONCLUSIONES.....		179
RECOMENDACIONES.....		180
ANEXO 1. TABLAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....		182
ANEXO 2. INFORMACIÓN ESTACIONES HIDROMÉTRICAS.....		190
ANEXO 3. TABLAS DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR CUENCA.....		195
ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS.....		197
ANEXO 5. PROCEDIMIENTOS.....		197

BIBLIOGRAFÍA.....	218
-------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la cuenca del Río Colorado con las cuencas adyacentes a la cuenca del río Colorado (Elaboración propia).	10
Figura 2. Esquema de la metodología aplicada en el estudio total.....	12
Figura 3. La Cuenca del Río Colorado (elevación). Tomada de (GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).	14
Figura 4. Cuenca del Río Colorado: Temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, escurrimiento promedio anual y eficiencia promedio del escurrimiento, durante el periodo de 1981-2010 (Datos: Livneh et al., 2013. Tomado de Lukas & Payton, 2020). ..	17
Figura 5. Flujo anual del río Colorado.	20
Figura 6. Ubicación de las presas Morelos e Imperial (Google Earth, 2005).	21
Figura 7. Diferencia de salinidad de las aguas del Río Colorado de la Presa Imperial y Presa Morelos de 1974-2022 (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2023) en PPM (Partes por millón).	22
Figura 8. Distribución de las aguas del Río Colorado (Lagos Mead y Powell) (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025).	24
Figura 9. Proyecciones del lago Mead (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025) PSNM (Pies sobre el nivel del mar).	25
Figura 10. Almacenamiento histórico conjunto Lago Mead y Lago Powell 1980-2025 (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025).	26
Figura 11. Ejemplificación del orden de corrientes (Aparicio, 1992).	29
Figura 12. Orden de corriente de la subcuenca 1 (Elaboración propia).	30
Figura 13. Mapa de subcuencas de la Cuenca Regionalizada del Río Colorado en km... ..	31
Figura 14. Longitud Subcuenca 1 en metros.....	34
Figura 15. Longitud de la Subcuenca 2 en metros.	34
Figura 16. Longitud de la Subcuenca 3 en metros.	35
Figura 17. Longitud Subcuenca 4 en metros.....	35
Figura 18. Longitud Subcuenca 5 en metros.....	36
Figura 19. Clasificación de corrientes por el tiempo en que transportan agua (Aparicio, 1992).	37
Figura 20. Clasificación de corrientes por su posición topográfica o edad geológica (Aparicio, 1992).	37

Figura 21. Área de las cuencas en km ² y S adimensional.	39
Figura 22. Área de las cuencas en km ² y Longitud de cuencas (L).	39
Figura 23. Ejemplificación de polígonos de Thiessen.....	43
Figura 24. Gráfica del Promedio de Precipitaciones Totales Anuales de 1957-2020 en la Cuenca del Río Colorado en mm/año.	45
Figura 25. Precipitación media mensual en la cuenca mm/mes.	46
Figura 26. a) Precipitación media mensual subcuenca 1 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 1 mm/año.	48
Figura 27. a) Precipitación media mensual subcuenca 2 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 2 mm/año.	50
Figura 28. a) Precipitación media mensual subcuenca 3 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 3 mm/año.	52
Figura 29. a) Precipitación media mensual subcuenca 4 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 4 mm/año.	53
Figura 30. a) Precipitación media mensual subcuenca 5 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 5 mm/año.	54
Figura 31. Evapotranspiración media anual mm/día.	58
Figura 32. Gráfica de evapotranspiración media mensual mm/mes.	63
Figura 33. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 1 mm/mes y mm/año.	65
Figura 34. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 2 mm/mes y mm/año.	67
Figura 35. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 3 mm/mes y mm/año.	67
Figura 36. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 4 mm/mes y mm/año.	69
Figura 37. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 5 mm/mes y mm/año.	71
Figura 38. Ejemplo de Hidrograma (Aparicio, 1992).....	72
Figura 39. Ejemplificación de Hidrograma aislado (Aparicio, 1992).....	72
Figura 40. Gasto medio anual m ³ /s/año.	77
Figura 41. Gráfica del Gasto Medio Mensual de la Cuenca del Río Colorado.	77
Figura 42. Gráficas de gasto de la Subcuenca 1 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	83
Figura 43. Gráficas de gasto de la Subcuenca 2 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	85
Figura 44. Gráficas de gasto de la Subcuenca 4 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	87
Figura 45. Gráficas de gasto de la Subcuenca 5 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	88
Figura 46. Gráfico de T para precipitación de la cuenca en general de 5-10,000 años. ...	92

Figura 47. Gráfico de Tr para gasto de la cuenca en general de 5-10,000 años.	93
Figura 48. Gráficos de la prueba de independencia de Anderson para gasto.	96
Figura 49. Gráficos de la prueba de independencia de Anderson para precipitación.	97
Figura 50. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Cuenca General.	105
Figura 51. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Cuenca General en mm.	106
Figura 52. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 1 en mm.	107
Figura 53. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 2 en mm.	108
Figura 54. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 3 en mm.	109
Figura 55. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 4 en mm.	110
Figura 56. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 5 en mm.	111
Figura 57. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 1 en m ³ /s.	112
Figura 58. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 2 en m ³ /s.	113
Figura 59. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 3 en m ³ /s.	114
Figura 60. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 4 en m ³ /s.	115
Figura 61. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 5 en m ³ /s.	116
Figura 62. Esquema del modelo GR2M.	117
Figura 63. Nivel S del embalse de producción de la Cuenca General m ³	119
Figura 64. Nivel R de regulación de la Cuenca General m.	120
Figura 65. Hidrograma del modelo GR2M de la Cuenca General en mm y m ³ /s.	120
Figura 66. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Cuenca General.	121
Figura 67. Nivel S (en mm) del embalse de producción de la Subcuenca 1 en m ³	123
Figura 68. Nivel R (en mm) de regulación de la Subcuenca 1.	123

Figura 69. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 1 en mm y m ³ /s.	124
Figura 70. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 1.	124
Figura 71. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 2 en m ³	126
Figura 72. Nivel R de regulación de la Subcuenca 2 en mm.	126
Figura 73. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 2 en mm y m ³ /s.	127
Figura 74. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 2.	127
Figura 75. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 3 en m ³	129
Figura 76. Nivel R de regulación de la Subcuenca 3 en m.	129
Figura 77. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 3 en mm y m ³ /s.	130
Figura 78. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 3.	130
Figura 79. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 4 en m ³	132
Figura 80. Nivel R de regulación de la Subcuenca 4 en m.	132
Figura 81. Nivel R de regulación de la Subcuenca 4 en mm y m ³ /s.	133
Figura 82. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 4.	133
Figura 83. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 5 en m ³	135
Figura 84. Nivel R de regulación de la Subcuenca 5 en m.	135
Figura 85. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 5 en mm y m ³ /s.	136
Figura 86. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 5.	136
Figura 87. Hidrograma del modelo GR1A de la Cuenca General en mm y m ³ /s.	138
Figura 88. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Cuenca General.	138
Figura 89. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 1 en mm y m ³ /s.	140
Figura 90. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 1.	140
Figura 91. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 2 en mm y m ³ /s.	141
Figura 92. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 2.	142

Figura 93. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 3 en mm y m3/s.....	143
Figura 94. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 3.	144
Figura 95. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 4 en mm y m3/s.....	145
Figura 96. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 4.	145
Figura 97. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 5 en mm y m3/s.....	147
Figura 98. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 5.	147
Figura 99. Gráficos de DFA de precipitación para la cuenca general y las subcuencas.	150
Figura 100. Gráficos de DFA de gasto para la cuenca general y las subcuencas.	151
Figura 101. Ubicación de las cuencas homogéneas en los percentiles 0-30% y 70-100%, a partir de parámetros estadísticos de las series climáticas de Precipitación y ETP. RC (Río Colorado), S1 (Subcuenca 1), S2 (Subcuenca 2), S3 (Subcuenca 3), S4 (Subcuenca 4), S5 (Subcuenca 5).	154
Figura 102. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la cuenca del río Colorado donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	168
Figura 103. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 1 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	169
Figura 104. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 2 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	170
Figura 105. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 3 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	171
Figura 106. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 4 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	172
Figura 107. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 5 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.	173
Figura 108. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del SPI y gráfica del SPI para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.	174
Figura 109. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del SPEI y gráfica del SPEI para identificar inicio-terminación, intensidad y	

magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.	175
Figura 110. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del Índice R y gráfica del Índice R para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.	176
Figura 111. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del Índice Qobs y gráfica del Índice Qobs para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.	177
Figura 112. a) Pendiente del cauce principal (desnivel en los extremos). b) Pendiente del cauce principal (línea recta) (Aparicio, 1992)	197
Figura 113. Pendiente del cauce principal. Criterio de Taylor y Schwarz.	198

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de la subcuenca 2 en metros.	32
Tabla 2. Datos Subcuenca 1 en metros.	34
Tabla 3. Datos Subcuenca 2 en metros.	34
Tabla 4. Datos Subcuenca 3 en metros.	35
Tabla 5. Datos Subcuenca 4 en metros.	35
Tabla 6. Datos Subcuenca 5 en metros.	36
Tabla 7. Área drenada por subcuenca en km ²	38
Tabla 8. Características físicas de las cuencas en km y km ²	38
Tabla 9. Número deseado de pluviómetros por cuenca.	40
Tabla 10. Número de datos mínimos para validez de datos en km ²	40
Tabla 11. Precipitación Media Mensual Anual 1957-2020 en mm.....	42
Tabla 12. Precipitación Total Media Anual de la Cuenca en mm.	44
Tabla 13. Precipitación Media Mensual 1957-2020 en mm/mes.	45
Tabla 14. Precipitación media mensual anual de la subcuenca 1 en mm.....	47
Tabla 15. Precipitación media mensual anual Subcuenca 2 en mm.....	49
Tabla 16. Precipitación media mensual anual Subcuenca 3 en mm.....	51
Tabla 17. Precipitación media mensual anual Subcuenca 4 en mm.....	52

Tabla 18. Precipitación media mensual anual Subcuenca 5 en mm.....	54
Tabla 19. Rs Mensual-Anual obtenido de NASA POWER e Inteligencia Artificial en mm/mes y mm/año.....	59
Tabla 20. Ra mensual-anual en mm/día.	60
Tabla 21. Evapotranspiración media diaria mensual en mm.	61
Tabla 22. Evapotranspiración media mensual en mm/mes.	62
Tabla 23. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 1 en mm.....	64
Tabla 24. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 2 mm/mes/año.....	66
Tabla 25. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 3 mm/mes/año.....	68
Tabla 26. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 4 mm/mes/año.....	69
Tabla 27. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 5 mm/mes/año.....	70
Tabla 28. Gasto medio mensual anual cuenca general m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	76
Tabla 29. Gasto medio diario entregado del mes de enero de 2025 m ³ /s/mes. LIN: Lindero Internacional Norte; LIS: Lindero Internacional Sur.....	78
Tabla 30. Volumen Total entregado de agua de 2005 a 2024 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.	79
Tabla 31. Gasto Medio Diario de enero de 2005 en m ³ /s/mes.....	80
Tabla 32. Volumen Medio Total Entregado 2005-2024 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	81
Tabla 33. Gasto Medio Diario Mensual-Anual CILA 2005-2024 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	82
Tabla 34. Gasto medio mensual anual Subcuenca 1 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	83
Tabla 35. Gasto medio mensual anual Subcuenca 2 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	84
Tabla 36. Gasto medio mensual anual Subcuenca 3 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	85
Tabla 37. Gasto medio mensual anual Subcuenca 4 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	86
Tabla 38. Gasto medio mensual anual Subcuenca 5 m ³ /s/mes y m ³ /s/año.....	88
Tabla 39. Periodos de retorno (T) para la cuenca general.	90
Tabla 40. Periodos de retorno (T) Gumble I por momentos.	91
Tabla 41. Periodo de retorno de precipitación de la cuenca general de 5 a 10,000 años.	92
Tabla 42. Periodo de retorno de gasto de la cuenca general de 5 a 10,000 años.	93
Tabla 43. Estadísticos muestrales de precipitación en mm.....	94
Tabla 44. Estadísticos muestrales de gasto en m ³ /s.	95
Tabla 45. Pruebas de homogeneidad e independencia para gasto.....	96

Tabla 46. Pruebas de homogeneidad e independencia para precipitación.....	97
Tabla 47. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para precipitación por momentos.....	99
Tabla 48. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para precipitación por máxima verosimilitud.	99
Tabla 49. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para gasto por momentos.	99
Tabla 50. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para gasto por máxima verosimilitud.....	100
Tabla 51. Límites de confianza de la variable de precipitación para la Cuenca General, la Subcuenca 1 y la Subcuenca 2 en mm.....	101
Tabla 52. Límites de confianza de la variable de precipitación para la Subcuenca 3, la Subcuenca 4 y la Subcuenca 5 en mm.....	102
Tabla 53. Límites de confianza de la variable de gasto para la Cuenca General, la Subcuenca 1 y la Subcuenca 2 en m ³ /s.	103
Tabla 54. Límites de confianza de la variable de gasto para la Subcuenca 3, la Subcuenca 4 y la Subcuenca 5 en m ³ /s.....	104
Tabla 55. Resultados generales del modelo GR2M para la Cuenca del Río Colorado...	118
Tabla 56. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 1.	122
Tabla 57. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 2.	125
Tabla 58. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 3.	128
Tabla 59. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 4.	131
Tabla 60. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 5.	134
Tabla 61. Datos generales del modelo GR1A para la Cuenca General.....	137
Tabla 62. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 1.....	139
Tabla 63. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 2.....	141
Tabla 64. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 3.....	143
Tabla 65. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 4.....	144
Tabla 66. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 5.....	146
Tabla 67. Características estadísticas en milímetros de Precipitación (P) en mm, Evapotranspiración Potencial (ETP), E-ETP y P/ETP de las cuencas. S1, S2, S3, S4, y S5 son las subcuencas 1, 2, 3, 4 y 5. Respectivamente; DFA es la distribución de frecuencia acumulada.	153
Tabla 68. Índice de sequía y crecidas de la cuenca general.	155

Tabla 69. índice de sequía y crecidas de la subcuenca 1.	157
Tabla 70. índice de sequía y crecidas de la subcuenca 2.	159
Tabla 71. índice de sequía y crecidas de la subcuenca 3.	161
Tabla 72. índice de sequía y crecidas de la subcuenca 4.	163
Tabla 73. índice de sequía y crecidas de la subcuenca 5.	165
Tabla 74. Clasificación de zonas climáticas áridas y húmedas (UNEP, 1992).	167
Tabla 75. Rango de percentiles de aridez y humedad en las cuencas (%).	167
Tabla 76. Intensidad y Magnitud de las sequías meteorológica e hidrológica para la cuenca del río Colorado y la Subcuenca 4, considerando SPI y SPEI para la meteorológica y los índices propuestos Índice R e Índice Qobs para la hidrológica.	178
Tabla 77. Datos de precipitación media anual de las estaciones climatológicas.	182
Tabla 78. Datos de Precipitación Media Mensual Anual.	186
Tabla 79. Temperatura Media Mensual Anual.....	187
Tabla 80. Temperatura Máxima Media Mensual.	188
Tabla 81. Temperatura Mínima Media Mensual Anual.	189
Tabla 82. Datos de la estación hidrométrica 1026.	190
Tabla 83. Datos de la estación hidrométrica 1023	191
Tabla 84. Datos de la estación hidrométrica 1027.	192
Tabla 85. Datos de la estación hidrométrica 1025.	193
Tabla 86. Datos de la estación hidrométrica 1024.	194
Tabla 87. Parámetros estadísticos. Series de precipitación media anual.	195
Tabla 88. Precipitación Media Mensual Observada por cuenca.	195
Tabla 89. Varianza mensual obtenida.	195
Tabla 90. Desviación Estándar mensual.	196
Tabla 91. Coeficiente de Asimetría mensual.	196
Tabla 92. Coeficiente de Curtosis mensual.	196
Tabla 93. Coeficiente de Variación mensual.	196
Tabla 94. Características físicas de las cuencas.	197

Resumen

La Cuenca del Río Colorado en Baja California sufre una grave sequía debido a la sobreexplotación y al cambio climático. Se compara la sequía hidrológica con la meteorológica usando los modelos hidrológicos GR1A y GR2M. La investigación es relevante para la región, ya que se requiere atención especial en la gestión de recursos hídricos. Un modelo calibrado para la cuenca aporta pronósticos más precisos y brinda herramientas para un mejor manejo de los recursos hídricos.

Algunos modelos hidrológicos actuales usados en México, tales como la fórmula racional, GEQHMS, Ven-Te-Chow sobresimplifican la metodología para cuantificar adecuadamente el balance de agua, utilizándose una metodología estocástica que solo toma en cuenta una variable. En esta tesis se utiliza una metodología determinista. Se calibran y validan un modelo lluvia-escorrentía mensual y otro anual, que permiten determinar las sequías e inundaciones. Esto aporta conocimiento para implementar un pronóstico más acertado a largo plazo de las sequías, la elaboración de los índices de sequía hidrológica y meteorológica, así como sus causas e impactos potenciales.

Abstract

The Colorado River Basin in Baja California is suffering a severe drought due to overexploitation and climate change. Hydrological drought is compared to meteorological drought using the GR1A and GR2M hydrological models. This research is relevant for the region, as special attention is needed in water resource management. A model calibrated specifically for the basin provides more accurate forecasts and offers tools for better water resource management.

Some hydrological models currently used in Mexico, such as the rational formula, HEC-HMS, and Ven-Te Chow, oversimplify the methodology to adequately quantify the water balance, often employing a stochastic methodology that considers only one variable. This thesis uses a deterministic methodology. A monthly and an annual rainfall-runoff model are calibrated and validated, enabling the determination of droughts and floods. This contributes knowledge for implementing more accurate long-term drought forecasts, developing hydrological and meteorological drought indices, and understanding their causes and potential impacts.

Keywords: Hydrological drought; Meteorological drought, GR1A Model, GR2M Model; Drought indices; Colorado River Basin; Climate change; Water management.

Introducción

En la Cuenca del río Colorado y el noroeste de México se enfrenta un grave problema de periodos de sequía que ha generado preocupación tanto en Estados Unidos como en México. Para clasificar y estudiar la sequía, se han propuesto diferentes métodos, como la estimación del estrés hídrico, la técnica RVM (Relevance Vector Machine) para la clasificación probabilística de la sequía y el análisis de las curvas S-D-F (Severity-Duration-Frequency) con cópula bivariada (Samantaray, *et al.*, 2019).

La sequía, caracterizada por la falta de agua durante un período determinado, representa un riesgo natural con consecuencias negativas para los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y los servicios ecosistémicos, como la captura de carbono (Ault, 2020; Ciais *et al.*, 2005; Ledger *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2018; Mullin, 2020; Zhang *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022). Existen diferentes tipos de sequías, como las de corto (meses) y largo plazo (años), que afectan el almacenamiento de agua en el suelo y los recursos hídricos superficiales y subterráneos, respectivamente (Halwatura, *et al.*, 2015; Samantaray *et al.*, 2018). La clasificación de las sequías depende del tiempo, como las de corto y largo plazo, pero principalmente de las variables que se quieran analizar, por ejemplo, desde el punto de vista meteorológico e hidrológico. Las sequías hidrológicas se relacionan con la falta de agua en ríos, lagos, embalses y acuíferos subterráneos. En este contexto, el caudal se considera una variable clave, ya que refleja la contribución de la escorrentía superficial y subsuperficial, así como el flujo base (Nalbantis & Tsakiris, 2009; Tsakiris *et al.*, 2013; Sarailidis *et al.*, 2018). Las sequías meteorológicas se definen con el análisis de las precipitaciones históricas.

En 1944 se firmó el Tratado entre los Estados Unidos de América (EE. UU.) y los Estados Unidos Mexicanos (México) sobre la distribución de las aguas internacionales. Dicho Tratado estipula la entrega anual de 1,850,234,000 m³ de agua a México, incluyendo las épocas de sequía, y permite el suministro adicional de hasta 2,096,931,000 m³ de la cuenca del río Colorado en caso de excedentes. En 2023 se analizaron las acciones a implementar entre los años 2024 y 2026, ante las condiciones de escasez que se tienen, ya que se continúan deteriorando las condiciones hidrológicas. Los lagos Powell y Mead, embalses claves para el funcionamiento del sistema, se encuentran actualmente al 23 y 29 % de su capacidad de almacenamiento, respectivamente, siendo mínimos históricos. Se pronostica que estos niveles seguirán disminuyendo hasta los deshielos de primavera. De hecho, se

considera que esta sequía es la más severa que ha afectado a la región en los últimos 1200 años (CILA, 1944 & 2023).

La demanda creciente de agua para irrigación, abastecimiento de ciudades y generación de energía ha llevado a una reducción significativa de los caudales del río Colorado y de los flujos de agua hacia el delta. Esta situación ha provocado la degradación y pérdida de hábitats, la disminución de la biodiversidad y la alteración de los procesos ecológicos naturales. Además, la extracción de agua ha reducido la cantidad de agua que llega al Golfo de California, donde desemboca el río Colorado, afectando negativamente los ecosistemas marinos y costeros. Asimismo, la escasez de agua ha generado sequías en vastas áreas del delta, la desecación de humedales y la degradación de los hábitats acuáticos (Briggs & Cornelius, 1998).

En este trabajo se analizan las sequías hidrológicas y meteorológicas, utilizando datos de escurrimiento y precipitación, respectivamente, descartando la sequía agrícola y socioeconómica como parte del modelado realizado. Se propone una metodología para definir un índice de sequía utilizando salidas hidrológicas directas de Modelos Hidrológicos Globales (MHG). Estos modelos han demostrado ser más precisos reconstituyendo la tendencia y variabilidad del caudal, reduciendo así la incertidumbre en las estimaciones de la sequía, aportando conocimiento que permite realizar pronósticos más precisos y confiables de los periodos de sequía-crecidas en la Cuenca del Río Colorado.

En el Capítulo I se abordan las generalidades, tales como el estado del arte, la localización de las cuencas de estudio, la hipótesis y objetivos de la presente tesis.

En el Capítulo II se presentan las características de las cuencas de estudio y se aborda el Tratado de Aguas entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América de 1944.

El Capítulo III presenta la regionalización de la zona de estudio a partir de la identificación de las características hidrológicas homogéneas en las cuencas presentadas en el Capítulo anterior.

En el Capítulo IV se describe el análisis para las series de tiempo recabadas de precipitación y caudal, así como las series de datos de evapotranspiración potencial calculadas a partir de diferentes variables meteorológicas. También se aborda el concepto de periodo de retorno y se definen los que se usarán en el desarrollo del presente trabajo.

El Capítulo V está enfocado a las Distribuciones Estadísticas y de Probabilidad que se usan para conocer las variables analizadas y asociadas a los diferentes periodos de retorno. También se presentan las pruebas de homogeneidad e independencia que se realizan a las series de tiempo definidas en el capítulo anterior.

En el Capítulo VI se presentan los dos modelos hidrológicos globales usados para definir el índice de sequía-crecidas. Los resultados se presentan para las 6 cuencas analizadas.

El Capítulo VII presenta la definición del índice sequía-crecidas. Finalmente, se presentan las Conclusiones y Recomendaciones.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 Estado del arte

El problema de sequía en la Cuenca del río Colorado es cada vez más severo, ya que hay un cúmulo de factores que influyen en que la magnitud de la sequía crezca anualmente. Meyers (1966) exploró los patrones de precipitación en la cuenca del Río Colorado. La cuenca abarca una amplia gama de climas, desde regiones áridas en su parte baja hasta zonas montañosas con mayores niveles de precipitación (de 38 a 76 centímetros por año), lo que hace que esta varíe significativamente a lo largo de la cuenca. Los patrones de precipitación dependen también de la variabilidad estacional del caudal del río Colorado, ya que, durante los meses de primavera y verano, el deshielo de las montañas y las precipitaciones estacionales generan un aumento significativo en el caudal (temporada alta). Durante los meses más secos, especialmente en invierno, el caudal puede disminuir considerablemente, lo que se conoce como la "temporada baja", en donde normalmente tienen origen a las sequías.

Actualmente, prevalece un escenario de sequía en toda la cuenca del río Colorado, y posiblemente dure un periodo de tiempo más por la escasez de lluvia y la mala gestión hídrica de la región. Como consecuencia, las presas a lo largo del río Colorado se encuentran en niveles extremadamente bajos. Este escenario de disminución de reservas de agua y la incertidumbre alimenta un intenso debate político, tanto binacional como dentro de cada país, sobre las formas de administración de los recursos hídricos. A modo de ejemplo, los estados del sur de Estados Unidos, y en particular los de la cuenca baja del río, han utilizado la sequía como argumento para proponer estrategias que les permitan mantener las cuotas de agua, en los niveles que reciben actualmente y en algunos casos solicitando un aumento de estas cantidades. Para el lado mexicano de la cuenca, esto representa una presión mayor, por el uso del agua en toda la región norte de la península de Baja California, sin siquiera considerar la posibilidad de permitir caudales con fines ecológicos en el río o en el delta (Fermán, *et al.*, 2008).

La demanda de agua en la región supera la oferta disponible debido a varios factores. Para el suministro de agua en la cuenca del río Colorado se encuentran: 1.-La competencia por el agua entre las distintas actividades, tales como la agricultura, la industria, las ciudades y los ecosistemas; 2.-Cambio climático y sequías, debido a que se ha exacerbado la escasez de agua, ya que se ha observado un aumento en la frecuencia e intensidad de las sequías;

y 3.-La dependencia de la gestión de embalses, pues la cuenca depende en gran medida de estos para almacenar y regular el suministro de agua, siendo limitada y sujeta a fluctuaciones estacionales y anuales (Pulwarty & Maia, 2015).

Fleig, *et al.* (2011), se centran en el estudio de la sequía hidrológica en la región del noroeste de Europa. El objetivo principal fue establecer una conexión entre un nuevo índice de área de sequía regional y los tipos de tiempo meteorológico. Propusieron un nuevo índice de sequía, llamado el Índice de Área de Sequía Regional (RADAI, por sus siglas en inglés), que tiene en cuenta no solo las variables hidrológicas, como los caudales de los ríos y los niveles de agua subterránea, sino también las variables meteorológicas, como la precipitación y la evapotranspiración. Mediante el análisis de datos hidrológicos y meteorológicos, los autores identificaron diferentes escalas de tiempo que están asociadas con patrones de sequía en la región. Estos patrones de sequía pueden variar en intensidad, duración y extensión espacial, lo que permite una mejor comprensión de las características y tendencias de la sequía en el noroeste de Europa. Esto es especialmente relevante debido a los posibles impactos del cambio climático en los patrones de sequía y la disponibilidad de agua en el futuro.

Castle, *et al.* (2014) se centran en el agotamiento de las aguas subterráneas durante la sequía y su impacto en la seguridad hídrica futura de la cuenca del río Colorado. El estudio se basa en datos de la misión satelital GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) para evaluar los cambios en los niveles de agua subterránea en la cuenca del río Colorado durante un período de sequía prolongada. Los investigadores analizan cómo la sequía afecta la recarga de agua subterránea y cómo esto puede tener consecuencias negativas para la disponibilidad de agua en el futuro. Los resultados muestran que, durante los años de sequía, se produce un agotamiento significativo de las aguas subterráneas en la cuenca del río Colorado. Esto se debe a que los usuarios de agua recurren cada vez más a las aguas subterráneas como una fuente alternativa durante la escasez de agua superficial. A medida que las reservas subterráneas disminuyen, se vuelve cada vez más difícil satisfacer la demanda de agua, especialmente en períodos de sequía recurrente.

Se han utilizado técnicas de monitoreo probabilístico de sequías y análisis de severidad-duración-frecuencia para el análisis y evaluación de riesgos de las sequías. Tal es el caso de Samantaray, *et al.*, (2019), desarrollaron un enfoque novedoso para identificar y analizar los "puntos críticos" de sequía, es decir, las áreas que son especialmente susceptibles a la sequía y donde los impactos pueden ser más graves. Utilizaron datos climáticos y de sequía

para estimar la probabilidad de ocurrencia de sequías en diferentes regiones. Se realizó un análisis de la severidad, duración y frecuencia de las sequías para comprender mejor su naturaleza y características. Esto permitió identificar las sequías más intensas y prolongadas, así como su frecuencia de ocurrencia en diferentes áreas. Los resultados del estudio proporcionan información valiosa sobre los puntos críticos de sequía y los riesgos asociados en las áreas analizadas. Esto puede ser útil para la planificación y gestión de recursos hídricos, así como para el desarrollo de estrategias de adaptación y mitigación de sequías.

También Sarailidis *et al.*, (2019), se centraron en el análisis de las sequías de caudal utilizando umbrales fijos y variables. Exploraron diferentes métodos para identificar y caracterizar las sequías de caudal en una cuenca hidrográfica. Compararon el enfoque tradicional de umbrales fijos, donde se establece un umbral de caudal específico para definir una sequía, con el enfoque de umbrales variables, donde el umbral se ajusta en función de las condiciones hidrológicas actuales. Utilizaron datos de caudal de una cuenca hidrográfica y aplicaron diferentes métodos estadísticos para calcular los umbrales de sequía y analizar la duración, intensidad y frecuencia de las sequías de caudal. Compararon los resultados obtenidos utilizando umbrales fijos y variables para evaluar la efectividad de cada enfoque en la detección y caracterización de las sequías. Los resultados del estudio mostraron que el enfoque de umbrales variables proporciona una mejor representación de las condiciones hidrológicas actuales y una mayor precisión en la detección de sequías de caudal en comparación con el enfoque de umbrales fijos.

Un ejemplo del análisis de la sequía meteorológica e hidrológica reciente se encuentra en Australia. Yildirim, *et al.* (2022) utilizaron datos meteorológicos e hidrológicos para analizar la ocurrencia y características de la sequía en la región. Aplicaron diferentes métodos y técnicas estadísticas para evaluar la severidad, la duración, la frecuencia de ocurrencia y la propagación de la sequía en la cuenca estudiada. Revelaron patrones significativos de sequía meteorológica e hidrológica en el sureste de Australia, identificando períodos de sequía prolongada, una reducción de precipitación y caudal de los ríos en comparación con los años normales. Abdelkader & Yerdelen (2022) examinan la variabilidad de la sequía hidrológica y su relación con índices climáticos. Se utilizan los índices climáticos para identificar las señales climáticas asociadas con la ocurrencia y duración de los eventos de sequía hidrológica.

Meresa *et al.* (2023) se enfocan en comprender el papel de las características del área de captación y el clima en la propagación de la sequía meteorológica a hidrológica. Analizan la relación entre la sequía meteorológica, que se refiere a la escasez de precipitaciones, y la sequía hidrológica, que se relaciona con la falta de agua en los cuerpos de agua y en el suelo. Se centran en la propagación de la sequía desde su origen meteorológico hasta su impacto en los recursos hídricos. Utilizan datos hidrometeorológicos de diversas cuencas para investigar cómo las características del área de captación, como el tamaño, la topografía y la vegetación, influyen en la propagación de la sequía. También se analiza el papel del clima, incluyendo la variabilidad de las precipitaciones y las condiciones climáticas regionales, en la propagación de la sequía. Tanto las características del área de captación como las condiciones climáticas desempeñan un papel importante en la propagación de la sequía.

Los modelos hidrológicos son una herramienta que funciona para predecir el comportamiento a futuro de la sequía y crecidas, usando parámetros como la escurrimiento. Ganasri y Dwarakish (2015) proporcionan un análisis exhaustivo sobre los modelos hidrológicos utilizados en la investigación y la gestión de los recursos hídricos. Revisan las características y componentes de los modelos hidrológicos. Abordan los modelos hidrológicos lluvia-escurrimiento, que simulan la respuesta de una cuenca hidrográfica a las precipitaciones, y los modelos de flujo de agua subterránea, que representan el movimiento del agua en los acuíferos. También discuten los modelos de balance hídrico, que analizan el equilibrio entre la entrada y la salida de agua en una cuenca. Además, destacan los desafíos y las áreas de mejora en el desarrollo y la aplicación de modelos hidrológicos. Mencionan aspectos como la mejora de la representación de los procesos hidrológicos, la incorporación de datos espaciales y temporales más precisos, y la integración de modelos hidrológicos con otros modelos climáticos y socioeconómicos.

Un ejemplo de modelado hidrológico de agua subterránea y aplicado a la cuenca del río Colorado lo dan Tillman *et al.* (2017). Se centran en comprender la recarga de aguas subterráneas en la cuenca alta del río Colorado. El objetivo principal es comparar la recarga simulada utilizando datos climáticos observados y datos climáticos históricos generados por modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés). El enfoque de comparación entre datos observados y simulados permite comprender cómo los cambios climáticos históricos han afectado la recarga de aguas subterráneas en la cuenca. Se muestra que

existe una variabilidad significativa en la recarga de aguas subterráneas en la cuenca alta del río Colorado debido a la variabilidad climática.

Algunos métodos que se utilizan para cuantificar las precipitaciones son los métodos empíricos. Aparicio (1999) explica que cuando se tienen mediciones simultáneas de lluvia y volumen de escurrimiento en una cuenca, el volumen de pérdidas se puede calcular restando el volumen de escurrimiento directo al volumen de lluvia. Otro método que se utiliza es el propuesto en la NOM-011 (CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), 2015), en donde se establece el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales, para su explotación, uso o aprovechamiento. Escalante & Reyes (2008), abordan el análisis de la homogeneidad de las series de datos hidrológicos. Estas pruebas tienen como objetivo determinar si existe algún cambio significativo en el comportamiento de las variables hidrológicas a lo largo del tiempo, aplicándose antes de hacer un modelado.

Los modelos hidrológicos son nuevas herramientas que sirven para predecir con mayor exactitud los escenarios de sequía y crecidas, así como la relación con el clima y las condiciones ambientales. Wood *et al.* (2004) destacan la necesidad de considerar las implicaciones hidrológicas al seleccionar un enfoque de reducción de escala y resaltan la importancia de mejorar la precisión de las predicciones hidrológicas en el contexto del cambio climático. Li *et al.* (2022) analizan la respuesta hidrológica a sequías de varios años, centrándose en las características de retraso y magnitud de cambio.

Por último, se menciona a Wang *et al.* (2022), quienes se centran en mejorar la precisión del índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI) utilizando un modelo hidrológico mejorado, y proporcionan una evaluación más precisa de la severidad de las sequías tanto en el pasado como en el futuro. Reconocen que la precisión del PDSI por ser sobresimplificado, y puede verse afectada por la falta de consideración de los procesos hidrológicos subyacentes en el modelo. Por lo tanto, proponen una mejora en la modelización hidrológica para calcular el PDSI, que incorpora un modelo más detallado y preciso.

1.2 Localización

El área de estudio se encuentra localizada en el estado de Baja California. En la Figura 1, en color azul se encuentra la parte mexicana de la Cuenca del Río Colorado y de color anaranjado están las subcuencas adyacentes de donde se tomaron los datos para realizar la regionalización, debido a que las subcuencas al este de la cuenca no tienen estaciones hidrométricas para poder medir el volumen de gasto.



Figura 1. Mapa de la cuenca del Río Colorado con las cuencas adyacentes a la cuenca del río Colorado (Elaboración propia.).

1.3 Hipótesis

Un nuevo índice de sequías y crecidas que utilice un modelo hidrológico global permitirá conocer con mejor aceptabilidad los periodos históricos de las sequías e inundaciones y aportará conocimiento para pronosticarlas.

1.4 Objetivos

Modelar las sequías y crecidas de la Cuenca del Río Colorado, México, mediante modelos hidrológicos global anual y mensual en la zona del estado de Baja California.

1.4.1 Objetivos particulares

- Analizar los datos de las estaciones climatológicas e hidrométricas del área que comprende la cuenca del río Colorado en México, para un rango de 50 años.
- Desarrollar un índice de sequía y crecidas, para la cuenca del río Colorado en México.
- Diferenciar los índices de sequía hidrológica y sequía meteorológica.
- Proponer medidas de mitigación a los problemas generados por la sequía, que están afectando el área de la cuenca.

1.5 Metodología

Se utilizará una metodología determinista para la que se presenta el esquema en la Figura 2.

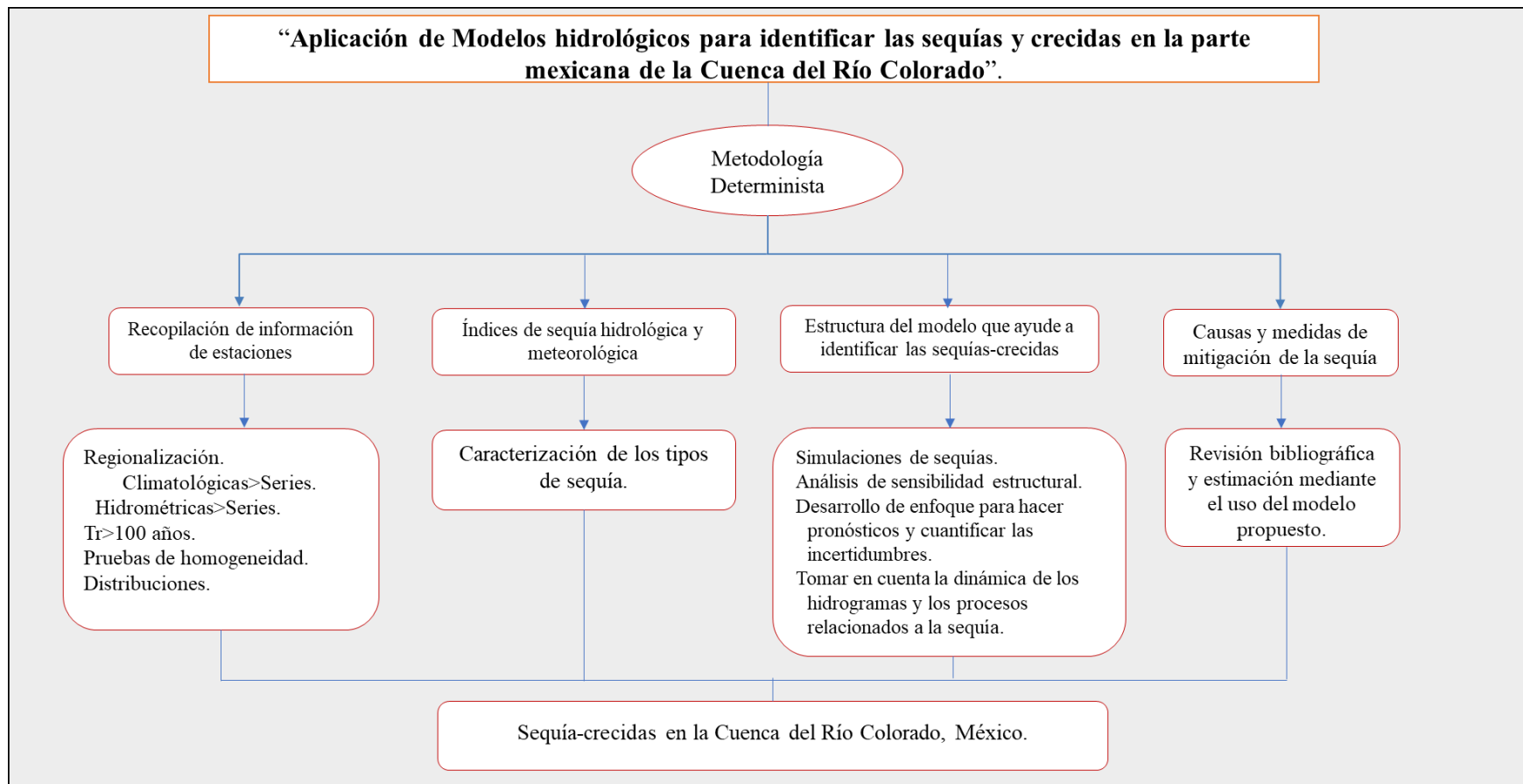


Figura 2. Esquema de la metodología aplicada en el estudio total.

- Recopilación de información de las estaciones climatológicas e hidrométricas: Se regionalizó la zona de estudio con las cuencas adyacentes, debido a la falta de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Colorado, elaboración de series de precipitación y gasto con los promedios obtenidos, periodos de retorno de 100 años, pruebas de Homogeneidad e independencia y uso de métodos probabilistas (distribuciones de probabilidad) para identificar las frecuencias de las sequías e inundaciones con los resultados obtenidos por el método determinista.
- En el presente trabajo, se utilizan 111 estaciones climatológicas obtenidas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), las cuales consisten en una serie de metadatos que fueron abiertos en el *software Google Earth*. Una vez abierto este *software*, se procede a abrir el archivo en formato KMZ, y, se ubican las estaciones correspondientes al área de estudio. Mismo caso con las 5 estaciones hidrométricas que se encontraban adyacentes al área de estudio, ya que, en la parte correspondiente a la Cuenca del Río Colorado, no se encontraba presente alguna. Debido a esto se debió realizar una Regionalización con los datos de estas estaciones.
- Desarrollo de índices de sequía hidrológica y meteorológica: Se caracterizarán los tipos de sequía utilizando índices encontrados en la literatura. Con los datos obtenidos se elaborarán índices propios del trabajo que sirvan como herramienta para el modelado
- Desarrollo de un índice de inundación: Se caracterizarán las inundaciones a partir de un umbral definido.
- Estructura del modelo para evaluar las sequías y crecidas: Simulaciones de sequía, análisis de sensibilidad estructural, desarrollo de un enfoque general para elaborar pronósticos y cuantificar la incertidumbre de los datos. Se tomarán en cuenta la dinámica del hidrograma y los procesos relacionados a la sequía, como el cambio climático.
- Causas y medidas de mitigación de la sequía: Mediante la revisión bibliográfica y con la estimación de los resultados obtenidos por el modelado.

CAPÍTULO 2. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

2.1 Fisiografía

El río Colorado tiene su origen en las altas montañas Rocosas, en el lado oeste del Parque Nacional de las Montañas Rocosas en el centro-norte de Colorado. Las Rocosas, producto de la orogenia Laramide, actúan como una barrera para la humedad que proviene del oeste y recogen la nieve invernal que se derrite en primavera y verano, generando los caudales del río. El Colorado atraviesa la compleja topografía montañosa del oeste de Colorado antes de ingresar a Utah, donde, justo aguas abajo de la ciudad de Moab, se une a su principal afluente, el río Green, que drena el oeste de Wyoming desde la Cordillera Wind River y parte de las montañas Uinta en Utah. El río ampliado luego se adentra en el Colorado Plateau, donde durante millones de años ha erosionado un paso a través de miles de metros de roca principalmente sedimentaria, creando algunos de los paisajes más espectaculares de la Tierra. Finalmente, atraviesa tierras desérticas debajo de la presa Hoover en su camino hacia el Golfo de California (Macdonnell, 2020). En la Figura 3 se observa el trayecto del río Colorado hasta desembocar al Golfo de California.

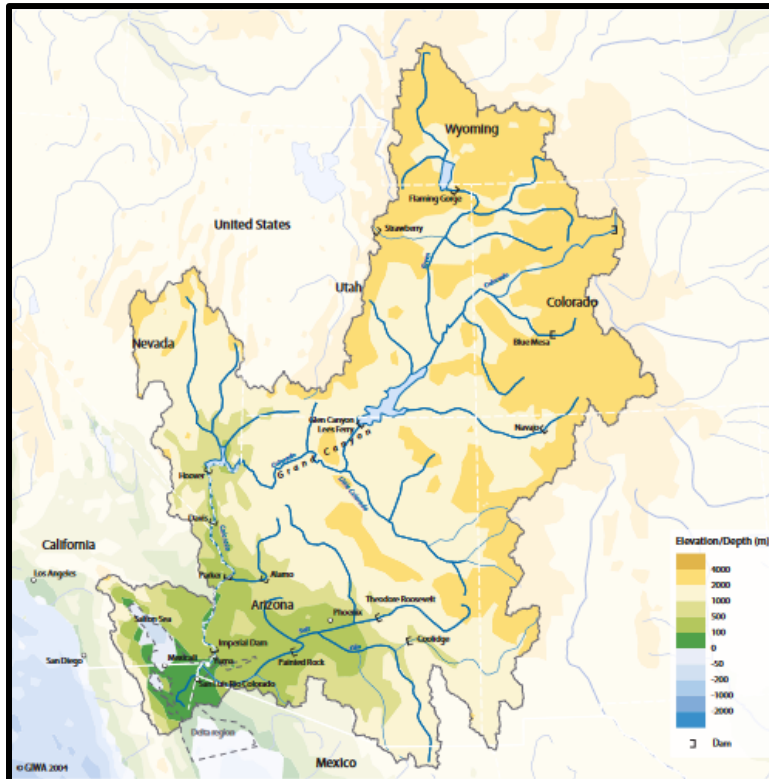


Figura 3. La Cuenca del Río Colorado (elevación). Tomada de (GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).

El terreno del río Colorado es muy singular. Está compuesto por laderas superiores húmedas, llanuras y colinas de transición irregulares, tierras de cañones profundos y llanuras secas inferiores. Las laderas superiores húmedas están formadas por numerosos arroyos que alimentan al río Colorado desde cañones de arroyos y pequeños valles de suelos planos, a menudo ocupados por lagos alpinos y picos de montaña empinados adyacentes. Estas áreas están densamente forestadas y contienen arroyos de flujo rápido, rápidos y cascadas.

Las Montañas Rocosas de Wyoming y Colorado tienen altitudes que oscilan entre 4,270 y 1,520 metros sobre el nivel del mar. Los cañones y mesetas se encuentran en Utah, Colorado, Nuevo México, Arizona y Wyoming, donde la altitud varía entre 1,830 y 1,220 metros, y finalmente la zona baja y alta de Nevada, Nuevo México y California con altitudes menores de 1,220 metros sobre el nivel del mar (GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).

El delta del río Colorado se encuentra en el noroeste de la República Mexicana y es compartido por los estados de Baja California y Sonora. Ahora se encuentra a menos de 60 km de la frontera con los Estados Unidos de América. Tiene un área aproximada de 164,779 hectáreas y forma parte de la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y el Delta del río Colorado. Está ubicado entre las latitudes de 31°00' y 32°10'N y las longitudes de 113°30' y 115°15'W, y ocupa el norte del Alto Golfo de California. Debido a que la porción marina del delta es un mar pequeño rodeado por el Desierto de Sonora y la cadena montañosa de Baja California, con alturas de 1 a 3 km (que disminuyen con la influencia del Océano Pacífico), presenta un clima más continental que oceánico (Fermán-Almada *et al.*, 2008)

2.2 Clima

Dentro de sus 386,242.56 km², la Cuenca del Río Colorado alberga una extraordinaria diversidad de entornos hidroclimáticos en un rango de elevación desde el nivel del mar hasta más de 4300 m. Algunas de las cabeceras de montaña reciben más de 152.4 cm de precipitación al año y tienen temperaturas promedio anuales muy por debajo del punto de congelación, mientras que los valles desérticos más secos reciben 10.16 cm de precipitación al año y experimentan temperaturas máximas diarias superiores a 48.89°C (Figura 4). Debido a la topografía accidentada, los gradientes climáticos abruptos son

comunes, con la precipitación anual aumentando hasta 5 veces en menos de 20 millas (32.19 km) desde la base hasta la cumbre de las cordilleras y altiplanos (Lukas & Payton, 2020).

La gran mayoría de la cuenca tiene un clima árido o semiárido, es decir, con menos de 50.8 cm de precipitación anual, y produce poco o ningún escurrimiento superficial. La precipitación vuelve a la atmósfera como vapor de agua antes de llegar a un curso de agua, evaporándose desde el suelo y el agua expuesta a la atmósfera, sublimándose desde el manto de nieve o transpirando desde la vegetación natural y los cultivos, procesos conocidos colectivamente como evapotranspiración, o ET.

Las áreas montañosas relativamente espacialmente restringidas a elevaciones altas, que son lo suficientemente húmedas y frías como para permitir la acumulación de un manto de nieve estacional, producen una cantidad desproporcionadamente alta de escurrimiento total de la cuenca; aproximadamente el 85% del escurrimiento anual promedio es contribuido por el 15% del área superficial de la cuenca (Christensen & Lettenmaier 2007. Tomado de Lukas & Payton, 2020). La gran mayoría de estas cabeceras altamente productivas se encuentran en la Cuenca Alta, principalmente en el oeste de Colorado, así como en el suroeste de Wyoming y el noreste de Utah. En consecuencia, la Cuenca Alta representa, en promedio, el 92% del total del caudal natural medido en la Presa Imperial.

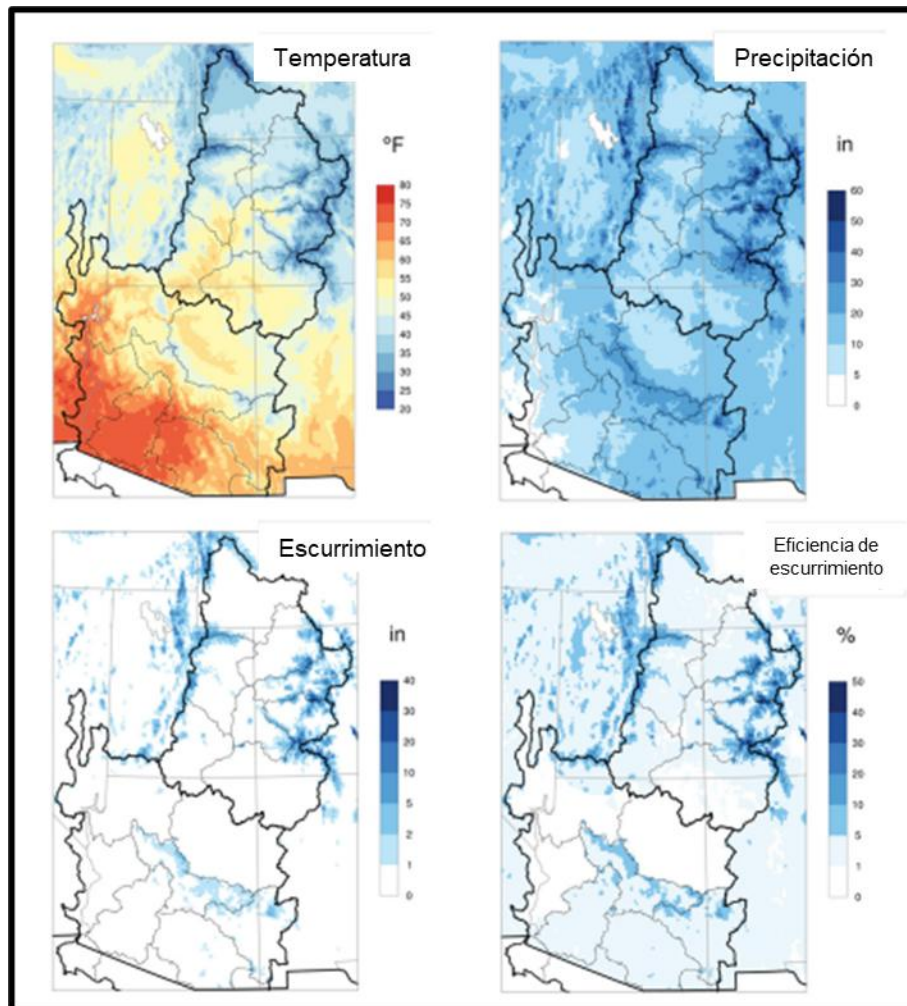


Figura 4. Cuenca del Río Colorado: Temperatura promedio anual, precipitación promedio anual, escurrimiento promedio anual y eficiencia promedio del escurrimiento, durante el periodo de 1981-2010 (Datos: Livneh et al., 2013. Tomado de Lukas & Payton, 2020).

La eficiencia del escurrimiento es mayor en las subcuencas montañosas del Norte y Este de la Cuenca Alta, con un promedio entre 25-30% en esas subcuencas. Las cuencas de mayor elevación dentro de esas subcuencas pueden alcanzar eficiencias de escurrimiento entre 40-60%. En promedio, en toda la Cuenca Alta, la eficiencia del escurrimiento es de aproximadamente el 16%, y para toda la cuenca, es de alrededor del 10%. Ambos valores son comparables a la eficiencia del escurrimiento estimada para la cuenca del Alto Missouri (alrededor del 12%; McCabe & Wolock 2019. Tomado de Lukas & Payton, 2020), pero mucho más bajos que la eficiencia del escurrimiento en la cuenca del río Columbia y las cuencas que se originan en la Sierra Nevada de California (40-50%; Das et al. 2011). Significativamente, las cuencas con una relativamente baja eficiencia de escurrimiento, tienen una mayor sensibilidad al cambio y a la variabilidad de la temperatura y la precipitación (Lukas & Payton, 2020).

2.3 Geología

La geología y las formas del terreno de la Cuenca del río Colorado pertenecen a tres provincias fisiográficas: las Montañas Rocosas, el Plateau de Colorado y la Región de las Cuencas y las Cordilleras. Internamente, cada provincia tiene materiales geológicos, suelos y formas del terreno ampliamente similares, y las provincias son distintamente diferentes entre sí (Batker, *et al.*, 2014).

Las Montañas Rocosas Centrales y del Sur, que dominan las cabeceras de la Cuenca Alta del Colorado en las cuencas de los ríos Green, Colorado y San Juan, presentan un terreno de rocas cristalinas como el granito, con plegamientos y fallas que generan una geología compleja y suelos delgados. Estas montañas, moldeadas por repetidas glaciaciones, tienen pendientes pronunciadas y cumbres que superan los 4000 msnm, lo que les permite interceptar gran cantidad de precipitación, especialmente nieve invernal; aunque producen la mayor parte del escurrimiento de la cuenca, generan pocos sedimentos. (Batker *et al.*, 2014).

A diferencia de las Montañas Rocosas, que se extienden más allá de la Cuenca del río Colorado, la mayor parte del Plateau de Colorado se ubica dentro de ella y contribuye a las partes central y sur de la Cuenca Alta y al norte de la Cuenca Baja. Su geología está compuesta por rocas sedimentarias relativamente planas o suavemente plegadas, más jóvenes que las de las Rocosas, con capas alternadas de arenisca, lutita y caliza que forman superficies planas y cañones profundos, además de flujos e intrusiones volcánicas de basalto y granito. Aunque sus elevaciones son menores, algunas montañas y mesetas superan los 3358 msnm. El relieve del Plateau se debe a la erosión fluvial, que ha creado un paisaje de cañones, mesetas y montañas con valles sedimentarios y acantilados marcados. (Batker *et al.*, 2014).

La provincia de las Cuencas y las Cordilleras, ubicada en la parte más meridional de la Cuenca del río Colorado e incluyendo zonas de Arizona, Nevada y California, se caracteriza por bloques graníticos levantados que forman cadenas montañosas separadas por amplios valles hundidos y llenos de sedimentos de hasta 3048 metros de profundidad. Estos valles, con materiales porosos, han dado origen a grandes reservorios subterráneos que facilitaron el desarrollo en esta región árida. El relieve presenta montañas aisladas conocidas como "Islas en el Cielo", que alcanzan altitudes cercanas a 3048 msnm y albergan ecosistemas

únicos, mientras que los valles planos y arenosos, con ríos poco profundos y abanicos aluviales, son el emplazamiento de ciudades como Phoenix y Tucson. (Batker et al., 2014).

2.4 Hidrología

Desde el último período glacial, hace aproximadamente 140,000 años, grandes cantidades de sedimentos han sido transportadas por los ríos y depositadas en las zonas bajas de la cuenca, formando barras de arena, terrazas marginales y, finalmente, el Delta del río Colorado en el Alto Golfo de California, que dio origen a los valles de Mexicali e Imperial. Estos depósitos crearon una elevación que aisló un brazo del océano y formó el antiguo Lago Cahuilla, el cual se secó en el siglo XVI y volvió a llenarse en 1905 por inundaciones y retornos de riego, dando lugar al actual Mar Salton. Entre los principales afluentes del río Colorado se incluyen, aguas arriba de la presa Glen Canyon, los ríos Green, San Juan, Escalante, Gunnison y Dolores; entre Glen Canyon y Hoover, los ríos Paria, Virgin y Little Colorado; y aguas abajo, los ríos Bill Williams y Gila. (GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).

Los principales embalses del río Colorado son el lago Mead y el lago Powell, cada uno con una capacidad utilizable superior a 30 km³, además de varios embalses menores como Flaming Gorge, Mohave, Strawberry, Havasu, Roosevelt, Taylor Park, Blue Mesa, McPhee, Vallecito y Navajo. Históricamente, los caudales anuales del río en Lee's Ferry han variado entre más de 29.6 km³ y menos de 4.6 km³ (Figura 5). La mayor parte del caudal del río se genera en la Cuenca Alta, que abarca unos 284,400 km², donde el 86% del escurrimiento anual proviene de solo el 15% del área total, concentrado en las montañas altas de Colorado.

El análisis de los sedimentos del río indica que, en los últimos 4,000 años, el Colorado ha alcanzado caudales máximos superiores a 7,080 m³/s. Su flujo natural seguía un patrón estacional bien definido, con más del 70% ocurriendo entre mayo y julio, cuando las crecidas superaban los 2,435 m³/s. Sin embargo, tras la construcción de presas como la de Glen Canyon en 1961, las crecidas máximas se redujeron considerablemente, con caudales promedio de solo 567 m³/s en mayo y 729 m³/s en junio. (USGS, 2004a; Andrews, 1990; Harding et al., 1995; Collier et al., 1996; USGS, 1996; tomado de GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).

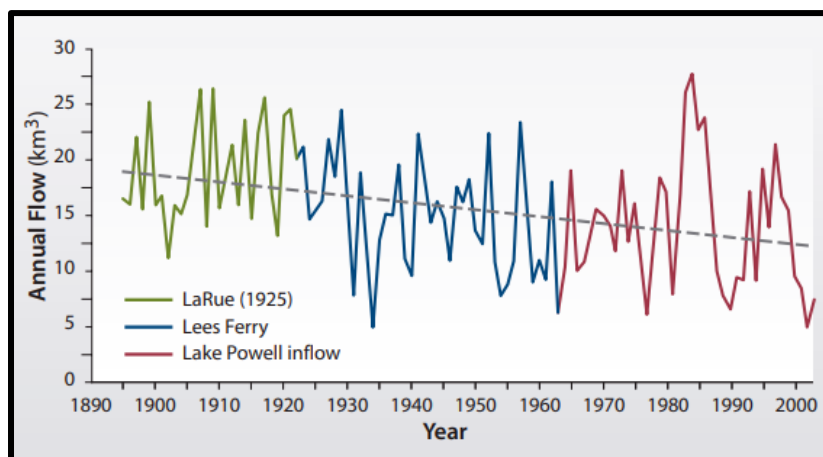


Figura 5. Flujo anual del río Colorado.

El río Colorado alterna secciones de rápidos y secciones tranquilas, con profundidades que varían entre 1.8 m y 27 m, promediando aproximadamente 6 m; los rápidos corresponden a las secciones poco profundas, mientras que las partes más profundas suelen ser las secciones tranquilas, y algunos rápidos presentan pozos formados en su base. Aunque los rápidos representan solo el 10% de la longitud del río a través del Gran Cañón, son responsables de más de la mitad de la caída total de altitud. Antes de la construcción de la presa de Glen Canyon, el río transportaba un promedio de 176 millones de toneladas de sedimentos por año, cifra que actualmente se ha reducido a 2.8 millones de toneladas anuales, con variaciones según la fuente y el año, como se indica en la Tabla 2; la presa se construyó principalmente para generar energía y evitar la acumulación de sedimentos detrás de la presa de Hoover, en la cabecera del lago Mead. (Andrews, 1990; tomado de GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT, 2004).

2.5 Calidad del agua

En 1961, se produjo una crisis binacional cuando agricultores de Wellton-Mohawk (Arizona) descargaron aguas salinas al río Colorado, contaminando tierras agrícolas en el Valle de Mexicali, situación que no estaba contemplada en el Tratado de Aguas de 1944, generando un vacío legal (Sepúlveda, 1974). México acusó a Estados Unidos de violar el tratado al entregar agua no apta para riego, mientras que EE.UU. negó inicialmente responsabilidad. Tras cuatro años de negociaciones se firmó el Acta 218 en 1965, desviando las aguas salinas al Golfo de California, aunque estas aún se descontaban de la cuota mexicana. El conflicto se resolvió de manera definitiva en 1973 con el Acta 242, mediante la cual Estados

Unidos se comprometió a entregar agua con un límite de 1,030 ppm de salinidad, financiar una planta desalinizadora en Arizona y un canal hasta el Estero de Santa Clara, y proporcionar fondos para rehabilitar tierras dañadas en Mexicali. A partir de 1974, el Acta garantiza que el agua entregada aguas arriba de la Presa Morelos (Figura 6) tenga una salinidad promedio anual no mayor a 115 ppm \pm 30 ppm (medición estadounidense) o 121 ppm \pm 30 ppm (medición mexicana), tomando como referencia la Presa Imperial, además de asegurar la entrega de 172.7 millones de m³/año en la frontera terrestre de San Luis con salinidad similar a la histórica (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 1973).



Figura 6. Ubicación de las presas Morelos e Imperial (Google Earth, 2005).

En la Figura 7 también se muestra la diferencia de salinidad de las aguas del Río Colorado de las Presas Imperial y Morelos de 1974-2022. En esta gráfica se muestra que ambas presas sobrepasan el valor máximo de la Norma mexicana (121 \pm 30ppm). Incluso la diferencia de salinidad entre ambas presas está cerca de sobrepasar a la Norma. Esto da una idea de la calidad del agua que se está recibiendo por parte de México de los Estados Unidos. Inevitablemente tiene que ser tratada y desalinizada para el consumo humano.

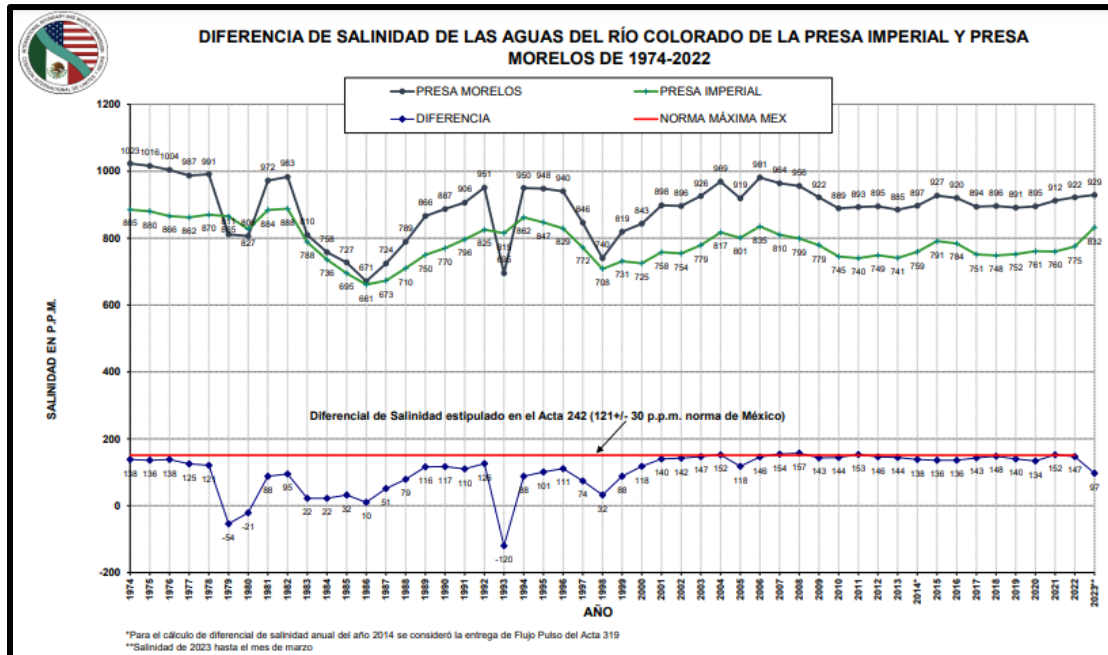


Figura 7. Diferencia de salinidad de las aguas del Río Colorado de la Presa Imperial y Presa Morelos de 1974-2022 (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2023) en PPM (Partes por millón).

En 1974, la Ley de Control de Salinidad de la Cuenca del Río Colorado autorizó la planificación y construcción de proyectos para reducir la salinidad en la cuenca, destacando la Unidad del Bajo Gunnison para mitigar la salinidad en los ríos Gunnison y Uncompahgre. En colaboración con la Oficina de Reclamación de Estados Unidos (USBR), el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) cuantificó los cambios en la salinidad, registrando una carga media anual de 110,000 toneladas entre 1989 y 2004, con disminuciones significativas cerca de Delta (179,000 toneladas), en el Uncompahgre (55,500 toneladas) y en el Gunnison cerca de Grand Junction (247,000 toneladas), alcanzando una reducción neta de 207,000 toneladas para 2007 (Schaffrath, 2012). Además, el Acta 306 estableció un marco de cooperación binacional entre México y EE.UU. para estudiar y preservar la ecología ribereña y del estuario del tramo limítrofe del río Colorado y su delta, creando un Grupo Técnico Binacional encargado de estudios conjuntos para restauración ambiental, intercambio de información y recomendaciones basadas en equidad (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2000).

El manejo del río Colorado debe equilibrar los usos competitivos agrícola, urbano y ecológico bajo escenarios de escasez, ya que, aunque los acuerdos binacionales garantizan el volumen de agua para México, la calidad del agua y los impactos ecológicos de los embalses siguen siendo desafíos críticos, especialmente frente a sequías y aumento de la demanda (Vaux, 1992). En los valles agrícolas de Mexicali y San Quintín, Baja

California, los residentes, principalmente trabajadores agrícolas, están expuestos a mezclas de agroquímicos (organoclorados, organofosforados, piretroides) y metales pesados (arsénico, plomo, cobre), percibiendo solo efectos agudos como asma y alergias, mientras que los impactos crónicos como cáncer o daño renal son ignorados; estos contaminantes provienen de actividades agrícolas intensivas, así como de fuentes industriales y geogénicas, incluyendo lixiviados mineros y emisiones de la planta geotérmica de Cerro Prieto, y en San Quintín, la extracción de agua subterránea concentra contaminantes en los acuíferos (Arellano et al., 2009). Además, el Valle de Mexicali depende críticamente del río Colorado, pero enfrenta una sobreconcesión del 8.6% en el lado estadounidense y una reducción proyectada del caudal de entre 19 y 31% para 2065 debido al cambio climático, con una disminución histórica de 9.3% por cada °C de aumento de temperatura (IMTA, 2020).

2.6 Contexto Sociodemográfico

El Río Colorado abastece de agua a millones de personas en ciudades en rápido crecimiento en la cuenca del río Colorado, como Las Vegas, Mexicali, Phoenix y St. George, Utah. Decenas de millones de personas fuera de la cuenca, desde Denver hasta Albuquerque y desde Salt Lake City hasta Los Ángeles, San Diego y Tijuana, también reciben agua exportada desde la cuenca para satisfacer al menos parte de sus necesidades de agua residencial y comercial. Más de la mitad de las personas que reciben agua de la cuenca viven en el sur de California. De hecho, aproximadamente el 70 por ciento de las personas que reciben agua de la cuenca en realidad no viven en la cuenca. Este estudio informa datos y tendencias de población y suministro de agua para 100 ciudades y agencias de agua que utilizan agua de la cuenca del río Colorado, compilando esta información por primera vez en un solo lugar (Cohen, 2011).

Estas entregas municipales, que incluyen entregas a los sectores residencial, comercial, industrial e institucional, así como algunos riegos paisajísticos, pero que no incluyen entregas a la agricultura, productores de energía o minería, representan solo aproximadamente el 15 por ciento del uso total del río Colorado (la agricultura utiliza más del 70 por ciento). Sin embargo, las entregas municipales son el sector de mayor crecimiento, lo que genera demandas de suministros de agua adicionales y ejerce presión sobre un sistema fluvial sobreasignado que enfrenta un desequilibrio entre la oferta y la

demanda, así como la perspectiva de disminuciones a largo plazo en el caudal debido al cambio climático (Cohen, 2011).

El número de personas que dependen al menos en parte del agua de la cuenca del río Colorado aumentó aproximadamente en 10 millones entre 1990 y 2008, alcanzando un total de casi 35 millones. Gran parte de este aumento ocurrió en áreas que experimentaron un crecimiento de población extraordinario: varias ciudades en Arizona y Utah más que triplicaron su población entre 1990 y 2008. El área metropolitana de Las Vegas agregó más de un millón de personas, duplicando su tamaño. Tijuana también duplicó aproximadamente su tamaño, sumando más de 800,000 personas que dependen del agua del río Colorado para aproximadamente el 90 por ciento de su suministro de agua (Cohen, 2011).

2.6.1 Tratado de aguas México-Estados Unidos de 1944

El Tratado de Aguas Internacionales que se firmó en 1944 entre México y Estados Unidos establece el marco legal para la distribución y el uso de las aguas del río Colorado y del río Tijuana, que fluyen a través de ambos países. El tratado asigna volúmenes específicos de agua a cada país y establece comisiones binacionales para su administración conjunta. En la Figura 8 se muestra la distribución de las aguas del río Colorado; lo importante de esta figura es la ubicación de los lagos Mead y Powell, los cuales son esenciales para la distribución de agua en el área de estudio.



Figura 8. Distribución de las aguas del Río Colorado (Lagos Mead y Powell) (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025).

La CILA anunció en agosto de 2024 reducciones en las asignaciones de agua del Río Colorado para 2025, conforme al Tratado y a los acuerdos binacionales recientes (actas 323 y 330). México recibirá entonces 1,504 Mm³ (lo cual significa una reducción de 62 Mm³, más una contribución de 37 Mm³ en ahorros recuperables), mientras que Estados Unidos reducirá 1,275 Mm³ en la Cuenca Baja. Estas medidas responden a la proyección del Lago Mead (Figura 9) que tiene una elevación de 323.79 metros sobre el nivel del mar (msnm) al 1 de enero de 2025, y que buscan garantizar la sustentabilidad hídrica mediante programas de conservación conjuntos (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2024).

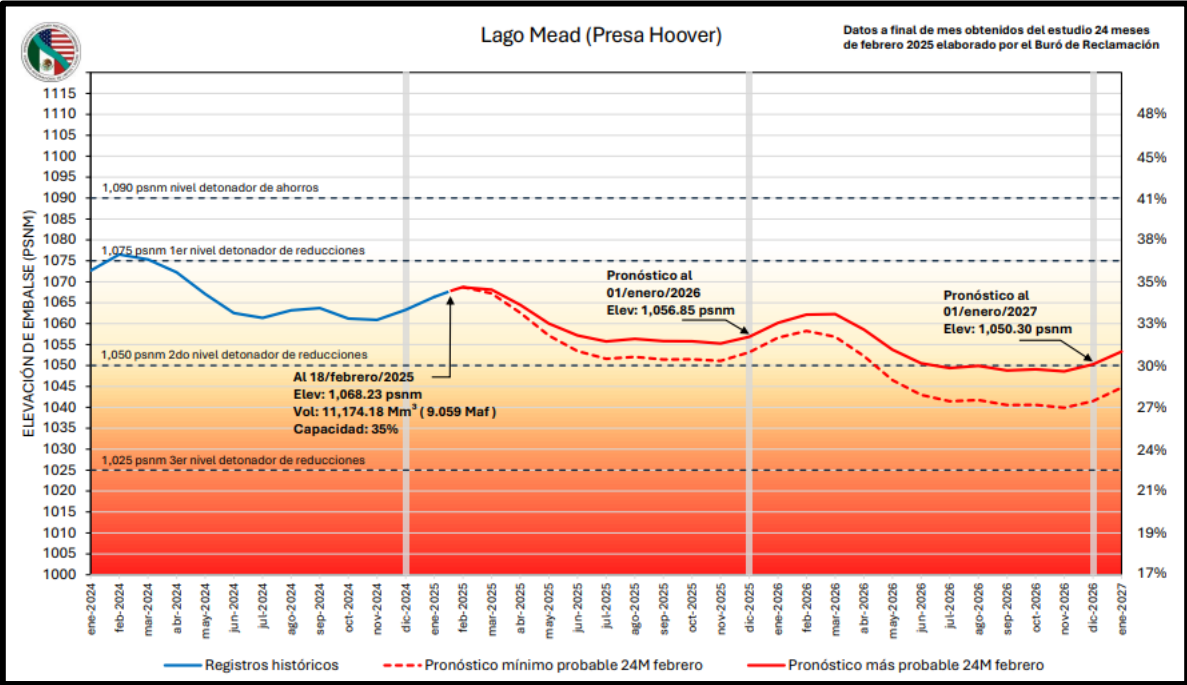


Figura 9. Proyecciones del lago Mead (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025) PSNM (Pies sobre el nivel del mar).

La Figura 9 muestra las proyecciones del Lago Mead (Presa Hoover), en donde se observan las elevaciones del embalse en pies sobre el nivel del mar, para la fecha en que el CILA publicó estas proyecciones se tenía una elevación de 1,068.23 psnm (323.79 msnm al 18 de febrero de 2025) con una capacidad de la presa del 35%. Este pronóstico es bastante desalentador, pues para el 1 de enero de 2026 se pronostica una elevación de 1,056.85 psnm (322.13 msnm), y, para el 1 de enero de 2027 una elevación aún menor, de 1,050.30 psnm (320.13 msnm). Esto muestra una clara tendencia decreciente sobre el volumen de agua en la presa Hoover, de la cual se muestran sus entregas desde enero de 2005 hasta noviembre de 2024 en el Capítulo III en el apartado de Gasto.

En la Figura 10 se muestra el almacenamiento histórico conjunto del Lago Mead y del Lago Powell. La tendencia es considerablemente decreciente y, por lo mostrado en la Figura 9, continuará así hasta al menos el 2027.

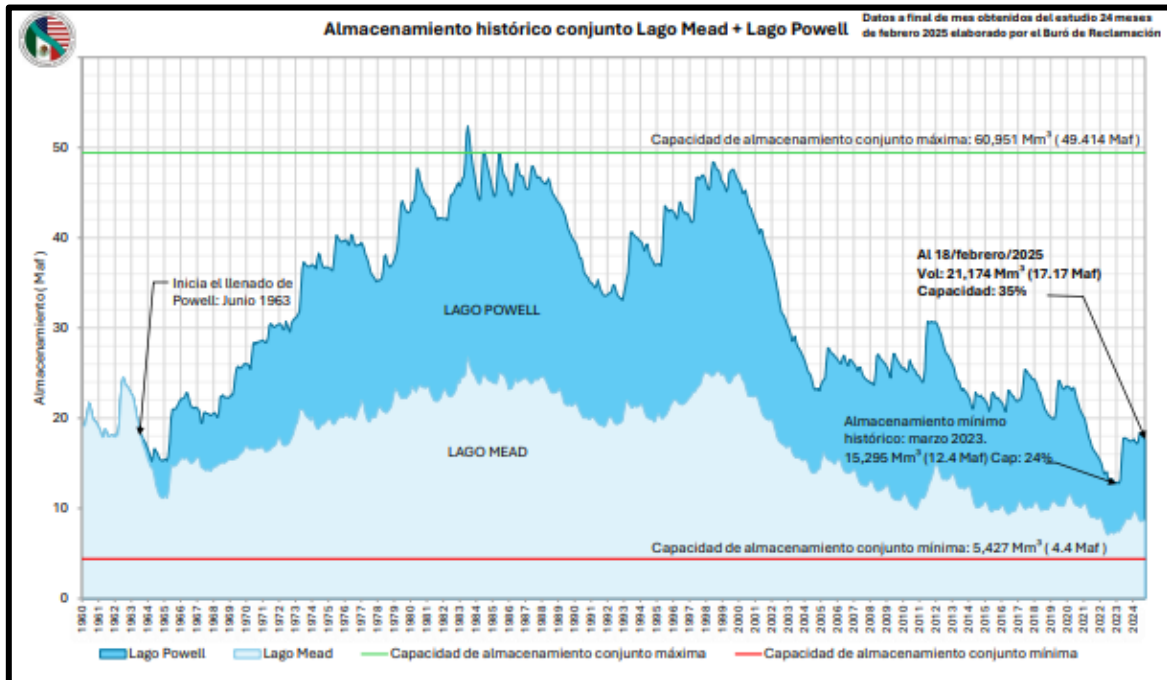


Figura 10. Almacenamiento histórico conjunto Lago Mead y Lago Powell 1980-2025 (Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), 2025).

En la Figura 10 se muestra el almacenamiento histórico conjunto de los lagos Mead y Powell, mostrándose la capacidad de almacenamiento conjunta máxima ($60,951 \text{ Mm}^3$), la capacidad de almacenamiento mínima ($5,427 \text{ Mm}^3$), y la capacidad de almacenamiento actual ($21,174 \text{ Mm}^3$). Sin embargo, también se observa la capacidad de almacenamiento de solo el lago Mead, que es el que se encarga de la entrega de aguas al sector mexicano, el cual se encuentra muy por debajo del conjunto con el lago Powell. También se observa una caída estrepitosa del almacenamiento del año 1999-2000 hasta el año 2004-2005, y desde ahí la tendencia ha sido mayormente negativa hasta alcanzar el almacenamiento mínimo histórico en marzo del 2023 con apenas $15,295 \text{ Mm}^3$ y una muy pobre capacidad al 24%.

Estos datos son bastante alarmantes tanto para los fines del presente trabajo, como para la situación hídrica en México, pues la elevación actual en la presa Hoover es de 1,050.23 psm, que es un equivalente a 320.11 msnm, siendo el nivel mínimo para generar y producir electricidad los 289.56 msnm, y 272.80 msnm cuando ya no es posible extraer agua desde la Presa Hoover. La situación hídrica es muy mala.

2.6.2 Ejemplo de Acta de la CILA (Acta 332)

En esta acta de la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA, 2024), se representa un acuerdo binacional entre México y Estados Unidos para abordar los diversos desafíos críticos de la gestión hídrica en la Cuenca del Río Colorado, marcada principalmente por una sequía histórica y la disminución de los almacenamientos en los embalses claves del sistema (como se mostró anteriormente). Este acuerdo es una extensión de los compromisos establecidos en acuerdos previos como las Actas 323 y 330, y busca garantizar el cumplimiento del Tratado de 1944 en condiciones de escasez extrema. Optimizar el uso del agua mediante diversos proyectos de conservación y eficiencia, proteger los niveles de almacenamiento de los lagos Mead y Powell para evitar recortes más severos, y fortalecer la cooperación binacional en monitoreo, datos hidrológicos y solución de controversias, son los objetivos principales de esta Acta.

Se menciona que la cuenca del río Colorado enfrenta su periodo más seco en 1,200 años, con los embalses de los lagos Mead y Powell en niveles críticos (al 23% y 29% de su capacidad, respectivamente, en 2023). Esto ha llevado a reducciones obligatorias en las asignaciones de agua para ambos países, un riesgo operativo en la infraestructura hidráulica debido a los bajos almacenamientos y una presión sobre el sector agrícola, especialmente en el Distrito de Riego 014 del Valle de Mexicali (CILA, 2024).

Los compromisos clave a cumplir son que México se comprometa a contribuir con 494.4 Mm³ adicionales al sistema mediante proyectos de conservación de 2023-2026, y a aceptar una reducción de 99 Mm³ en sus asignaciones para 2024. Mientras tanto, Estados Unidos aporta 3,700 Mm³ de conservación en el mismo periodo, así como \$65 MDD (millones de dólares) para financiar proyectos en México (\$5 MDD para control de salinidad en las aguas entregadas; \$30 MDD para proyectos de conservación de agua en infraestructura en obras de cabeza y red mayor; \$30 MDD en infraestructura secundaria).

CAPÍTULO 3. REGIONALIZACIÓN

La regionalización hidrológica se utiliza para transferir información de cuencas aforadas a las no aforadas. Sin embargo, para obtener resultados confiables, las cuencas involucradas deben tener un comportamiento hidrológico semejante (Álvarez *et al.*, 2011). Dentro del contexto de la gestión de los recursos hídricos, en particular en regiones con redes de medición escasas como América Latina y el Caribe, la regionalización hidrológica se erige como una herramienta fundamental para la estimación de eventos de diseño hidrológico.

Gutiérrez & Aparicio (2020) en este sentido, abordan esta problemática proponiendo una metodología estandarizada para realizar este proceso. Definen a la regionalización hidrológica como un conjunto de ecuaciones o modelos matemáticos que permiten la transferencia de información para estimar eventos en sitios con registros escasos o nulos. Proponen seis reglas metodológicas que deben seguirse de manera integral para garantizar la validez de la regionalización, quedando de la siguiente manera: (i) caracterizar la variabilidad espacio-temporal de las mediciones mediante herramientas geoestadísticas como los variogramas; (ii) identificar las variables fisiográficas y climáticas relevantes a través de análisis multivariados; (iii) verificar la homogeneidad e independencia de las series de tiempo; (iv) identificar regiones hidrológicamente homogéneas utilizando técnicas de agrupamiento como el algoritmo de Ward; (v) construir ecuaciones regionales de transferencia de información, comúnmente mediante análisis de correlación y regresión; y (vi) verificar la validez de dichas ecuaciones utilizando métodos como la validación cruzada.

A lo largo del presente trabajo se realizaron estos pasos metodológicos para elaborar una regionalización adecuada, ya que no se cuenta con la información necesaria en la parte correspondiente a la Cuenca del Río Colorado de la parte mexicana. Cabe señalar que, en lugar de construir las ecuaciones regionales de transferencia de información, se realizaron gráficas que relacionan la escasez, así como los índices SPI y SPEI que permiten identificar la homogeneidad entre la parte mexicana de la cuenca del río Colorado y la Subcuenca 4.

3.1 Delimitación de las subcuencas

Una cuenca de acuerdo con Aparicio (1992), es una zona de la superficie terrestre en donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (cuenca superficial). Entre el estímulo (originado por la

precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida), y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y otra), y que están correspondientes a las corrientes tributarias o a los puntos de salida se llaman cuencas tributarias o subcuencas.

Aparicio (1992) también menciona que entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, entre mayor sea el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación. El orden de corrientes se determina como en la Figura 11. Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, una de orden 2 tiene solo tributarios de primer orden, dos corrientes de orden 3 forman una de orden 4, etc., pero una de orden 2 y una de 3 forman una de 3. Esto se aprecia en la Figura 12, que es una muestra del mapa donde se trazó mediante el software de Qgis el orden de corriente principal de las microcuencas dentro del área de estudio, para esta ejemplificación se utilizó la subcuenca 1. Se tiene entonces que el orden de una cuenca es el mismo que el de la corriente principal en su salida. El orden de una cuenca depende mucho de la escala del plano utilizado para su determinación; en este sentido, las comparaciones entre una cuenca y otra deben hacerse con cuidado.

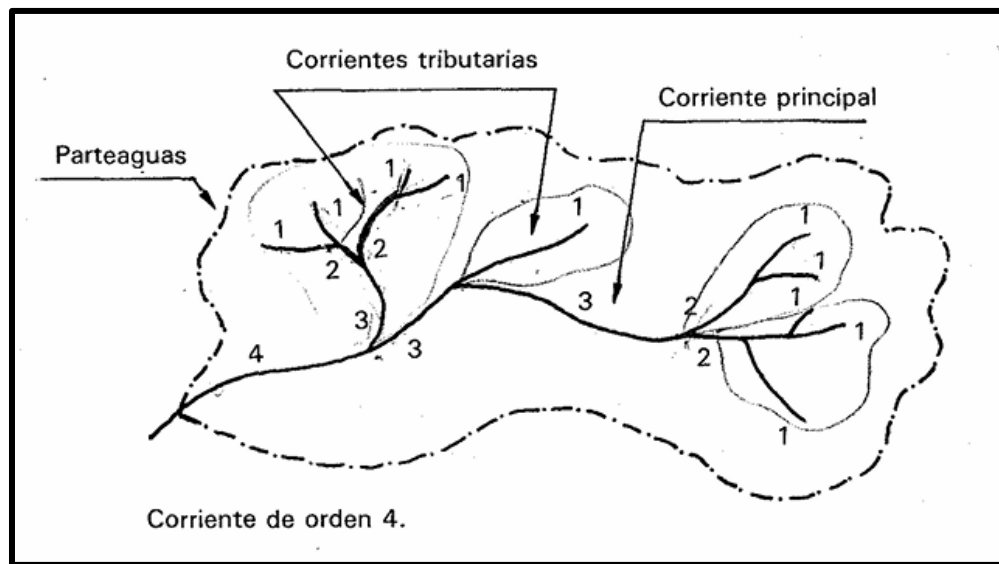


Figura 11. Ejemplificación del orden de corrientes (Aparicio, 1992).

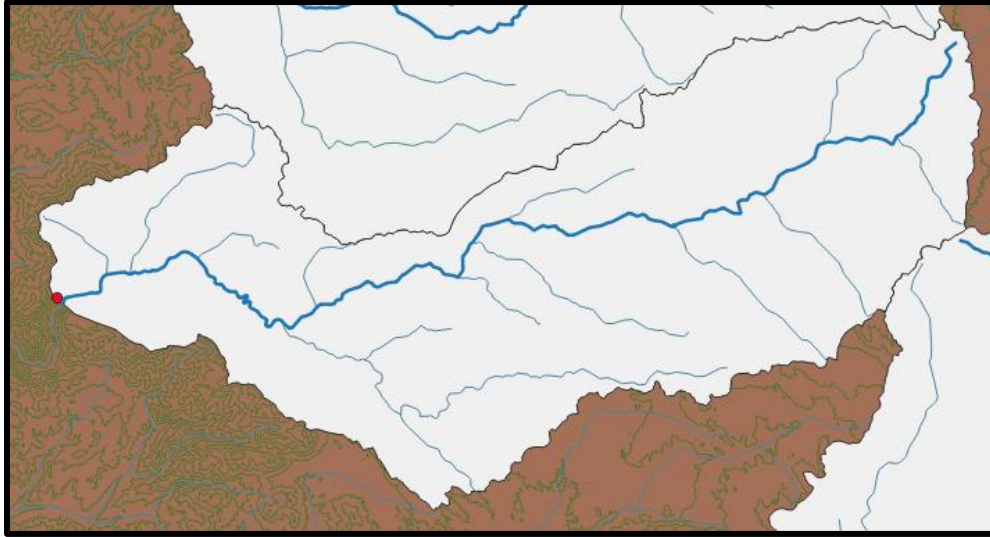


Figura 12. Orden de corriente de la subcuenca 1 (Elaboración propia).

Otro indicador del grado de bifurcación o eficiencia de una cuenca son la densidad de corrientes, definida como el número de corrientes perennes e intermitentes por unidad de área y la densidad de drenaje. Sin embargo, debido a que la densidad de corrientes es muy pobre en las 5 subcuencas, se decidió por no utilizar este indicador.

3.2 Pendiente del Cauce

También Aparicio (1992), dice que uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca a una tormenta es la pendiente del cauce principal. Dado que ésta pendiente varía a lo largo del cauce, es necesario definir una pendiente media. Para ello sugiere que existen varios métodos, y se mencionan 3 que se encuentran en el Anexo 6 en las ecuaciones 8-15.

La obtención de estas variables se realizó mediante el uso de SIG (Sistemas de Información Geográficos), en Qgis, trazando las subcuencas 1, 2, 3, 4 y 5 a partir de la ubicación de las estaciones hidrométricas 1026 para la subcuenca 1, 1023 para la 2, 1027 para la 3, 1025 para la 4 y 1024 para la 5. Este trazado se realizó mediante archivos shape (.shp) de la República Mexicana, de la Orografía (mapa hipsométrico) y para el trazado de las longitudes de cauce, el de la red hidrográfica. Como resultado se trazó el área de la cuenca en general ubicando las estaciones climatológicas previamente, después se sobrepusieron las estaciones hidrométricas y se comenzó el trazado de los parteaguas de las subcuencas con las elevaciones de la orografía, una vez trazadas las subcuencas se sobrepuso la red

hidrográfica y se trazó también la corriente principal del cauce. Posteriormente se utilizaron complementos para obtener el perfil topográfico de las subcuencas, y, se obtuvo la elevación. Se procedió a medir la longitud del cauce principal de la red hidrográfica y los resultados pueden observarse en la Figura 13.

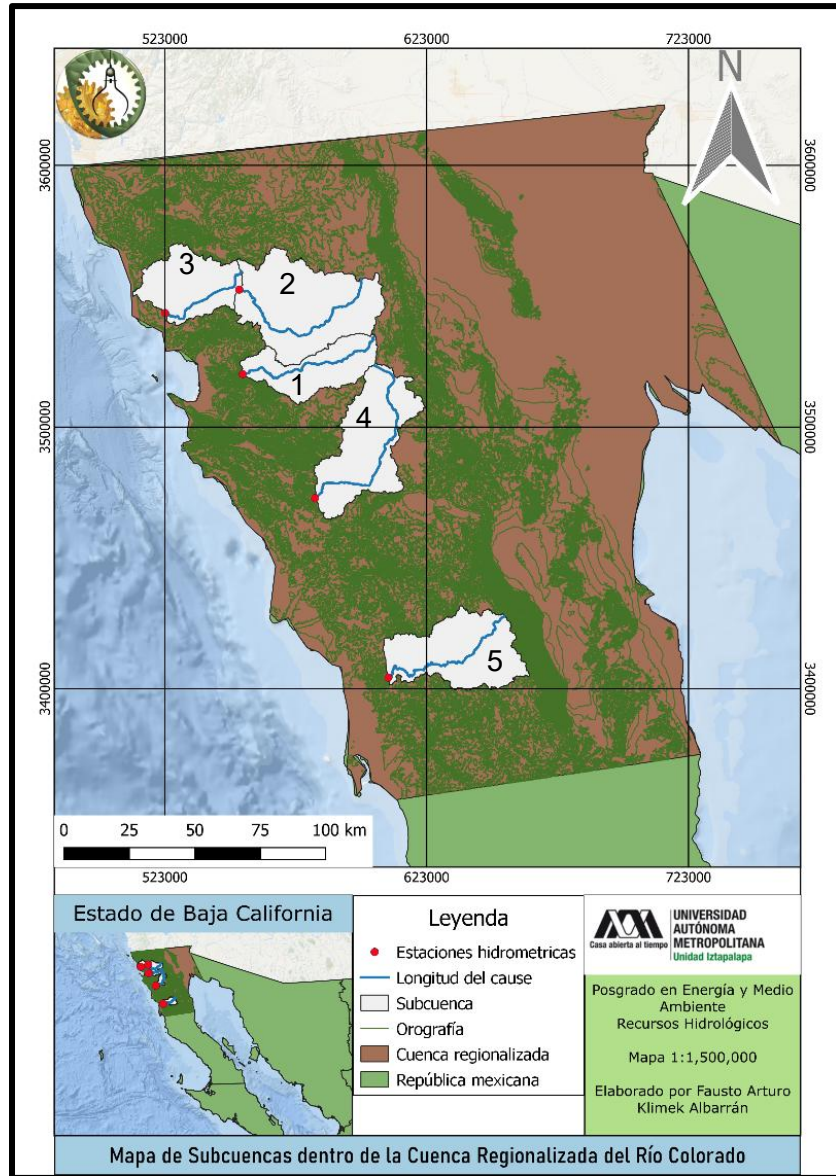


Figura 13. Mapa de subcuencas de la Cuenca Regionalizada del Río Colorado en km.

Una vez realizado el mapa de subcuencas de la Figura 13, se obtuvieron los datos de longitud, elevación y las coordenadas de cada una. Posteriormente se realizaron las fórmulas para obtener la pendiente y conocer la longitud total de las subcuencas. Se elaboró una Tabla (Tabla 1) Con los datos utilizados para la determinación de la pendiente y la longitud del cauce de la microcuenca 2. Los datos que contiene esta tabla son los de

longitud, coordenadas (x, y), elevación, el desnivel (obtenido de la resta entre una elevación y otra diferente), la pendiente (dividiendo el desnivel entre la longitud) y la inversa (dividiendo la longitud entre la raíz de la pendiente obtenida). Los datos son:

Tabla 1. Datos de la subcuena 2 en metros.

L. mts	Longitud	X	Y	Elevación	Desnivel	Pendiente	Inversa	L. mts	Longitud	X	Y	Elevación	Desnivel	Pendiente	Inversa
0.00		-115.96	32.14		0.00	0.00		35759.52	175.68	-116.17	31.96	921.75	0.00	0.00	
288.64	288.64	-115.96	32.14	1715.82	0.00	0.00		35761.92	2.40	-116.17	31.96	921.75	0.00	0.00	
778.41	489.76	-115.96	32.13	1715.82	0.00	0.00		35955.82	193.91	-116.17	31.96	921.75	0.00	0.00	
1376.24	597.83	-115.96	32.13	1715.82	0.00	0.00		36159.65	203.82	-116.17	31.95	921.75	0.00	0.00	
2279.53	903.29	-115.96	32.12	1700.00	15.82	0.02	6826.15	36236.97	77.32	-116.17	31.95	921.75	0.00	0.00	
3140.22	860.69	-115.96	32.11	1700.00	0.00	0.00		36486.97	250.00	-116.18	31.95	921.75	0.00	0.00	
4226.73	1086.51	-115.97	32.10	1700.00	0.00	0.00		36780.47	293.50	-116.18	31.95	921.75	0.00	0.00	
5188.84	962.11	-115.97	32.10	1700.00	0.00	0.00		36847.35	66.88	-116.18	31.95	800.00	121.75	1.82	49.57
5886.71	697.86	-115.97	32.09	1700.00	0.00	0.00		36964.98	117.63	-116.18	31.95	800.00	0.00	0.00	
6810.31	923.60	-115.97	32.08	1700.00	0.00	0.00		37071.33	106.36	-116.18	31.95	800.00	0.00	0.00	
7164.76	354.45	-115.98	32.08	1700.00	0.00	0.00		37287.37	216.03	-116.18	31.95	800.00	0.00	0.00	
7596.84	432.08	-115.98	32.08	1700.00	0.00	0.00		37506.49	219.12	-116.18	31.95	800.00	0.00	0.00	
8321.58	724.73	-115.99	32.07	1600.00	100.00	0.14	1951.05	37686.02	179.53	-116.19	31.95	800.00	0.00	0.00	
8934.97	613.40	-115.99	32.07	1600.00	0.00	0.00		37895.56	209.54	-116.19	31.95	800.00	0.00	0.00	
9751.63	816.66	-115.99	32.06	1600.00	0.00	0.00		38110.11	214.55	-116.19	31.95	800.00	0.00	0.00	
10103.66	352.03	-116.00	32.06	1600.00	0.00	0.00		38476.05	365.94	-116.19	31.95	800.00	0.00	0.00	
10428.80	325.14	-116.00	32.06	1600.00	0.00	0.00		38785.41	309.36	-116.20	31.95	800.00	0.00	0.00	
11089.63	660.83	-116.01	32.06	1600.00	0.00	0.00		39027.86	242.45	-116.20	31.95	800.00	0.00	0.00	
11533.73	444.10	-116.01	32.06	1600.00	0.00	0.00		39185.71	157.86	-116.20	31.95	800.00	0.00	0.00	
12045.79	512.06	-116.02	32.06	1600.00	0.00	0.00		39342.33	156.62	-116.20	31.95	800.00	0.00	0.00	
12345.71	299.91	-116.02	32.05	1600.00	0.00	0.00		39557.08	214.75	-116.20	31.95	800.00	0.00	0.00	
12775.53	429.82	-116.02	32.05	1600.00	0.00	0.00		39805.13	248.05	-116.21	31.95	800.00	0.00	0.00	
13469.29	693.77	-116.03	32.05	1600.00	0.00	0.00		40069.72	264.59	-116.21	31.95	800.00	0.00	0.00	
14345.00	875.71	-116.04	32.05	1300.00	300.00	0.34	1496.16	40296.02	226.30	-116.21	31.95	800.00	0.00	0.00	
14921.55	576.55	-116.04	32.05	1300.00	0.00	0.00		40418.59	122.57	-116.21	31.95	800.00	0.00	0.00	
15391.69	470.14	-116.04	32.05	1300.00	0.00	0.00		40529.00	110.41	-116.21	31.95	800.00	0.00	0.00	
16140.08	748.40	-116.05	32.05	1300.00	0.00	0.00		40953.22	424.22	-116.22	31.95	800.00	0.00	0.00	
16416.35	276.27	-116.05	32.05	1300.00	0.00	0.00		41104.96	151.75	-116.22	31.95	800.00	0.00	0.00	
16900.85	484.49	-116.06	32.05	1300.00	0.00	0.00		41418.37	313.41	-116.22	31.95	800.00	0.00	0.00	
17355.52	454.68	-116.06	32.04	1300.00	0.00	0.00		41995.30	576.93	-116.23	31.95	800.00	0.00	0.00	
17835.81	480.29	-116.07	32.04	1300.00	0.00	0.00		42641.79	646.49	-116.23	31.96	700.00	100.00	0.15	1643.78
18210.54	374.72	-116.07	32.04	1300.00	0.00	0.00		42744.29	102.50	-116.23	31.96	700.00	0.00	0.00	
18543.99	333.45	-116.07	32.04	1300.00	0.00	0.00		42886.92	142.63	-116.23	31.96	700.00	0.00	0.00	
18819.38	275.39	-116.08	32.04	1300.00	0.00	0.00		43096.09	209.17	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
19416.39	597.01	-116.08	32.04	1300.00	0.00	0.00		43131.99	35.90	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
20381.94	965.55	-116.08	32.03	1300.00	0.00	0.00		43599.11	467.12	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
20631.59	249.65	-116.08	32.02	1300.00	0.00	0.00		44132.85	533.74	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
21133.00	501.41	-116.08	32.02	1009.99	290.01	0.58	659.30	44179.84	46.99	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
21436.29	303.28	-116.08	32.02	1009.99	0.00	0.00		44278.45	98.60	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
21786.71	350.42	-116.08	32.02	1009.99	0.00	0.00		44353.88	75.43	-116.24	31.96	700.00	0.00	0.00	
21912.91	126.20	-116.08	32.01	1009.99	0.00	0.00		44437.64	83.76	-116.24	31.97	700.00	0.00	0.00	
22741.35	828.44	-116.09	32.01	1009.99	0.00	0.00		44658.70	221.06	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
23343.92	602.57	-116.09	32.00	1009.99	0.00	0.00		44775.20	116.50	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
23677.48	333.56	-116.09	32.00	1009.99	0.00	0.00		44830.29	55.09	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
23894.13	216.65	-116.09	32.00	1009.99	0.00	0.00		44876.43	46.14	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
24062.00	167.88	-116.09	32.00	1009.99	0.00	0.00		45004.80	128.37	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
24378.94	316.94	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45111.52	106.73	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
24718.49	339.55	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45313.21	201.69	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
24899.74	181.25	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45403.73	90.52	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
25262.32	362.58	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45505.51	101.77	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
25548.82	286.50	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45574.53	69.03	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
25681.41	132.59	-116.10	32.00	1009.99	0.00	0.00		45639.07	64.53	-116.25	31.97	700.00	0.00	0.00	
26221.61	540.20	-116.11	32.00	1009.99	0.00	0.00		45737.49	98.42	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
26568.85	347.24	-116.11	31.99	1009.99	0.00	0.00		45827.53	90.05	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
26576.13	7.28	-116.11	31.99	1009.99	0.00	0.00		45901.69	74.16	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
26963.65	387.52	-116.11	31.99	1009.99	0.00	0.00		45978.25	76.55	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
27248.35	284.71	-116.11	31.99	1009.99	0.00	0.00		46117.09	138.84	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
27772.78	524.43	-116.11	31.99	1009.99	0.00	0.00		46225.31	108.22	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
28141.55	368.77	-116.12	31.98	1009.99	0.00	0.00		46344.64	119.33	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
28464.94	323.39	-116.12	31.98	1009.99	0.00	0.00		46378.99	394.35	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
29036.44	571.50	-116.13	31.98	1009.99	0.00	0.00		46931.30	192.31	-116.26	31.97	700.00	0.00	0.00	
29493.51	457.07	-116.13	31.98	1009.99	0.00	0.00		47049.51	118.21	-116.27	31.97	700.00	0.00	0.00	
30165.13	671.62	-116.13	31.98	921.75	88.24	0.13	1852.97	47079.89	30.38	-116.27	31.97	700.00	0.00	0.00	
30322.99	157.85	-116.13	31.98	921.75	0.00	0.00		47114.27	34.38	-116.27	31.97	700.00	0.00	0.00	
30580.94	257.95	-116.14	31.98	1000.00	78.25	0.30	468.34	47232.62	118.34	-116.27	31.97	700.00	0.00	0.00	
31168.91	587.97	-116.14	31.98	921.75	78.25	0.13	1611.73	47299.71	67.09	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
31582.60	413.70	-116.15	31.98	1000.00	78.25	0.19	951.22	47370.13	70.42	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
31849.37	266.77	-116.15	31.98	1000.00	0.00	0.00		47596.50	226.37	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
32550.15	700.78	-116.16	31.98	1000.00	0.00	0.00		47669.51	73.02	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
32630.02	79.87	-116.16	31.98	1000.00	0.00	0.00		47789.23	119.71	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
33026.07	396.05	-116.16	31.97	921.75	78.25	0.20	891.00	47868.33	79.10	-116.27	31.96	700.00	0.00	0.00	
33348.16	322.10	-116.16	31.97	921.75	0.00	0.00		48225.71	357.39	-116.28	31.96	700.00	0.00	0.00	
33600.41	252.25	-116.16	31.97	921.75	0.00	0.00		48476.16	250.45	-116.28	31.96	700.00	0.00	0.00	
33940.36	339.95	-116.16	31.97	921.75	0.00	0.00		48577.68	101.52	-116.28	31.96	700.00	0.00	0.00	
33942.55	2.19	-116.16	31												

L. mts	Longitud	X	Y	Elevación	Desnivel	Pendiente	Inversa
49968.67	69.65	-116.29	31.96	700.00	0.00	0.00	
50068.30	99.63	-116.30	31.96	700.00	0.00	0.00	
50205.42	137.12	-116.30	31.96	700.00	0.00	0.00	
50607.57	402.15	-116.30	31.96	700.00	0.00	0.00	
51088.45	480.88	-116.31	31.97	700.00	0.00	0.00	
51456.14	367.69	-116.31	31.97	700.00	0.00	0.00	
52141.73	685.59	-116.32	31.97	700.00	0.00	0.00	
53073.05	931.32	-116.33	31.97	700.00	0.00	0.00	
53345.25	272.20	-116.33	31.97	700.00	0.00	0.00	
53355.44	10.20	-116.33	31.97	700.00	0.00	0.00	
53646.92	291.48	-116.33	31.97	800.00	100.00	0.34	497.64
54078.12	431.19	-116.33	31.98	700.00	100.00	0.23	895.38
54348.23	270.12	-116.33	31.98	700.00	0.00	0.00	
54936.80	588.57	-116.33	31.98	700.00	0.00	0.00	
55407.79	471.00	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
55882.44	474.65	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
55906.31	23.87	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
56024.22	117.91	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
56293.52	269.30	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
56597.76	304.24	-116.34	31.99	700.00	0.00	0.00	
56847.99	250.23	-116.35	32.00	700.00	0.00	0.00	
57271.75	423.75	-116.35	32.00	700.00	0.00	0.00	
57458.18	186.44	-116.35	32.00	700.00	0.00	0.00	
57781.00	322.82	-116.35	32.00	700.00	0.00	0.00	
58341.50	560.50	-116.35	32.01	700.00	0.00	0.00	
58493.46	151.96	-116.35	32.01	700.00	0.00	0.00	
58691.86	198.40	-116.35	32.01	700.00	0.00	0.00	
59062.86	371.00	-116.35	32.01	700.00	0.00	0.00	
59311.13	248.27	-116.36	32.01	700.00	0.00	0.00	
59606.40	295.27	-116.36	32.01	700.00	0.00	0.00	
59854.19	247.80	-116.36	32.02	700.00	0.00	0.00	
60089.61	235.42	-116.36	32.02	700.00	0.00	0.00	
60372.34	282.73	-116.36	32.02	700.00	0.00	0.00	
60526.90	154.56	-116.36	32.02	700.00	0.00	0.00	
60735.63	208.73	-116.36	32.02	700.00	0.00	0.00	
60984.97	249.34	-116.36	32.03	719.41	19.41	0.08	893.64
61159.76	174.79	-116.36	32.03	719.41	0.00	0.00	
61289.72	129.96	-116.36	32.03	719.41	0.00	0.00	
61804.55	514.83	-116.37	32.03	719.41	0.00	0.00	
62464.20	659.65	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
62858.93	394.72	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
63088.08	229.16	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
63110.81	22.73	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
63327.81	217.00	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
63642.74	314.93	-116.37	32.04	719.41	0.00	0.00	
63957.25	314.51	-116.38	32.04	719.41	0.00	0.00	
63979.90	22.65	-116.38	32.04	719.41	0.00	0.00	
64319.05	339.15	-116.38	32.05	800.00	80.59	0.24	695.76
64499.61	180.56	-116.38	32.05	800.00	0.00	0.00	
65613.17	1113.56	-116.39	32.05	800.00	0.00	0.00	
65981.45	368.28	-116.39	32.06	800.00	0.00	0.00	
66407.04	425.59	-116.39	32.06	800.00	0.00	0.00	
67092.42	685.38	-116.40	32.06	800.00	0.00	0.00	
67305.48	213.06	-116.40	32.07	800.00	0.00	0.00	
67530.73	225.25	-116.40	32.07	800.00	0.00	0.00	
67612.44	81.72	-116.40	32.07	800.00	0.00	0.00	
67837.04	224.60	-116.39	32.07	800.00	0.00	0.00	
68095.59	258.55	-116.39	32.07	800.00	0.00	0.00	
68283.69	188.10	-116.39	32.07	800.00	0.00	0.00	
68818.55	534.86	-116.39	32.07	800.00	0.00	0.00	
68949.11	130.56	-116.39	32.08	500.00	300.00	2.30	86.13
69329.94	380.84	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
69605.18	275.24	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
69794.14	188.96	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
70049.70	255.56	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
70150.47	100.77	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
70343.17	192.69	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
70861.39	518.22	-116.40	32.08	500.00	0.00	0.00	
71378.23	516.85	-116.41	32.09	500.00	0.00	0.00	
71609.65	231.42	-116.41	32.09	500.00	0.00	0.00	
72111.75	502.10	-116.41	32.09	500.00	0.00	0.00	
72913.62	801.86	-116.42	32.10	500.00	0.00	0.00	
73145.29	231.67	-116.42	32.10	500.00	0.00	0.00	
73702.03	556.75	-116.42	32.10	500.00	0.00	0.00	
74452.28	750.24	-116.43	32.10	595.25	95.25	0.13	2105.53
74916.45	464.17	-116.43	32.10	595.25	0.00	0.00	
75158.69	242.24	-116.44	32.10	595.25	0.00	0.00	
75504.90	346.21	-116.44	32.10	595.25	0.00	0.00	
75977.47	472.57	-116.44	32.10	595.25	0.00	0.00	
76312.43	334.97	-116.45	32.10	595.25	0.00	0.00	
76330.12	17.69	-116.45	32.10	595.25	0.00	0.00	
76578.87	248.76	-116.45	32.10	595.25	0.00	0.00	
76777.06	198.19	-116.45	32.10	595.25	0.00	0.00	
77324.97	547.91	-116.45	32.11	595.25	0.00	0.00	
77483.77	158.80	-116.45	32.11	595.25	0.00	0.00	
77510.30	26.53	-116.45	32.11	595.25	0.00	0.00	0.00
Suma:	77610.30					Suma:	23575.34
					Media:		0.03

Se sumaron las longitudes de cada punto, y la longitud total fue de 77610.30 m, también se sumó la inversa dando un total de 23575.34. La media de las pendientes es de 0.03, lo cual podría considerarse como la Pendiente de la subcuenca. En los siguientes apartados se profundiza más sobre las características de cada subcuenca.

3.2.1 Pendiente y longitud del cauce Subcuenca 1

Tabla 2. Datos Subcuenca 1 en metros.

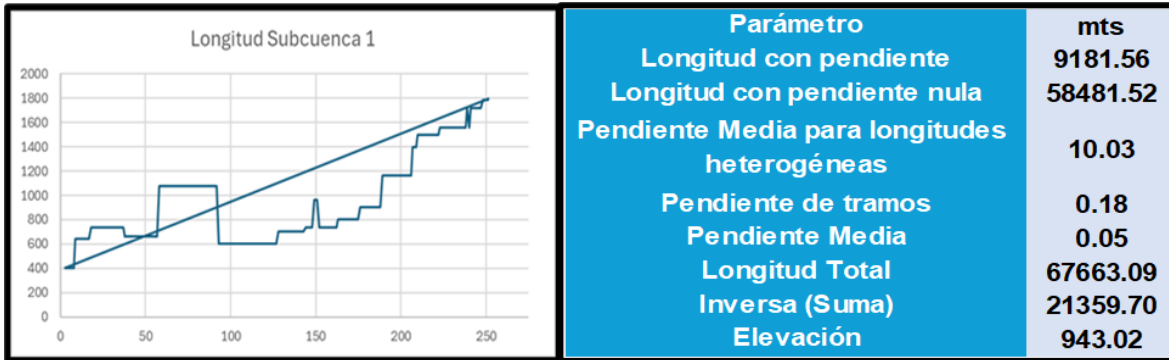


Figura 14. Longitud Subcuenca 1 en metros.

En la Tabla 2, se muestran los datos obtenidos para la Subcuenca/Microcuenca 1 así como su respectiva gráfica observada en la Figura 14. La longitud con pendiente es la suma de todos los datos de longitud que presentan un desnivel. La longitud con pendiente nula se obtiene de la resta de la longitud con pendiente a la longitud total. La pendiente media para longitudes heterogéneas es la obtenida de la ecuación 15 con la longitud total y la suma de la inversa. La pendiente de tramos se obtuvo aplicando la ecuación 14 con los datos de la longitud con pendiente y también con la suma de la inversa. Para la pendiente media se obtuvo el promedio de las pendientes obtenidas como las que se muestran en la Tabla 1, podría decirse que es la pendiente como tal de la subcuenca, en este caso es de 0.05. La longitud total es la suma de la longitud entre cada punto, y la elevación es el promedio general de cada punto. Para la inversa se dividió la longitud del punto con desnivel, con la raíz de la pendiente.

3.2.2 Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 2

Tabla 3. Datos Subcuenca 2 en metros.

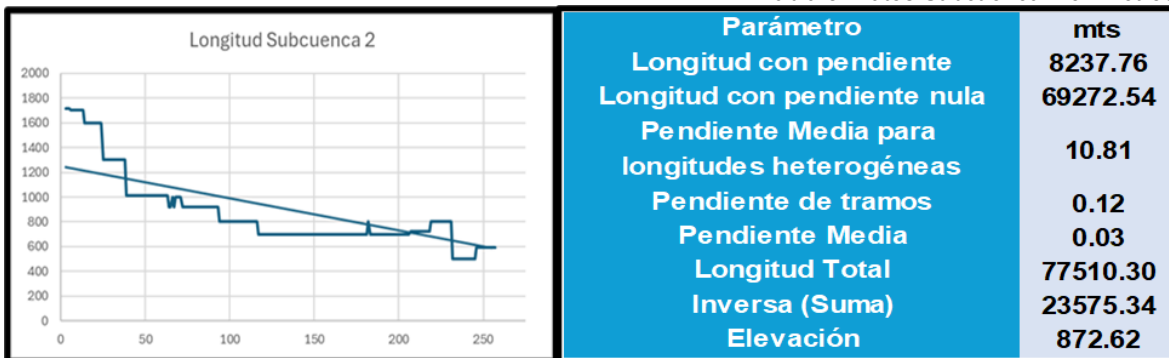


Figura 15. Longitud de la Subcuenca 2 en metros.

La subcuenca 2 tiene una pendiente de 0.03 (Tabla 3), estos datos son adimensionales por lo que no tienen unidades. Este resultado indica que la pendiente es baja (Figura 15). La longitud con pendiente es de 8237.76 m que puede interpretarse como la longitud corregida.

3.2.3 Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 3

Tabla 4. Datos Subcuenca 3 en metros.

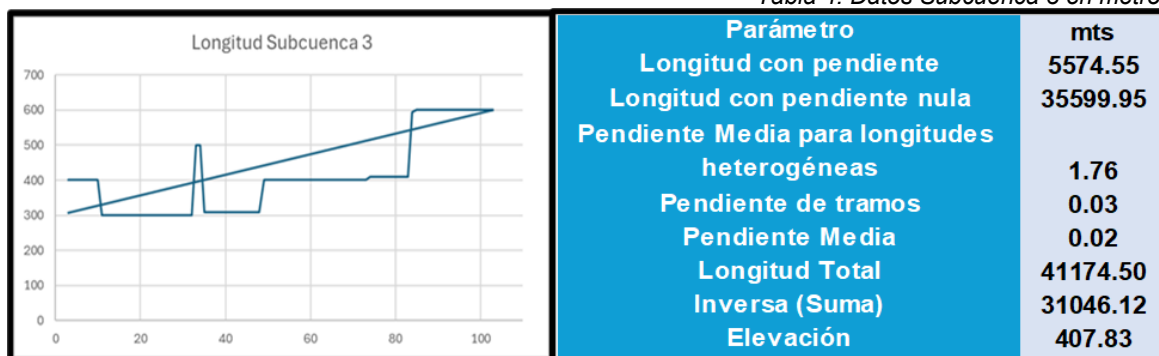


Figura 16. Longitud de la Subcuenca 3 en metros.

En esta microcuenca la pendiente fue de 0.02, siendo su pendiente muy baja, como se puede observar en la Figura 16. De acuerdo con los datos de la Tabla 4, la longitud con pendiente de la subcuenca 3 es de 5574.55 m.

3.2.4 Pendiente y longitud del Cauce Subcuenca 4

Tabla 5. Datos Subcuenca 4 en metros.

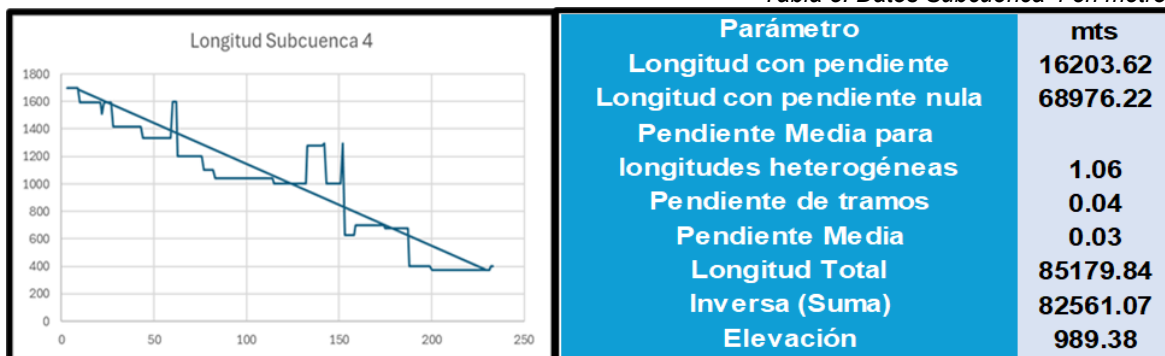


Figura 17. Longitud Subcuenca 4 en metros.

Para la microcuenca 4, se obtuvo una pendiente media de 0.03, que es una pendiente relativamente baja (Tabla 5). Por su parte, la longitud con pendiente fue de 16203.62 m. Sin embargo, la Figura 17 aparentemente tiene una pendiente más pronunciada.

3.2.5 Pendiente y longitud del Cauze Subcuenca 5

Tabla 6. Datos Subcuenca 5 en metros.

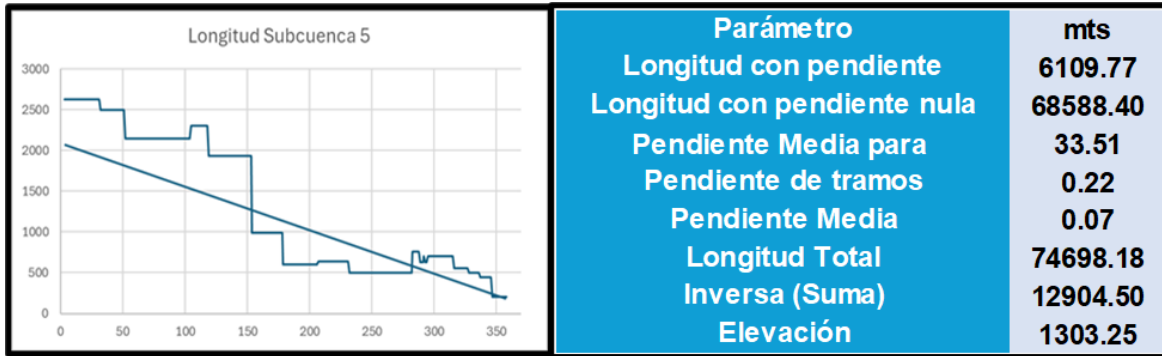


Figura 18. Longitud Subcuenca 5 en metros.

La subcuenca 5 presenta una pendiente media relativamente alta con respecto a los valores de las otras cuencas (Tabla 6). Esto también se ve reflejado en la Figura 18. La longitud con pendiente por su parte es de 6109.77 m siendo una de las cuencas más cortas.

3.3 Clasificación de corrientes

También Aparicio (1992), menciona que las corrientes se clasifican de varias maneras, pero que las más interesantes quizás son:

Por el tiempo que transportan agua. Esta clasificación de las corrientes puede ser: a) Perenne, que es el punto más bajo del cauce en donde se encuentra siempre abajo del nivel de las aguas freáticas. Estas corrientes transportan agua durante todo el año y que siempre están alimentadas, totalmente o en parte, por el agua subterránea (efluentes). b) Intermitentes, en donde se transporta agua durante la época de lluvias de cada año, cuando el nivel freático asciende hasta quedar por encima del Punto A (Figura 19). En la época de secas, el nivel freático queda por debajo de dicho punto y la corriente no transporta agua, salvo cuando se presenta alguna tormenta. c) Efímeras (influentes), donde el nivel freático está siempre abajo del punto A, y transportan agua inmediatamente después de una tormenta, y, en este caso, alimentan a los almacenamientos de agua subterránea.

Por su posición topográfica o edad geológica. De acuerdo con esta clasificación los ríos pueden ser de montaña o juveniles, de transición o maduros, o bien de planicie o viejos (Figura 20).

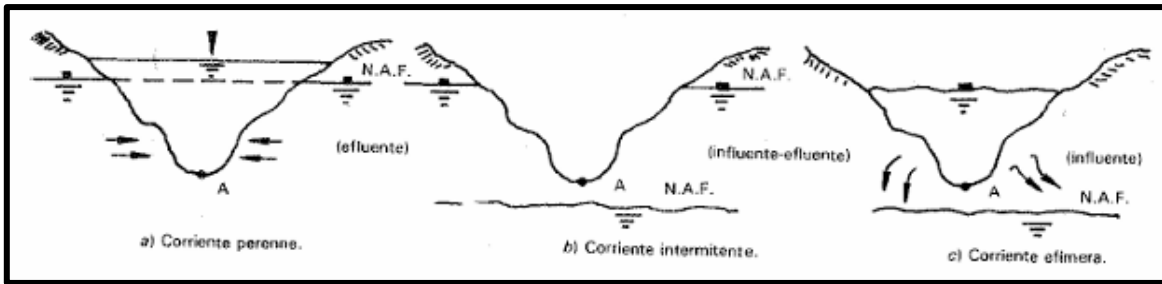


Figura 19. Clasificación de corrientes por el tiempo en que transportan agua (Aparicio, 1992).

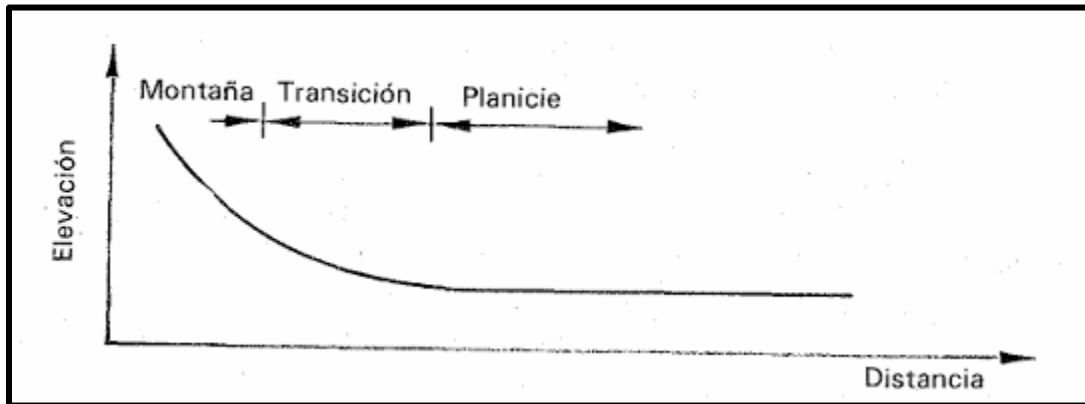


Figura 20. Clasificación de corrientes por su posición topográfica o edad geológica (Aparicio, 1992).

De acuerdo con la clasificación por el tiempo que transportan agua, la corriente puede clasificarse como efímera, debido a que el nivel freático precisamente siempre está debajo del punto A. De hecho, esto ha causado problemas con la depletación del delta del Colorado, afectando no solo a las personas, sino a las especies nativas del área. La clasificación de corrientes por la posición topográfica o edad geológica es de una planicie, pues las zonas donde hay mayor altitud son muy escasas y se encuentran en la parte regionalizada de la cuenca. Las subcuencas no corresponden a la Cuenca del Río Colorado como tal, sino que están adyacentes, y estas tienen una pequeña cadena montañosa que haría que su clasificación por la posición topográfica sea de transición. Por tanto, la cuenca en general, podría decirse que es de una clasificación mixta, pues presenta ambas elevaciones.

3.4 Área drenada de estaciones hidrométricas

Es importante también conocer el concepto de área drenada, la cual se define como la superficie medida en km^2 y delimitada en proyección horizontal por el parteaguas, y tiene como punto de salida una estación de aforo o un sitio de interés (Escalante & Reyes, 2002). Las áreas drenadas se muestran en la Tabla 7, siendo estas:

Tabla 7. Área drenada por subcuenca en km².

Área drenada km ²			Área de la cuenca trazada km ²
Subcuenca	Estación	-	-
1	1026	685	730.28
2	1023	1577	1592.94
3	1027	1930	2388.04
4	1025	1230	1305.39
5	1024	1100	1158.40

Estas cinco estaciones monitorean a las subcuencas trazadas (en el capítulo IV se detallará esto) con áreas drenadas que van desde los 685 km² (Estación 1026 - San Carlos) hasta los 1,930 km² (Estación 1027 - Boquilla Santa Rosa), mostrando una clara gradación: 1023-Agua Caliente (1,577 km²), 1025-San Vicente (1,230 km²) y 1024-Santo Domingo (1,100 km²). Las dos mayores (1027 y 1023) corresponden al sistema Río/Arroyo Guadalupe y coinciden con los caudales máximos más altos registrados (466 y 421 m³/s respectivamente), mientras que la más pequeña (1026) presenta el menor caudal máximo (12.9 m³/s), evidenciando la relación directa entre área drenada y capacidad de generación de escurrimientos en esta región semiárida.

En el Anexo 4, se muestra la media de los parámetros estadísticos para cada mes de la cuenca y las subcuencas, los cuales dan validación a la homogeneización de la cuenca con las subcuencas trazadas. En la Tabla 8, se tienen las características físicas de las cuencas, las cuales son el área de la cuenca general, el área de las subcuencas, la pendiente (S adimensional) y la longitud (L).

Tabla 8. Características físicas de las cuencas en km y km².

Cuenca	Área (km ²)	S (adimensional)	L (km)
Río Colorado	43325.17	-	-
Subcuenca 1	730.28	0.05	67.66
Subcuenca 2	1592.94	0.03	75.51
Subcuenca 3	2388.04	0.02	41.17
Subcuenca 4	1258.66	0.03	85.18
Subcuenca 5	1158.40	0.07	74.70

Con base a la Tabla 8, se realizaron las Figuras 21 y 22, en donde se compara el área de las cuencas con la pendiente (S adimensional) y la longitud (L) respectivamente.

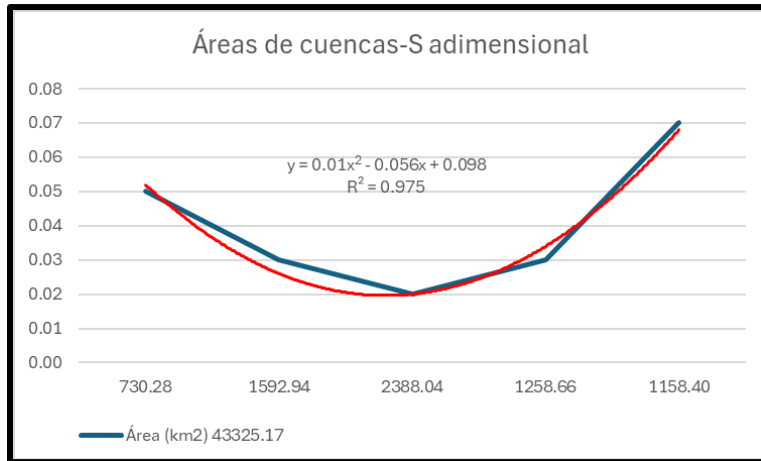


Figura 21. Área de las cuencas en km^2 y S adimensional.

Para la Figura 21, la pendiente (y) disminuye al aumentar el área, y luego aumenta suavemente. Este gráfico explica el 97.5 % de la variabilidad de la pendiente en función del área. Esto se interpreta como que los criterios de regionalización, a partir de las características físicas de la cuenca se pueden cumplir, ya que los valores de la relación entre las áreas y pendientes son homogéneos para los casos de las cuencas analizadas.

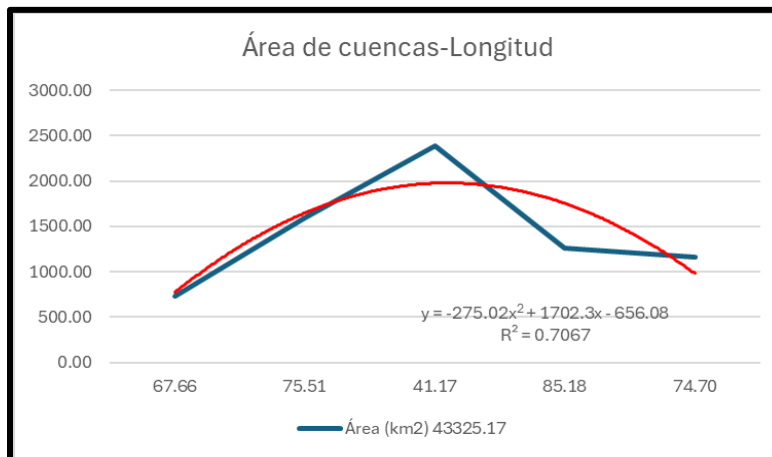


Figura 22. Área de las cuencas en km^2 y Longitud de cuencas (L).

Lo mismo ocurre con la Figura 22, en la cual la longitud de las cuencas aumenta con el área de estas, teniendo un punto máximo en la subcuenca 3, la cual es la más grande. Después de esto, la longitud disminuye. El gráfico explica el 70.67% de la variabilidad en la longitud de las cuencas en función del área, lo cual es aceptable, sugiriendo que otros factores como la misma pendiente o la geología y el suelo influyen.

Desde el punto de vista climatológico, la homogeneidad entre las 6 cuencas se analiza en el siguiente Capítulo

CAPÍTULO 4. PRECIPITACIÓN, GASTO Y EVAPOTRANSPIRACIÓN

4.1 Estimadores de calidad investigativa de Precipitación

Debido a que se cuenta con 111 estaciones en un área muy grande, y que se tienen datos desde 1957, se decidió por hacer un filtrado de datos con estimadores de calidad investigativa para la variable de Precipitación. De acuerdo con Schaake, *et al* (2006), un paso clave en la aplicación de esquemas de parametrización de superficie terrestre es estimar los parámetros del modelo, que varían espacialmente y son únicos para cada elemento computacional. Un enfoque común en la comunidad de modelización hidrológica para la estimación de parámetros es calibrar los modelos hidrológicos ajustando los parámetros a partir de observaciones históricas.

Schaake, *et al* (2006), menciona que es necesario desarrollar metodologías mejoradas de estimación *a priori* de parámetros para modelos hidrológicos y LSPS (Limited-Area Streamflow Prediction Systems - Sistema de Pronóstico de Crecidas de Área Limitada). Un aspecto crítico en la preparación de conjuntos de datos es contar con estimaciones de calidad investigativa de la precipitación media real. Schaake (1981) y Schaake *et al.* (2000) propusieron un criterio práctico para la densidad requerida de pluviómetros en aplicaciones de pronóstico fluvial. El número necesario de pluviómetros para una cuenca de área $A(\text{km}^2)$ se muestra en la ecuación 16 de Schaake en el Anexo 6.

En la Tabla 9 se muestra el número requerido de pluviómetros según el tamaño de la cuenca, basado en la ecuación de Schaake para el cálculo de pluviómetros mínimos necesarios en una cuenca con área en km^2 .

Tabla 9. Número deseado de pluviómetros por cuenca.

Área	Número de pluviómetros
1	1
10	2
100	3
1000	6

La extensión del área total de la zona de estudio es de 43325.17 km^2 , y, aplicándose la fórmula de la ecuación 1 el resultado se muestra en la Tabla 10, siendo 29 el número de pluviómetros (o en este caso estaciones climatológicas) necesarios para que los datos tengan validez.

Tabla 10. Número de datos mínimos para validez de datos en km^2 .

Número de datos mínimos		
Zona	N	Área
Cuenca general	29.46	43325.17

4.2 Precipitación

Aparicio (1992), define la precipitación en la hidrología como la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, y sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. Es básicamente, el agua que ya sea en forma líquida o sólida, procedente de la atmósfera que se deposita sobre la superficie de la tierra; incluye el rocío, la llovizna, la lluvia, el granizo, el aguanieve y la nieve (INEGI, 2001). También forma parte importante en el ciclo hidrológico.

4.2.1 Estaciones Climatológicas

Las estaciones climatológicas miden la temperatura, precipitación pluvial, evaporación, velocidad y dirección del viento. estas variables climatológicas varían geográfica y temporalmente, por lo que su medición resulta relevante para la planeación de los recursos hídricos y los estudios hidrológicos. Por ejemplo, es importante conocer la forma en que llueve para verificar si coincide con la temporada de crecimiento de los cultivos y sus requerimientos hídricos (Viessman et ál. 1989; tomado de CONAGUA, 2018).

Estas estaciones toman datos que van del 1923 al 2024, y de estos datos se obtuvo la Precipitación Total Media Mensual Anual, la Precipitación Media Mensual y la Precipitación Total Media Anual, donde se tomaron datos de la Tabla 77 y se aplicó la ecuación 16, obteniendo un filtrado en la serie de datos que no cumplen con los 29 datos de pluviómetros por año, por lo que quedó una serie de 1957-2020 (Tabla 11). Se sacó un promedio (o media) mensual de cada una de las estaciones por cada año, y luego se sacó un promedio anual de esta media mensual previamente obtenida (los datos se muestran en las Tablas 12 y 13). En el Anexo 2 se muestran todos los datos de precipitación.

Tabla 11. Precipitación Media Mensual Anual 1957-2020 en mm.

Año	Precipitación Media Mensual Anual												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1957	93.56	8.73	13.85	14.43	13.64	8.24	0.78	8.64	1.97	43.67	11.34	9.48	19.03
1958	4.66	43.83	63.47	35.69	4.83	2.50	3.73	10.04	8.21	0.82	11.41	0.22	15.78
1959	9.65	44.56	0.44	3.26	0.53	1.32	2.72	7.87	8.95	7.19	1.60	39.85	10.66
1960	39.85	19.36	2.05	3.34	1.40	1.67	6.32	5.99	18.79	2.35	19.47	8.66	10.77
1961	17.80	1.44	10.88	0.06	0.32	1.47	5.87	14.86	1.86	1.81	7.87	35.76	8.33
1962	36.92	34.47	20.84	0.38	3.24	4.02	3.02	5.88	7.26	1.58	0.13	21.39	11.59
1963	8.45	26.27	17.95	9.64	0.31	0.70	0.62	10.89	35.47	11.46	36.14	4.80	13.56
1964	16.64	7.99	25.95	3.68	3.41	1.28	5.42	6.97	1.36	12.44	22.20	7.35	9.56
1965	20.34	26.24	19.65	66.23	0.05	0.45	3.84	10.63	6.89	0.29	64.42	105.21	27.02
1966	34.45	27.98	12.83	0.12	0.25	2.33	5.57	10.65	6.78	9.62	14.20	44.93	14.14
1967	18.37	0.72	9.84	28.52	1.29	0.56	12.02	13.02	27.99	3.03	50.89	58.06	18.69
1968	6.02	7.01	21.28	10.22	1.51	0.63	13.27	5.18	3.37	0.94	6.88	17.55	7.82
1969	76.74	57.53	20.68	2.11	8.07	2.18	4.46	2.63	5.85	0.56	29.83	10.79	18.45
1970	7.82	48.39	46.41	6.03	0.03	0.29	6.63	10.21	2.69	3.02	17.32	33.84	15.22
1971	7.59	18.19	3.12	16.81	7.07	0.13	4.17	24.24	14.53	15.96	3.36	37.76	12.74
1972	0.70	1.08	0.23	1.01	2.40	7.18	3.77	5.68	3.97	60.19	32.29	23.19	11.81
1973	25.39	46.97	67.89	2.01	0.70	0.68	3.71	13.29	4.22	0.10	22.31	2.51	15.81
1974	53.78	1.53	24.81	1.75	2.00	1.71	24.17	4.32	4.45	24.35	2.53	23.15	14.05
1975	7.20	10.23	39.83	38.41	0.33	0.52	1.37	4.42	14.06	2.52	21.37	6.91	12.26
1976	3.26	99.84	17.19	25.72	2.01	3.88	12.09	1.64	57.89	7.72	23.68	24.75	23.31
1977	38.58	5.57	17.78	2.43	16.83	1.17	5.14	56.04	4.87	10.00	3.60	67.39	19.12
1978	113.36	112.66	112.53	17.85	0.10	2.03	7.61	6.98	4.16	11.47	64.90	65.86	43.29
1979	124.54	18.39	69.73	0.47	6.40	2.92	8.11	11.69	4.86	5.21	7.48	8.69	22.37
1980	132.36	156.22	54.18	18.32	5.97	2.84	14.13	5.22	0.90	2.43	0.10	5.97	33.22
1981	22.44	29.72	67.22	9.57	1.47	2.26	3.77	8.36	13.10	1.34	26.18	6.27	15.97
1982	63.17	20.33	59.04	5.97	0.76	1.75	10.05	22.56	16.86	0.99	55.93	52.75	25.85
1983	52.32	73.24	112.75	29.57	0.49	0.50	2.98	58.05	27.60	16.53	30.31	30.37	36.22
1984	32.87	0.64	0.77	14.12	0.02	0.55	43.50	22.68	6.18	1.19	22.53	93.78	19.90
1985	40.31	23.13	10.14	2.77	0.30	0.76	7.38	4.78	10.00	17.49	55.14	20.10	16.03
1986	34.56	35.10	48.03	2.79	0.31	0.78	6.14	17.82	12.53	10.86	13.92	13.64	16.37
1987	50.63	41.67	20.81	6.44	1.63	1.54	2.04	4.41	7.97	46.54	23.89	51.27	21.57
1988	67.73	17.51	10.90	44.15	1.08	0.10	13.06	9.32	5.03	3.07	8.20	17.19	16.45
1989	47.04	7.11	15.61	0.92	0.55	0.44	2.43	3.81	1.81	5.17	0.72	6.26	7.66
1990	75.24	14.53	6.95	7.52	2.24	4.35	3.96	8.88	5.22	1.06	8.54	14.56	12.75
1991	57.34	39.95	105.98	0.86	0.13	0.10	6.13	4.37	9.00	8.16	6.08	53.24	24.28
1992	42.05	63.81	90.08	3.79	6.18	0.09	6.32	18.30	3.00	7.50	2.48	60.58	25.35
1993	180.67	81.77	17.88	2.20	1.32	2.64	0.13	9.41	0.25	3.07	26.65	11.17	28.10
1994	11.67	54.46	35.22	12.84	1.39	0.18	0.52	4.24	3.55	2.19	15.36	26.58	14.02
1995	75.18	33.96	57.06	17.26	10.80	3.33	2.12	3.05	3.39	0.77	1.64	10.27	18.24
1996	55.78	28.83	32.28	1.54	0.09	0.03	2.02	5.59	3.54	8.12	9.97	8.39	13.01
1997	80.08	14.44	1.08	9.16	0.56	2.16	3.78	4.85	34.22	1.03	19.02	56.88	18.94
1998	57.21	128.55	76.63	19.94	14.93	0.52	3.22	10.97	2.43	1.86	13.11	15.86	28.77
1999	50.78	13.49	19.80	30.60	0.35	1.93	10.18	2.15	4.74	0.19	0.00	2.27	11.37
2000	36.21	40.79	21.81	4.85	0.14	5.96	1.16	11.48	1.41	20.01	5.42	1.05	12.52
2001	81.07	59.76	27.12	15.88	0.39	0.54	3.93	4.65	2.02	9.80	6.15	12.50	18.65
2002	35.30	1.45	12.65	5.20	2.50	14.60	1.21	0.07	4.80	0.29	15.70	23.52	9.78
2003	35.40	67.98	29.98	12.57	3.04	0.69	5.50	6.96	8.13	2.83	10.23	12.12	16.29
2004	44.11	52.45	9.79	9.67	0.13	0.40	5.01	2.38	1.09	95.13	14.57	48.05	23.57
2005	91.34	68.57	17.06	3.31	1.47	0.15	6.99	16.25	1.68	9.14	1.02	0.30	18.11
2006	38.36	5.40	36.78	13.44	8.11	0.80	4.94	2.27	7.88	1.52	1.67	9.23	10.87
2007	48.24	22.81	5.14	6.65	1.32	0.00	3.42	2.58	5.30	0.67	28.82	17.43	11.86
2008	100.62	26.13	7.58	0.46	3.99	0.04	1.64	14.31	4.25	0.31	25.28	40.51	18.76
2009	37.00	41.41	0.43	4.04	0.05	0.34	0.40	0.95	1.23	0.16	7.87	41.66	11.30
2010	164.58	51.19	24.58	19.66	0.10	0.00	0.86	2.62	4.50	36.33	11.85	44.93	30.10
2011	41.87	61.99	25.75	10.56	5.35	0.11	15.74	3.52	3.69	5.98	46.41	32.20	21.10
2012	45.93	20.92	26.76	22.45	0.11	0.00	5.77	8.35	14.46	3.35	4.35	38.19	15.89
2013	78.95	20.26	21.34	2.64	3.86	0.02	7.72	20.99	10.21	9.74	9.04	12.61	16.45
2014	38.65	13.38	10.93	4.03	0.22	0.00	3.04	9.14	7.44	8.13	3.24	44.43	11.89
2015	53.48	15.14	27.33	3.53	23.03	11.28	7.18	4.21	7.93	6.41	12.66	29.25	16.78
2016	107.36	3.23	14.23	19.13	7.45	0.04	1.27	2.37	16.33	1.28	12.59	68.65	21.16
2017	113.41	63.02	6.42	0.18	13.31	0.07	2.98	3.78	8.19	0.19	3.29	2.35	18.10
2018	66.44	16.40	10.33	0.12	1.53	0.74	7.54	4.94	4.97	11.61	16.79	37.72	14.93
2019	70.39	78.14	14.13	2.48	14.77	0.32	2.79	0.58	8.19	0.15	74.27	56.39	26.88
2020	43.79	19.28	75.29	32.77	0.81	0.54	0.49	1.16	0.32	0.71	6.01	8.15	15.78
Media	52.62	35.89	29.80	11.31	3.42	1.74	5.90	9.44	8.53	9.37	17.69	28.07	17.82

4.2.2 Precipitación Total Media Anual

Escalante & Reyes (2002), mencionan que la lluvia media, en general, se refiere a la altura de lluvia que cae en un sitio dado que difiere de la que cae en los alrededores aunque sea

en sitios cercanos. Para calcular la lluvia media de una tormenta dada, existen tres métodos de uso generalizado:

Método aritmético: Consiste simplemente en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis.

Polígonos de Thiessen: Consiste en unir, mediante líneas rectas dibujadas en un plano de la cuenca, las estaciones más próximas entre sí. Con ello se forman triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas (los pluviómetros son los aparatos con los que se mide y registra la altura de la precipitación en la estación). Se trazan líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos. Las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto. Entonces, cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas, que forman los polígonos de Thiessen, y, en algunos casos, en parte por el parteaguas de la cuenca (Figura 23). El área encerrada por los polígonos de Thiessen y el parteaguas será el área de influencia de la estación correspondiente. La lluvia media se calcula como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación, usando como peso el área de influencia correspondiente.

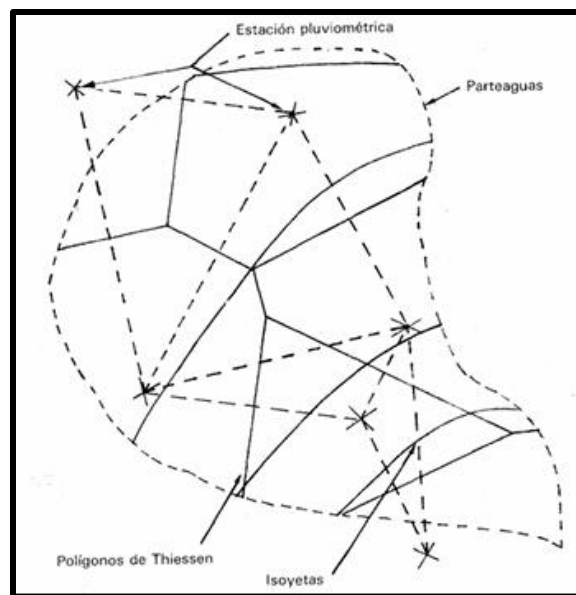


Figura 23. Ejemplificación de polígonos de Thiessen.

Método de las isoyetas: Este método consiste en trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unen puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas, de modo semejante a como se trazan las curvas de nivel en topografía. La precipitación media se calcula en forma similar al método de Thiessen, pero ahora el peso es el área

entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca, y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas.

Para el presente trabajo, se utilizó el método aritmético debido al gran número de estaciones presentes en el área. Los datos de la Precipitación Medial Anual de la cuenca se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Precipitación Total Media Anual de la Cuenca en mm.

Precipitación Media Anual (mm)					
Año	Promedio	Año	Promedio	Año	Promedio
1957	19.03	1979	22.37	2000	12.52
1958	15.78	1980	33.22	2001	18.65
1959	10.66	1981	15.97	2002	9.78
1960	10.77	1982	25.85	2003	16.29
1961	8.33	1983	36.22	2004	23.57
1962	11.59	1984	19.90	2005	18.11
1963	13.56	1985	16.03	2006	10.87
1964	9.56	1986	16.37	2007	11.86
1965	27.02	1987	21.57	2008	18.76
1966	14.14	1988	16.45	2009	11.30
1967	18.69	1989	7.66	2010	30.10
1968	7.82	1990	12.75	2011	21.10
1969	18.45	1991	24.28	2012	15.89
1970	15.22	1992	25.35	2013	16.45
1971	12.74	1993	28.10	2014	11.89
1972	11.81	1994	14.02	2015	16.78
1973	15.81	1995	18.24	2016	21.16
1974	14.05	1996	13.01	2017	18.10
1975	12.26	1997	18.94	2018	14.93
1976	23.31	1998	28.77	2019	26.88
1977	19.12	1999	11.37	2020	15.78
1978	43.29				

Su gráfico correspondiente es el siguiente (Figura 24):

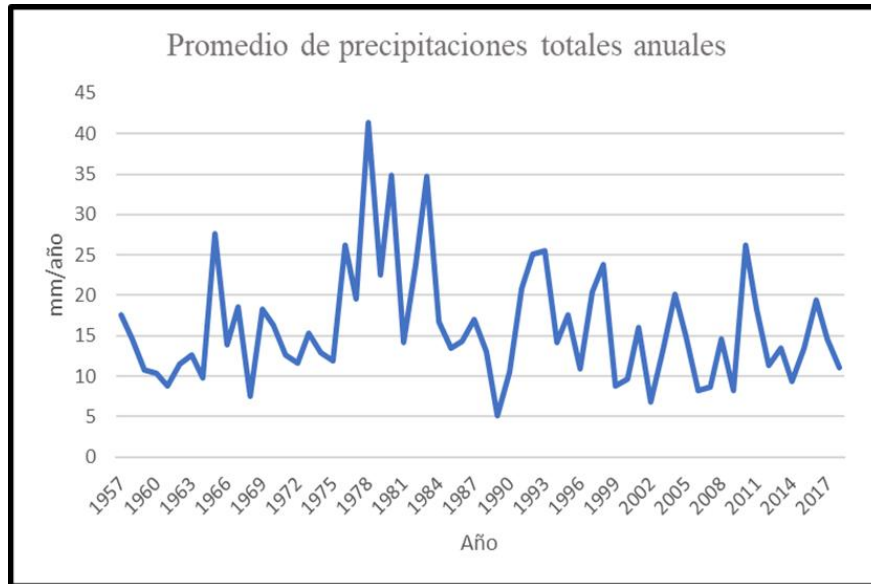


Figura 24. Gráfica del Promedio de Precipitaciones Totales Anuales de 1957-2020 en la Cuenca del Río Colorado en mm/año.

Los datos de precipitación general en toda la Cuenca del Río Colorado (mm/año), muestran sus valores mínimos en los años 1989 y 1968, con tan solo 7.66 y 7.82 mm/año de precipitación respectivamente, mientras que los valores máximos son de 1978 y 1983 con una precipitación anual de 43.43 y 36.22 mm/año.

4.2.3 Precipitación Total Media Mensual Anual

Antes de obtener la precipitación total media anual, se obtuvo la precipitación total media mensual anual, ya que, a partir de esta última, se obtuvo la primera sacando el promedio anual de los meses dados. Ambas series de datos se obtuvieron de las estaciones climatológicas de CONAGUA, cuyo último año de registro es del 2020 con los datos filtrados. Los resultados se aprecian en la Tabla 13.

Tabla 13. Precipitación Media Mensual 1957-2020 en mm/mes.

Mes	P
Enero	52.62
Febrero	35.89
Marzo	29.80
Abril	11.31
Mayo	3.42
Junio	1.74
Julio	5.90
Agosto	9.44
Septiembre	8.53
Octubre	9.37
Noviembre	17.69
Diciembre	28.07

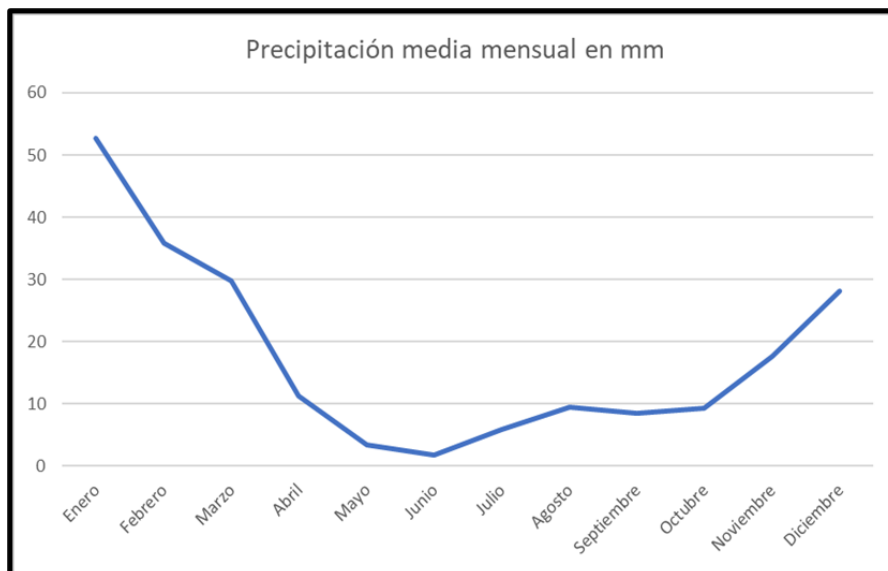


Figura 25. Precipitación media mensual en la cuenca mm/mes.

A manera general se obtuvo la precipitación media mensual general de la cuenca, en donde se observa en la Figura 25 que el periodo de avenida comienza desde el mes de noviembre y terminan el mes de marzo. El periodo de estiaje ocurre desde abril hasta el mes de octubre, en donde la precipitación (cuyas unidades están en mm). Esto puede interpretarse como los meses en donde la sequía es más severa y en donde no lo es.

4.2.4 Precipitación en las subcuencas

También se obtuvieron los datos de precipitación para cada subcuenca. Estos se obtuvieron determinando a las estaciones climatológicas que se encontraban dentro de la subcuenca trazada. No se consideraron los datos desde 1957 hasta el 2020, esto debido a que el tamaño de la subcuenca y el número de pluviómetros (estaciones) dentro de esta, hace que no se pueda aplicar la fórmula, obteniéndose los datos de los promedios mensuales anuales de las estaciones climatológicas.

Precipitación Subcuenca 1

Para la subcuenca 1 se tienen los datos de las estaciones climatológicas 2079 y 2065. Con estos datos se obtuvo la precipitación media mensual anual. Esta se muestra en la Tabla 14 (espacios sin datos se deben a que las estaciones no estuvieron activas durante ese periodo).

Tabla 14. Precipitación media mensual anual de la subcuenca 1 en mm.

Precipitación Media Mensual Anual Subcuenca 1													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1948				0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	42.50	4.82
1949	122.20	5.50	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	9.50	61.00	18.69
1950	18.80	4.80	19.50	0.30	3.50	0.00	7.50	0.00	0.00	0.00	4.00	15.00	6.12
1951	91.30	25.60	14.90	105.80	4.20	0.00	0.00	21.40	0.00	10.50	29.50	116.50	34.98
1952	67.70	29.00	128.20	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.00	61.50	32.74
1953	11.00	25.50	41.00	14.50	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	1.50	10.21
1954	96.00	33.50	109.00	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	0.00	0.00	13.00	11.50	22.75
1955	85.50	11.00	5.00	21.00	10.50	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	7.50	10.00	12.71
1956	20.50	17.50	1.50	21.00	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	64.50	0.00	0.00	10.65
1957	187.90	16.80	22.00	21.10	6.00	1.00	3.50	0.00	0.00	52.60	13.30	14.00	28.18
1958	11.30	45.80	102.60	71.70	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	0.00	20.98
1959	33.50	83.50	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	3.50	0.00	45.50	14.63
1960	52.70	31.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	35.00	11.70	11.53
1961	18.20	4.00	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	1.50	8.00	44.00	8.52
1962	58.50	73.50	16.50	0.00	3.00	0.00	33.30	0.00	0.00	0.00	0.00	31.30	18.01
1963	9.00	72.00	25.80	19.50	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	0.00	56.50	1.50	15.82
1964	29.50	11.00	70.50	9.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	10.20	0.00	11.43
1965	0.00	33.00	32.60	94.50	0.00	0.00	8.50	0.00	7.50	0.00	82.00	179.50	36.47
1966	61.00	55.50	13.50	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	19.00	60.00	17.58
1967	28.00	0.00	12.00	45.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	81.70	58.50	18.85
1968	1.00	12.50	38.00	20.50	0.00	0.00	0.00	15.60	0.00	0.00	6.50	23.00	9.76
1969	132.00	109.00	38.50	1.00	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.50	5.50	26.67
1970	2.00	69.50	95.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	21.00	55.10	20.84
1971	5.50	14.50	0.00	7.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.50	1.00	52.00	9.54
1972	0.00	1.30	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.30	1.10	19.00	48.70	29.90	8.48
1973	38.50	76.70	104.70	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.40	2.00	21.07
1974	76.40	1.50	32.80	4.00	0.20	0.00	0.10	0.00	1.00	32.10	10.10	36.40	16.22
1975	3.50	14.50	55.50	62.20	0.00	1.50	0.00	0.00	0.00	9.90	29.10	8.90	15.43
1976	3.70	168.80	34.80	40.80	2.00	0.00	0.00	0.00	69.10	7.60	39.70	49.50	34.67
1977	40.40	5.10	24.80	2.90	16.30	0.00	0.00	27.00	0.00	0.50	7.40	81.50	17.16
1978	190.90	152.10	168.10	21.90	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.70	108.00	61.28
1979	155.40	24.60	99.10	0.50	10.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.80	7.80	7.20	25.63
1980	194.40	295.00	66.50	10.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75	47.43
1981	38.75	33.15	91.90	15.45	0.80	0.00	0.00	0.00	8.20	0.85	34.20	15.75	19.92
1982	62.40	29.15	78.85	6.75	0.00	1.25	0.00	3.65	2.70	0.00	103.70	63.20	29.30
1983	45.80	93.45	188.30	51.95	0.60	0.00	0.00	21.00	16.20	16.90	34.15	41.55	42.49
1984	13.80	0.00	2.00	20.15	0.00	1.00	14.80	14.00	1.50	3.85	38.45	143.90	21.12
1985	13.45	35.80	13.95	2.80	0.50	0.80	0.00	0.00	5.70	16.30	100.60	21.45	17.61
1986	22.65	50.60	75.50	3.00	0.00	0.20	3.80	0.25	13.50	14.00	11.30	29.90	18.73
1987	43.15	62.55	31.25	7.45	1.25	0.00	0.00	1.00	0.00	67.25	28.40	107.00	29.11
1988	56.05	39.50	15.45	96.10	3.25	0.00	0.00	0.00	11.45	0.00	15.45	60.50	24.81
1989	19.85	13.05	24.35	1.25	1.75	0.00	0.00	0.00	6.20	5.15	0.50	11.10	6.93
1990	75.05	27.50	10.90	29.50	4.50	12.50	0.00	1.00	0.00	0.00	12.50	14.00	15.62
1991	39.50	80.10	131.40	1.75	0.00	0.00	1.75	0.00	4.05	15.75	3.40	66.45	28.68
1992	54.60	102.55	116.90	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20	0.50	55.15	29.49
1993	347.40	78.05	34.15	0.00	0.00	3.25	0.00	0.00	0.00	2.00	23.00	16.00	41.99
1994	17.60	82.20	57.25	33.95	0.25	0.00	0.00	0.75	0.50	4.95	29.05	26.25	21.06
1995	154.10	49.20	111.20	32.95	11.45	3.50	1.00	0.00	0.00	5.50	2.50	14.25	32.14
1996	38.95	34.60	53.60	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	1.75	24.50	22.00	10.90	15.57
1997	79.50	20.30	8.35	10.50	0.50	0.00	0.00	0.00	21.30	0.45	21.35	85.70	20.66
1998	61.50	256.10	98.25	33.15	17.85	0.50	0.00	11.00	3.50	4.00	14.80	19.85	43.38
1999	33.10	22.75	23.60	46.40	1.00	3.00	0.00	0.00	4.25	0.00	0.00	8.90	11.92
2000	3.50	63.80	18.90	12.15	0.00	8.00	0.00	1.50	3.90	19.35	8.10	0.50	11.64
2001	102.90	70.25	33.80	25.65	0.00	0.00	1.50	1.50	1.75	1.75	20.35	20.40	23.32
2002	9.40	4.85	20.85	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00	5.25	0.50	28.00	47.80	10.51
2003	2.00	108.60	63.95	20.25	6.70	1.70	6.25	0.00	0.00	0.00	14.15	14.80	19.87
2004	14.40	84.85	13.80	18.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	155.50	17.65	65.35	30.82
2005	91.30	121.80	29.35	4.45	0.20	0.30	0.10	1.55	0.00	6.80	0.25	1.85	21.50
2006	6.75	24.50	78.45	11.20	15.50	0.50	3.05	0.50	0.00	5.00	2.25	8.75	13.04
2007	18.55	43.20	4.70	11.45	0.40	0.00	0.00	0.00	0.30	1.90	36.40	21.30	11.52
2008	125.80	42.00	4.50	0.50	6.85	0.00	0.00	1.00	0.25	0.50	48.60	129.60	29.97
2009	1.50	70.55	1.10	12.00	0.75	0.00	0.00	0.75	0.20	0.00	14.25	81.00	15.18
2010	194.85	129.85	58.25	42.55	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	48.25	20.65	56.40	45.97
2011	12.40	120.25	58.40	17.55	5.70	0.50	0.00	0.00	1.00	6.50	40.80	0.00	21.93
2012	4.00	28.00	27.50	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.05
2013	97.50	52.50	37.00	0.00	8.00	0.00	0.00	5.50	0.00	9.00	15.00	43.50	22.33
2014	0.00	48.00	12.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.50	14.00	33.00	10.95
2015	15.00	7.00	27.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.50	9.00	36.50	10.36
2016	116.90	32.50	25.50		17.50	0.00	0.00	0.00	15.50	0.00	22.00	56.00	25.99
2017	96.50	71.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	9.00	15.96
2018	25.20	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	21.50	64.50	10.73
2019	40.00	143.00	5.50	0.00	14.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	134.50	84.70	35.31
2020	44.52	0.00	126.80	36.00	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	9.00	0.00	19.78
Media	56.76	54.31	45.12	18.58	3.34	0.55	1.33	1.85	3.01	9.92	24.41	39.08	21.32

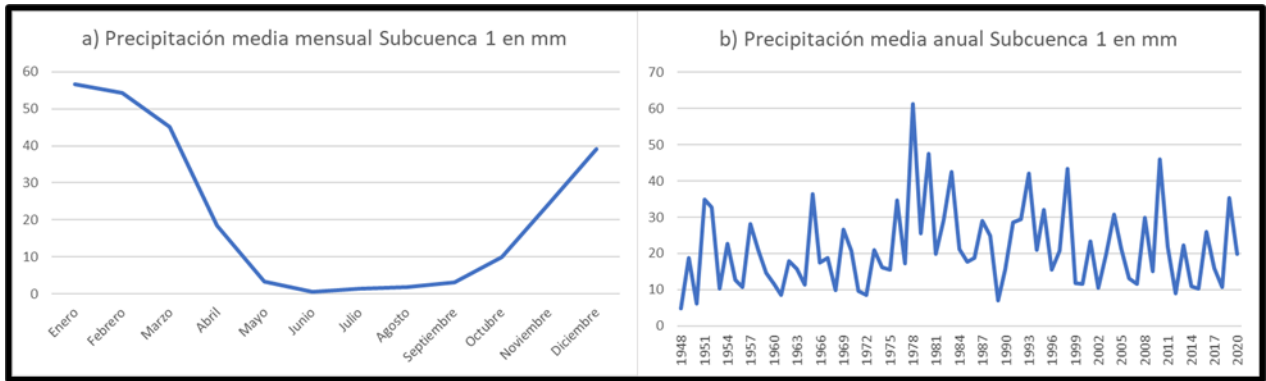


Figura 26. a) Precipitación media mensual subcuenca 1 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 1 mm/año.

Como se muestra en la Tabla 14, se tienen datos desde el año de 1948 hasta el 2020. En la Figura 26(a) se muestra un período de precipitación que comienza ligeramente en octubre, que alcanza su punto máximo en enero y que en marzo comienza a disminuir hasta tener un período de estiaje prolongado desde mayo hasta septiembre. La Figura 26(b) muestra un comportamiento heterogéneo, pues inmediatamente de que en un año se alcance un pico alto de precipitación, al siguiente disminuye abruptamente. En el año de 1978 se tiene la mayor cantidad de lluvia acumulada.

Precipitación Subcuenca 2

En la Tabla 15 se muestran los datos de la precipitación media mensual anual de la Subcuenca 2. Con base en estos datos se realizaron los gráficos que se muestran en la Figura 27. Estos datos tienen una serie que va desde el año 1948 a 2023, obtenidos de las estaciones climatológicas 2001, 2021, 2049, 2066, 2035 y 2019.

Como se muestra en la Figura 27(a), de acuerdo con el promedio mensual de precipitación en la subcuenca, se tienen por lo general lluvias todo el año, siendo a partir del mes de octubre hasta marzo donde se tienen más. Curiosamente, los meses de julio, agosto y septiembre también tienen cierta cantidad de precipitación a comparación de la época de estiaje en abril, mayo y junio. La Figura 27(b) tiene su periodo de mayor precipitación en los años de 1978-1983. Sin tomar en cuenta el año 2021 (donde presuntamente no hay datos), el año donde se presentó la menor precipitación fue 1989.

Tabla 15. Precipitación media mensual anual Subcuenca 2 en mm.

Año	Precipitación Media Mensual Anual Subcuenca 2												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1948							0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	27.25	7.54
1949	92.25	22.20	35.00	0.50	10.25	0.00	0.50	0.00	0.00	28.50	15.25	58.90	21.95
1950	45.30	12.75	45.00	5.75	9.00	0.00	16.90	0.00	5.50	0.00	12.25	4.00	13.04
1951	64.10	19.15	18.85	86.00	3.45	0.00	12.50	20.45	0.00	6.15	42.85	128.10	33.47
1952	73.90	40.20	129.90	23.25	0.00	0.00	26.00	1.75	1.00	0.05	63.65	73.40	36.09
1953	10.65	25.30	17.70	17.30	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.45	0.50	7.51
1954	100.25	21.85	103.25	1.10	0.00	0.00	27.90	0.00	3.85	0.00	0.00	11.50	22.48
1955	42.30	5.50	0.75	11.25	14.05	0.50	40.55	59.75	0.00	0.00	2.00	23.50	16.68
1956	37.50	6.85	0.00	22.80	1.75	0.00	7.25	0.00	0.00	7.83	0.00	3.17	7.26
1957	176.33	13.50	15.60	26.17	35.17	12.33	1.50	6.30	10.83	60.27	28.10	20.17	33.86
1958	10.83	88.57	170.47	81.13	6.10	0.83	8.17	23.00	26.00	0.00	23.60	0.00	36.56
1959	10.77	75.23	0.00	7.50	0.87	2.67	4.67	13.00	7.80	14.83	7.00	52.17	16.38
1960	60.83	49.83	4.63	9.53	4.50	0.33	42.83	0.00	52.50	2.00	39.20	10.27	23.04
1961	31.25	11.75	30.25	1.00	0.00	0.00	50.00	11.50	14.00	6.70	14.73	76.50	20.64
1962	33.13	43.73	25.67	0.43	6.33	0.67	2.33	11.73	5.67	2.67	0.00	12.83	12.10
1963	13.33	20.57	39.90	24.57	0.00	0.00	0.00	14.83	24.33	15.33	56.83	9.50	18.27
1964	50.40	9.00	42.67	5.53	13.50	0.00	1.00	4.00	0.00	3.83	33.23	13.57	14.73
1965	11.67	36.07	27.53	111.50	0.00	0.00	0.87	23.50	2.33	0.00	83.87	135.50	36.07
1966	29.03	27.40	15.50	0.67	0.67	5.50	3.50	17.37	6.63	29.77	35.50	87.57	21.59
1967	25.17	0.00	18.03	47.53	5.07	0.00	34.97	34.13	36.80	5.23	52.33	102.63	30.16
1968	7.00	7.33	23.63	14.47	1.83	0.00	52.73	2.40	0.00	1.67	8.17	32.67	12.66
1969	126.20	98.90	45.25	3.80	8.63	0.00	0.00	2.63	5.50	0.00	24.14	12.18	27.27
1970	13.78	56.78	67.68	21.68	0.00	0.00	10.26	12.84	1.36	3.04	23.54	39.32	20.86
1971	11.52	28.04	7.56	27.68	11.70	0.00	7.60	18.40	9.70	26.50	5.50	59.74	17.83
1972	0.00	1.50	0.00	2.65	2.00	12.50	5.10	7.30	4.52	42.30	49.60	43.50	14.25
1973	41.94	62.14	108.72	5.30	1.30	0.00	0.00	20.18	0.00	0.26	37.34	8.90	23.84
1974	87.86	5.48	38.60	3.40	9.80	0.00	63.96	5.50	12.50	40.50	7.04	24.20	24.90
1975	13.25	30.64	77.63	57.44	0.30	2.00	3.60	7.10	24.80	6.00	37.16	9.10	22.42
1976	0.50	128.44	37.92	41.48	0.50	0.00	14.98	0.08	86.06	16.44	35.58	26.94	32.41
1977	49.50	12.56	37.76	6.94	23.00	0.56	9.00	101.30	8.26	21.16	8.30	114.84	32.77
1978	158.90	158.42	178.84	30.56	0.30	0.00	5.90	10.48	7.96	11.00	93.92	93.34	62.47
1979	140.84	22.33	125.76	1.06	13.84	0.00	9.75	13.70	8.50	16.20	10.64	19.00	31.80
1980	233.42	272.10	90.18	32.94	16.20	0.00	10.80	15.68	1.10	3.44	0.00	19.84	57.98
1981	37.48	67.28	91.66	24.12	2.84	0.00	15.00	13.86	12.96	3.48	42.02	10.46	26.76
1982	107.18	53.82	130.02	17.72	1.42	0.00	27.62	59.84	14.98	4.06	131.88	79.63	52.35
1983	59.45	126.78	220.86	72.86	1.50	0.00	0.00	116.58	55.28	22.70	68.66	52.30	66.41
1984	11.48	0.26	0.70	17.04	0.00	0.00	115.40	31.94	1.05	1.85	27.50	99.45	25.56
1985	44.63	42.08	28.13	6.04	0.13	0.26	50.20	8.63	21.33	34.20	99.83	36.93	31.03
1986	21.28	68.03	103.48	3.35	0.40	0.00	6.03	23.28	15.08	15.75	11.83	26.43	24.58
1987	45.83	85.60	45.63	13.73	3.53	5.90	0.00	2.15	26.75	116.95	43.40	73.90	38.62
1988	70.50	22.00	21.50	60.60	2.17	0.00	12.70	14.50	0.07	0.25	14.43	39.43	21.51
1989	20.43	14.93	32.47	2.43	2.43	0.00	0.03	0.00	2.77	6.80	1.63	4.70	7.39
1990	81.23	43.53	22.93	17.53	5.87	3.10	8.37	11.13	7.83	0.05	15.93	36.03	21.13
1991	39.70	42.00	141.50	2.55	0.20	0.00	21.70	0.00	0.50	23.60	11.65	62.30	28.81
1992	67.80	116.60	157.75	0.75	24.05	0.00	0.20	44.75	10.40	7.10	16.00	123.20	47.38
1993	271.50	148.25	33.45	0.00	7.50	5.75	0.00	6.00	0.00	7.85	33.90	22.60	44.73
1994	25.55	84.00	59.05	18.60	0.00	0.00	0.00	21.00	0.00	0.20	12.60	32.20	21.10
1995	145.50	62.80	97.60	31.10	11.00	5.50	1.50	0.00	6.70	0.10	4.50	11.70	31.50
1996	33.00	47.10	54.50	2.50	0.00	0.00	0.10	10.00	0.00	0.10	15.10	10.50	14.41
1997	70.30	33.20	0.00	8.50	0.00	4.70	0.00	0.30	26.10	1.10	53.10	81.35	23.22
1998	34.20	208.60	56.05	19.30	8.55	0.10	0.10	15.30	2.05	2.30	9.55	10.90	30.58
1999	23.10	18.10	23.30	46.20	0.10	1.50	4.60	0.00	0.30	0.00	0.00	6.00	10.27
2000	6.50	85.00	28.00	9.00	0.00	12.50	0.00	0.00	2.00	12.00	13.50	3.50	14.33
2001	90.00	83.50	28.00	31.50	0.00	0.00	5.00	2.00	1.50	0.00	10.50	28.50	23.38
2002	2.00	1.50	22.10	8.00	0.00	0.00	3.50	0.00	14.00	0.50	18.50	33.00	8.59
2003	3.00	118.50	51.50	27.70	3.00	0.00	11.00	2.50	0.50	0.00	14.00	15.00	20.56
2004	11.50	71.50	10.50	8.00	0.00	0.00	0.00	4.00	5.00	143.50	25.50	104.00	31.96
2005	64.40	84.50	14.60	5.50	3.50	0.00	0.50	1.50	0.00	9.00	0.00	0.00	15.29
2006	3.50	3.50	67.10	29.50	16.00	0.00	0.00	0.00	0.80	3.50	0.40	13.60	11.49
2007	16.40	27.20	8.10	6.40	3.80	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	50.00	20.60	11.17
2008	100.00	31.50	12.00	0.00	8.70	2.10	0.00	9.90	0.00	0.00	43.00		18.84
2009	2.40	61.00	0.00	5.70	0.00	1.00	0.00	1.20	5.00	0.00	13.50	27.30	9.76
2010	205.70	71.80	26.80	38.90	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00	47.20	16.50	68.20	39.72
2011	20.20	90.25	40.40	7.75	32.35	0.00	121.35	10.50	0.00	14.95	63.15	36.80	36.48
2012	13.75	39.40	62.70	36.45	0.00	0.00	1.00	32.60	61.00	0.65	10.00	109.00	30.55
2013	32.05	46.30	15.90	56.50	7.60	0.00	1.90	3.10	3.90	28.50	8.60	11.00	17.95
2014	1.50	8.51	27.20	9.90	0.00	0.00	1.90	1.50	0.00	0.00	4.30	53.60	9.03
2015	11.35	4.50	26.70	6.00	34.40	0.00	6.90	0.00	3.20	31.40	20.10	37.50	15.17
2016	99.00	0.00	26.70	24.30	20.10	0.00	0.00	0.00	19.70	0.00	25.40	109.60	27.07
2017	108.50	73.90	5.80	0.00	6.90	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	3.00		18.10
2018	42.41	21.20	12.91	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	1.50	2.81	28.71	63.90	14.46
2019	48.82	126.61	16.33	6.00	31.30	0.00	3.41	0.00	12.22	0.00	100.60	81.20	35.54
2020	10.60	35.80	78.50	62.71	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.10	10.00	17.64
2021	0.00												0.00
2022							0.00	0.00	20.00	0.03	16.41	29.41	10.98
2023	91.32	7.51	63.32	0.00	0.00	0.00	1.21	41.50	0.00				22.76
Media	54.04	51.95	48.57	20.24	6.08	1.10	11.97	12.66	9.65	12.60	26.74	42.09	24.20

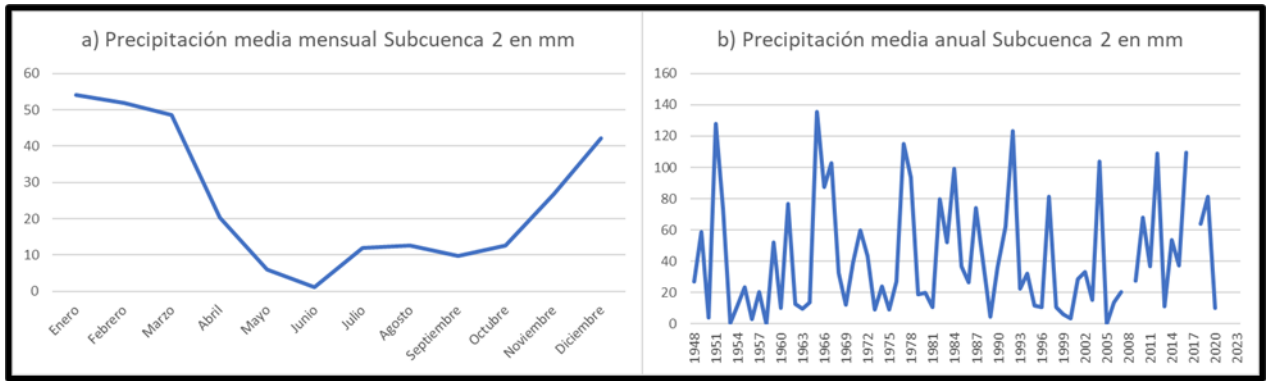


Figura 27. a) Precipitación media mensual subcuenca 2 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 2 mm/año.

Precipitación Subcuenca 3

Para esta subcuenca, se muestra en la Tabla 16 los datos de la precipitación media mensual anual de la Subcuenca 3. Estos datos tienen una serie que va desde el año 1948 a 2023, de las estaciones climatológicas 2077, 2036, 2004 y 2001, mostrados en la Figura 28.

La Figura 28(a), muestra el promedio mensual de precipitación en la subcuenca 3, en donde se tiene un período de precipitación en crecimiento de octubre hasta enero, en donde tiene su punto máximo y luego decae ligeramente. La época de estiaje abarca los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre. Para la Figura 28(b) se tiene la gráfica de precipitación media anual, en donde al igual que en la subcuenca 2, su periodo de mayor precipitación es en los años de 1978-1983. Igualmente, no se toma en cuenta el año 2021 (donde presuntamente no hay datos), y también el año donde se presentó la menor precipitación fue 1989. Esto es debido a que ambas subcuencas (2 y 3) están muy cercanas la una de la otra.

Tabla 16. Precipitación media mensual anual Subcuenca 3 en mm.

Año	Precipitación Media Mensual Anual Subcuenca 3												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1936	0.00	75.00	33.00	4.00	0.00	0.00	40.00	64.00	0.00	21.00	17.00	92.00	28.83
1954			131.20	2.10	1.00	0.10	3.80	1.50	0.60	0.00	14.70	8.00	16.30
1955	84.40	16.00	10.00	27.50	17.70	90.50	1.00	5.10	6.00	0.30	13.50	37.10	25.76
1956	23.50	23.00	2.00	25.30	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	0.00	8.00	7.83
1957	189.50	15.80	22.00	17.00	18.80	3.50	0.00	3.00	10.10	42.70	29.40	9.00	30.07
1958	10.80	75.40	85.50	53.00	97.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	27.50	0.00	29.85
1959	0.00	62.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	0.00	52.60	9.83
1960	22.00	52.50	1.50	18.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00	10.90	33.50	7.00	13.28
1961	28.50	2.00	29.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50	0.00	0.00	18.50	48.00	11.13
1962	88.00	82.20	41.50	0.00	12.00	0.00	0.00	4.50	0.00	0.50	0.00	11.50	20.02
1963	13.50	65.50	11.50	27.00	0.00	2.00	0.00	0.00	32.00	18.50	59.50	4.00	19.46
1964	30.50	16.50	48.00	17.00	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	37.00	17.90	14.53
1965	13.35	45.90	33.90	144.50	0.05	0.10	3.50	3.00	5.75	0.00	134.50	143.55	44.01
1966	36.25	51.25	16.55	0.00	0.35	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	15.50	54.65	14.71
1967	12.50	0.00	7.70	78.75	0.00	0.00	1.20	2.75	0.00	0.00	53.00	107.70	21.97
1968	13.05	15.85	21.15	11.40	5.10	2.30	15.75	0.00	0.00	1.35	13.10	34.45	11.13
1969	142.17	116.07	48.37	3.23	11.67	0.50	0.50	2.33	2.10	0.00	18.60	11.47	29.75
1970	8.30	59.63	67.57	12.03	0.00	0.00	2.00	4.57	0.00	2.83	27.95	72.47	21.45
1971	21.07	33.40	4.63	28.50	16.70	0.00	0.00	2.37	7.97	33.97	2.97	60.73	17.69
1972	0.00	3.10	0.07	1.97	4.93	27.23	0.00	2.00	18.83	55.83	50.07	31.67	16.31
1973	54.10	72.90	127.70	4.60	1.43	0.00	0.00	5.23	0.00	0.50	40.83	5.10	26.03
1974	78.63	3.07	38.50	1.53	0.00	0.00	27.77	0.00	0.00	37.03	4.27	29.97	18.40
1975	20.40	25.07	68.03	66.67	0.33	1.90	0.50	1.00	2.40	1.33	27.53	7.67	18.57
1976	1.77	146.40	41.87	34.87	0.40	0.03	2.50	0.13	85.27	8.93	43.43	35.70	33.44
1977	44.13	6.83	30.40	5.63	22.80	1.63	0.43	70.80	0.00	25.40	6.03	108.57	26.89
1978	160.33	151.77	187.67	33.10	0.07	0.00	0.00	0.00	4.27	1.27	107.03	81.80	60.61
1979	121.53	27.97	129.87	1.37	7.17	0.00	4.17	0.00	0.00	10.10	7.43	20.50	27.51
1980	236.87	236.50	86.17	30.27	11.93	0.00	0.67	0.00	0.00	2.33	0.00	10.70	51.29
1981	36.03	63.63	88.67	16.90	2.43	0.00	0.00	0.57	3.40	3.60	41.93	12.17	22.44
1982	50.30	39.63	110.07	8.97	1.07	0.00	0.00	0.90	8.57	4.57	94.07	78.03	33.01
1983	33.90	114.57	204.60	60.73	1.00	0.00	0.00	31.90	38.25	37.17	57.97	41.93	51.83
1984	10.17	0.00	4.10	12.07	0.00	0.00	3.07	5.73	0.13	2.07	31.13	98.33	13.90
1985	41.10	32.37	17.83	3.13	0.00	0.33	5.00	0.00	16.27	34.40	93.03	26.17	22.47
1986	20.93	71.93	72.40	3.17	0.00	0.00	1.67	0.50	9.33	12.33	12.67	32.50	19.79
1987	42.93	78.70	37.43	12.83	1.50	0.00	0.33	1.00	7.67	111.83	84.10	63.37	36.81
1988	50.67	33.20	20.00	83.17	2.00	0.00	2.17	0.00	0.00	0.17	14.50	30.75	19.72
1989	15.90	20.50	26.37	1.50	2.37	0.00	0.03	0.00	4.03	4.90	1.23	4.97	6.82
1990	85.43	26.83	7.50	11.25	7.00	4.17	0.03	0.07	0.03	0.03	27.67	32.87	16.91
1991	26.80	121.67	153.50	0.30	0.63	0.00	15.23	0.00	16.25	15.80	14.00	38.60	33.57
1992	53.85	103.70	114.05	2.75	19.85	0.00	0.20	19.30	0.00	6.10	0.00	123.20	36.92
1993	224.00	134.85	26.40	10.00	6.33	2.83	0.00	0.67	0.00	4.20	26.33	15.37	37.58
1994	21.10	86.17	56.03	26.87	0.00	0.00	0.00	12.33	0.00	4.40	20.33	20.73	20.66
1995	163.80	84.17	94.37	33.63	43.00	13.00	0.75	0.00	4.85	0.10	3.50	7.57	37.39
1996	44.50	42.40	54.43	2.17	0.00	0.00	2.55	13.50	0.00	10.55	20.55	11.25	16.83
1997	65.50	28.10	0.00	11.50	0.00	3.57	0.00	0.10	27.33	0.70	35.20	62.17	19.51
1998	47.77	250.13	113.80	46.93	30.60	0.35	0.10	28.80	4.05	3.53	22.50	26.43	47.92
1999	14.80	20.55	26.63	60.70	0.05	1.50	4.60	0.00	0.30	0.00	0.00	6.00	11.26
2000	7.35	95.68	27.08	10.30	0.00	6.60	0.00	0.00	1.25	15.17	11.83	2.50	14.81
2001	76.70	101.33	19.07	25.67	0.00	0.00	2.67	0.73	0.50	0.00	15.77	28.47	22.58
2002	6.50	2.43	23.50	8.73	0.00	0.00	1.75	0.00	14.50	0.25	23.10	40.50	10.11
2003	1.50	138.00	67.10	26.10	6.75	0.67	4.33	0.83	0.17	0.00	15.87	19.30	23.38
2004	9.23	85.83	13.97	8.50	0.00	0.00	0.00	1.33	1.67	138.27	26.10	97.10	31.83
2005	84.10	101.90	20.60	6.70	3.60	0.00	0.25	0.75	0.00	10.25	0.00	0.00	19.01
2006	12.80	5.83	69.13	31.37	21.17	2.33	0.00	0.00	0.40	4.50	1.70	24.30	14.46
2007	17.10	35.48	5.65	8.85	1.93	0.00	0.00	0.00	3.38	0.00	38.50	24.78	11.30
2008	116.60	47.93	11.75	0.00	11.25	0.53	3.08	5.35	0.00	0.63	50.18	75.00	26.86
2009	2.10	78.13	0.00	5.30	0.00	0.68	0.00	0.30	1.75	0.33	18.85	59.58	13.92
2010	193.98	80.20	24.63	29.18	0.00	0.00	0.38	2.38	0.13	54.85	22.55	75.05	40.28
2011	11.60	123.38	46.58	19.25	15.18	0.00	1.93	0.00	0.50	6.60	92.83	34.70	29.38
2012	9.13	52.95	58.73	50.10	0.00	0.00	0.50	1.55	6.38	4.70	5.00	69.70	21.56
2013	72.13	37.28	38.08	0.75	12.95	0.00	0.98	5.45	3.85	28.28	8.65	17.55	18.83
2014	4.76	13.48	20.43	11.15	0.00	0.00	1.10	1.80	0.00	0.00	9.45	71.40	11.13
2015	25.46	22.75	46.05	5.83	37.78	0.00	12.60	0.00	6.35	14.85	17.80	42.53	19.33
2016	116.13	9.13	29.73	25.27	13.28	0.00	0.00	0.00	22.68	0.38	29.90	146.85	32.78
2017	128.90	113.08	8.40	0.00	18.20	0.00	0.00	4.50	0.38	0.00	4.63	0.67	23.23
2018	52.10	25.05	15.23	0.33	0.50	3.00	0.01	1.33	1.27	25.57	57.30	15.14	
2019	49.58	137.03	19.09	3.38	20.66	0.00	0.85	0.00	8.57	0.00	133.75	105.13	39.84
2020	13.40	31.13	90.59	59.31	0.01	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65	11.45	18.00
2021	0.00												0.00
2022							0.00	0.00	20.00	0.03	16.41	29.41	10.98
2023	91.32	7.51	63.32	0.00	0.00	0.00	1.21	41.50	0.00				22.76
Media	52.28	61.49	47.42	20.20	7.54	2.46	2.47	5.17	6.18	11.94	28.72	41.70	23.43

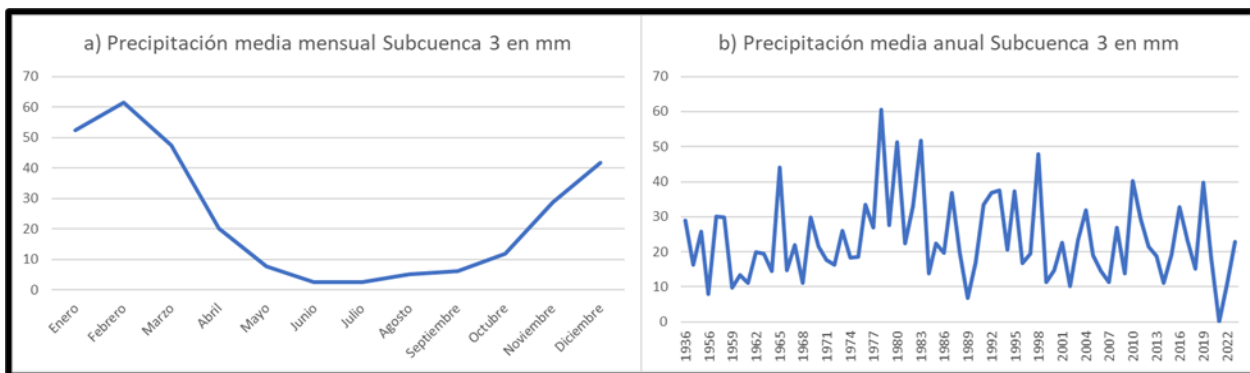


Figura 28. a) Precipitación media mensual subcuenca 3 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 3 mm/año.

Precipitación Subcuenca 4

Tabla 17. Precipitación media mensual anual Subcuenca 4 en mm.

Año	Precipitación Media Mensual Anual Subcuenca 4												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1958	0.00	64.40	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	29.20	27.70	0.00	23.30	0.00	16.04
1959	25.90	11.00	0.00	1.00	1.00	0.00	3.70	73.00	34.60	7.80	51.00	0.00	21.44
1960	30.00	0.00	16.00	0.00	0.00	5.00	30.00	24.00	68.00	2.00	10.00	0.00	12.22
1961	33.00	22.10	28.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.30	0.00	0.00	3.00	53.00	13.53
1962	2.00	15.00	20.00	4.00	0.00	0.00	0.00	29.00	0.00	3.00	0.00	14.00	10.76
1963	11.00	2.00	15.00	0.00	4.00	0.00	21.00	21.50	27.00	18.00	34.50	5.00	12.25
1964	41.00	37.00	20.00	84.00	0.00	0.00	26.00	38.00	4.00	22.00	23.00	8.00	12.33
1965	28.00	23.50	19.00	0.00	0.00	0.00	29.50	48.50	5.00	0.00	89.00	91.00	36.79
1966	20.00	0.00	6.00	26.00	4.00	0.00	115.00	29.00	8.00	20.00	30.00	17.56	32.33
1967	0.00	17.00	27.00	25.00	10.00	4.00	6.00	46.00	45.00	15.50	46.00	64.50	32.33
1968	67.35	109.70	21.05	3.00	13.13	0.00	7.00	1.00	4.00	4.00	13.00	4.00	9.58
1969	6.50	60.50	25.00	1.50	0.00	0.00	18.60	19.90	10.05	0.00	44.55	24.00	26.64
1970	2.00	13.00	1.50	11.00	1.60	0.50	8.15	47.45	16.50	3.00	9.50	25.05	17.80
1971	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	8.00	13.75	41.45	16.60	14.15	6.50	38.50	12.91
1972	17.95	46.00	40.20	0.00	2.30	0.00	2.00	10.00	2.05	97.50	19.25	14.30	13.80
1973	68.30	0.00	22.97	0.00	9.33	2.83	74.10	16.60	0.00	0.00	10.75	0.00	12.25
1974	9.67	8.17	34.25	33.33	0.00	0.00	0.00	9.80	12.03	13.83	0.10	17.25	19.21
1975	1.00	80.10	8.50	30.43	0.33	0.00	23.00	17.17	22.33	4.00	24.67	12.33	13.83
1976	46.17	4.27	18.43	1.03	6.20	0.33	17.87	1.53	40.47	12.83	15.03	23.43	19.72
1977	75.83	121.63	94.20	7.50	0.00	0.00	15.60	63.67	12.25	4.50	8.35	74.65	21.48
1978	113.10	6.13	27.90	0.00	6.87	0.00	4.30	29.57	11.33	19.40	62.00	63.77	41.74
1979	77.80	152.13	43.00	14.77	5.00	0.00	39.03	11.00	3.67	0.00	7.67	6.83	15.62
1980	18.80	17.33	81.00	3.07	3.50	0.00	18.43	2.07	3.35	0.00	0.00	2.50	28.30
1981	50.00	28.50	77.95	5.75	2.00	0.00	23.00	27.25	36.50	1.00	29.00	12.50	20.70
1982	55.75	79.40	106.10	26.25	0.00	0.00	7.75	73.90	27.55	0.00	45.60	76.80	34.25
1983	8.50	0.00	0.80	17.00	0.05	0.00	179.00	48.60	70.05	16.00	37.50	36.00	40.28
1984	20.25	27.70	11.85	4.40	0.00	0.00	15.90	84.15	22.30	0.00	19.30	160.00	40.93
1985	24.40	46.55	65.35	6.55	1.00	3.40	27.85	51.50	21.00	23.75	44.05	26.00	20.53
1986	31.75	68.35	26.20	1.75	4.35	0.00	3.20	78.85	37.95	1.35	21.80	15.40	27.54
1987	48.15	22.70	11.00	36.10	0.00	0.00	90.30	22.05	29.90	53.45	9.75	100.15	29.24
1988	17.00	3.00	21.35	0.00	0.25	0.00	0.00	23.50	7.95	3.50	5.75	9.45	21.53
1989	29.10	37.50	48.65	8.00	0.00	0.00	26.00	24.00	3.35	4.50	2.25	0.00	6.88
1990	54.50	61.50	72.65	0.00	0.00	0.00	70.00	17.85	4.35	2.75	0.00	89.00	21.93
1992						0.00	70.00				2.20		37.26
2004						0.00	16.90	15.90	0.00	69.90	20.50	31.50	22.10
2005	60.00	100.50	21.00	0.00	0.00	0.00	39.50	77.00	0.00	8.50	0.00	0.00	25.54
2006	0.00	0.00	39.00					26.50	69.00	5.00	0.00	24.00	20.44
2007	4.00	10.50	5.00	2.00	7.00	0.00	45.00	76.00	11.00	0.00	10.00	9.00	13.96
2008	98.00	7.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	6.00	8.00	0.00	24.00	0.00	18.42
2009	0.00	54.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	8.00	0.00	3.00	50.00	10.08
2010	276.00	38.00	28.00	5.00	0.00	0.00	0.00	6.00	25.00	49.00	8.00	48.00	41.42
2011	0.00	87.00	19.00	20.00	0.00	0.00	60.00	30.00	30.00	14.00	39.00	22.00	26.75
2012	4.00	16.00	24.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.90
2013	43.00	40.00	26.00	0.00	2.00	0.00	0.00	57.00	39.00	0.00	0.00	0.00	17.25
2014	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	9.00	4.00	49.00	7.00	3.00	42.00	9.58
2015	18.00	13.00	45.00	0.00	20.00	0.00	5.00	12.00	0.00	0.00	1.00	14.00	10.67
2016	83.00												83.00
2018			8.00	0.00	0.00	0.00	69.00	0.00	64.00	29.00	5.00	38.00	21.30
2020	0.00	19.00	155.00	29.00	0.00	0.00	0.00	18.00	0.00	0.00	11.00	0.00	19.33
2021	52.00	0.00	12.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	5.00	6.00	0.00	6.00	7.00
2022	0.00	13.00	17.00	0.00	0.00	5.00	1.00	72.00	73.00	0.00	6.00	9.00	16.33
2023	10.00												10.00
Media	34.34	33.71	29.37	9.33	2.38	0.62	24.15	31.44	21.81	11.11	17.04	30.68	21.63

Los datos de esta subcuenca se muestran en la Tabla 17. Se obtuvieron de las estaciones climatológicas 2088, 2010 y 2057, y se determinó la media de cada mes y cada año. Algunos años como 2018 o 2023 no sirven mucho como referencia pues solo tienen 1 solo dato, pero funcionan para complementar la serie de datos que se utilizaron para obtener el promedio mensual. Llama la atención que el mes de junio se tomaron datos, pero estos marcan 0 la mayoría de los años, siendo este el mes donde la precipitación es nula (Figura 29 (a)).

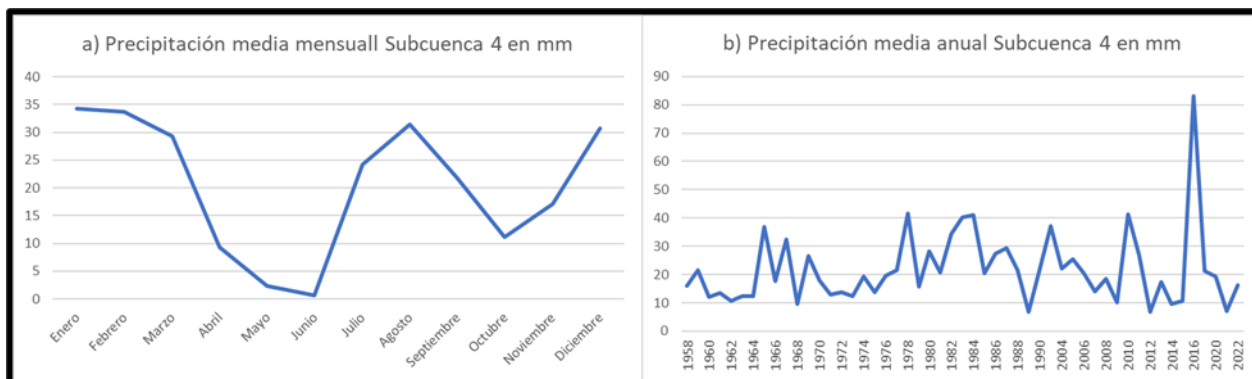


Figura 29. a) Precipitación media mensual subcuenca 4 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 4 mm/año.

Como se mencionó anteriormente, el período de menor precipitación para esta subcuenca se tiene en los meses de mayo y junio principalmente, pero el resto de los meses cuenta con precipitaciones de hasta 35 mm en enero, también teniendo bastante precipitación en julio, agosto, diciembre, febrero y marzo. En la Figura 29 (b) se muestra la precipitación media anual de la subcuenca 4, el pico más alto de 2016 no debe tomarse a consideración por lo anteriormente mencionado, siendo quizás un dato similar a los anteriores como 2010 y 1978 en donde se tiene una precipitación media anual de más de 40 mm al año. El resto de los años tiene precipitaciones más bajas aún, siendo 1989 donde menor precipitación se tiene registrada, pero esto puede ser a que no se tomó el dato del mes de diciembre que es uno de los meses donde más precipitación se tiene.

Precipitación Subcuenca 5

En la Tabla 18 se muestran los datos de precipitación media mensual anual de la subcuenca 5. Esta se tomó de las estaciones climatológicas 2060 y 2105. Cabe mencionar que faltan la mayoría de los datos del año 1959 y del 2005, por lo que esos años no funcionan para la determinación de los datos e interpretación de la gráfica de la Figura 30.

Tabla 18. Precipitación media mensual anual Subcuenca 5 en mm.

Año	Precipitación Media Mensual Anual Subcuenca 5												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1959											0.00	49.50	24.75
1960	50.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	4.00	18.00	2.00	9.00	10.50	10.04
1961	10.00	0.00	13.50	0.00	0.00	1.00	0.00	14.00	0.00	7.40	4.50	27.10	6.46
1962	41.10	25.30	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	25.00	10.45
1963	10.50	9.50	31.00	2.50	0.00	0.00	0.00	32.50	3.00	10.00	44.00	2.00	12.08
1964	14.50	1.50	36.00	3.50	0.00	0.00	14.00	0.00	0.00	12.00	43.00	1.00	10.46
1965	34.00	39.00	18.00	92.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	139.00	170.80	41.57
1966	53.00	55.00	21.50	0.00	0.00	5.50	4.50	6.00	3.60	84.50	38.00	59.00	27.55
1967	29.00	0.00	17.00	27.50	0.00	0.00	1.50	29.60	76.00	5.50	56.50	77.00	26.63
1968	0.40	6.90	54.50	9.50	0.00	0.00	3.80	5.50	0.00	0.00	7.50	37.50	10.47
1969	105.40	54.00	22.00	12.50	9.50	0.00	0.00	8.50	8.50	4.50	42.50	29.60	24.75
1970	3.00	85.00	69.50	2.00	0.00	0.00	11.60	19.00	0.00	0.00	23.00	25.50	19.88
1971	0.00	28.00	0.50	17.00	0.00	0.00	8.50	48.50	55.00	25.50	6.00	66.30	21.28
1972	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	5.50	6.50	1.00	82.30	39.20	17.50	12.83
1973	9.90	67.50	94.00	1.00	0.00	0.00	0.00	8.10	0.00	0.00	21.00	1.50	16.92
1974	75.00	0.00	47.00	0.00	0.00	0.00	105.50	0.00	5.10	43.00	5.00	24.50	25.43
1975	6.50	4.50	55.20	47.20	0.00	0.00	0.50	4.00	36.00	2.00	55.50	12.00	18.62
1976	14.50	209.50	21.00	80.00	2.00	0.00	34.40	2.00	82.00	19.00	25.00	53.50	45.24
1977	50.80	6.00	17.75	1.75	21.00	0.00	37.15	47.45	9.50	18.00	5.00	161.00	31.28
1978	177.00	136.75	227.00	4.75	0.00	0.00	32.00	25.50	4.00	16.85	132.50	173.50	77.49
1979	208.00	22.50	109.55	0.00	6.50	0.00	5.75	0.00	24.75	4.50	11.00	19.00	34.30
1980	141.25	329.50	51.75	11.50	2.00	0.00	42.75	6.50	0.00	0.00	1.00	0.00	48.85
1981	23.00	11.00	62.75	8.00	0.00	3.25	0.50	13.00	21.50	0.00	54.25	1.50	16.56
1982	75.50	27.25	108.25	9.75	8.25	0.00	16.50	49.00	60.50	0.00	0.00	0.00	29.58
1983		0.00	58.25	42.00	0.00	0.00	0.00	103.00	39.00	12.00	51.50	30.25	30.55
1984	4.25	0.00	0.00	30.75	0.00	0.00	209.50	43.35	13.05	0.00	32.00	58.20	32.59
1985	38.50	5.75	8.50	0.50	0.00	0.00	0.00	1.25	3.25	11.30	53.25	12.50	11.23
1986	34.00	39.00	70.50	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	19.00	11.50	50.00	11.00	21.25
1987	38.50	64.00	65.00	7.00	3.00	6.00	0.00	0.00	16.00	68.00	14.00	87.00	30.71
1988	86.00	5.50	22.00	89.00	0.00	0.00	36.00	22.00	34.50	4.00		8.00	27.91
1989	37.00	3.00	25.00	0.00	0.00	0.00	8.00	0.00	1.25	18.00	0.10	7.50	8.32
1990	59.50		8.00	3.00	2.50	4.00	0.00	6.00	0.00			14.00	10.78
1991	29.20	0.00	171.20	0.10	0.00	0.00	12.85	8.50			10.60	18.10	25.06
1992	29.00			0.00	8.30	0.10	21.00	103.40	35.05	10.25	7.00	150.10	36.42
1993	231.25	129.25	22.00	19.75	8.00	3.00	2.00	44.50	0.05	2.55	34.50	31.65	44.04
1994	17.50	36.05	46.25	17.25	6.25	0.00	3.00	35.75	3.05	0.00	29.00	49.80	20.33
1995	94.50	37.60	66.00	48.00	18.30	0.55	0.10	11.55	20.90	0.00	0.00	9.20	25.56
1996						0.00	0.10	8.50	15.50	0.00	0.20	8.80	4.73
1997	9.00	28.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.05	19.05	45.15	0.00	8.00	65.00	14.69
1998	10.10	189.10	266.50	40.50	0.00	0.00	0.20	52.65	3.10	0.00	14.60	48.60	52.11
1999	15.00	4.10	35.50	34.50	2.50	0.00	5.50	11.00	5.00	0.00	0.00	3.00	9.68
2000	0.00	22.00	45.00	0.00	0.00	5.50	0.00	7.50	0.00	67.50	4.60	0.00	12.68
2001	65.00	127.00	68.50	30.00	11.50	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	26.50
2002	0.00	0.00	21.00	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	48.00	7.46
2003	2.00	109.00	29.50	35.00	0.00	0.00	17.00	7.50	3.00	16.00	0.00	0.00	18.25
2004	29.00	48.00	17.10	25.00	0.00	0.00	4.00	30.00	0.00	13.00	5.00	24.00	16.26
2005							0.00	0.00	10.50	5.00	0.00		3.10
Media	45.62	47.07	49.97	17.28	2.54	0.64	14.67	18.92	15.02	12.80	24.81	37.84	23.27

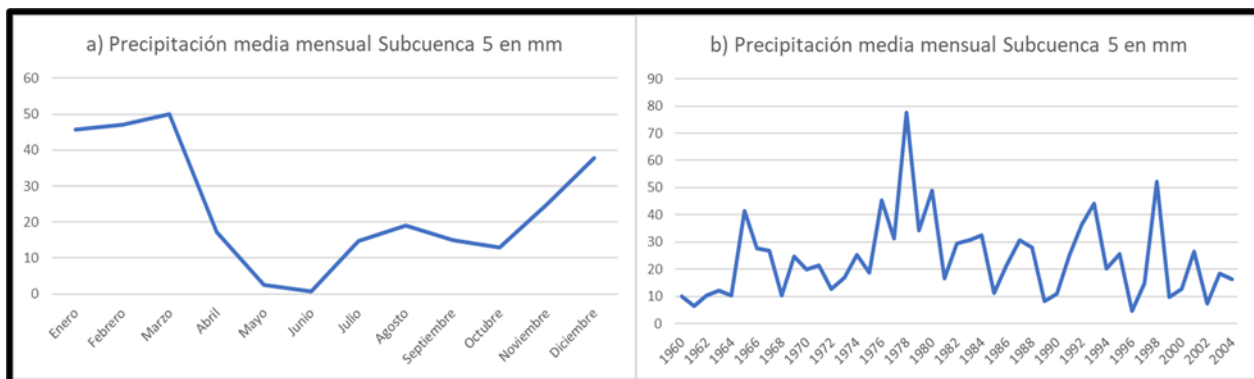


Figura 30. a) Precipitación media mensual subcuenca 5 mm/mes. b) Precipitación media anual Subcuenca 5 mm/año.

Al igual que en la subcuena 4 (y que el resto de las subcuencas), se tiene una menor precipitación en los meses de mayo y junio, comenzando precipitaciones más elevadas en el mes de julio y agosto, en octubre sufre una caída, pero a partir del mes de noviembre hasta el mes de marzo (que es donde se tienen precipitaciones mayores a los 50 mm), se tiene un período de precipitación grande para la zona (Figura 30 (a)). De la Figura 30(b), se puede interpretar que el punto más alto de precipitación se tuvo en 1978, pudiendo de hecho decirse que se tuvo una ligera inundación pues casi se alcanzan los 80 mm de altura de lluvia. El año donde menor precipitación se presentó fue el de 1996, pero esto probablemente se deba a que la estación no registró los datos de los meses de enero-mayo que es donde más precipitación se tiene, tomándose entonces los valores de 1989 y 2002 como los más bajos.

Por lo que se puede interpretar de las cinco subcuencas, es que los meses de mayo y junio se tienen los períodos de estiaje, mientras que los meses de noviembre a marzo presentan lluvias con mayor aporte de agua. Llama la atención el año de 1978, pues es en todas las subcuencas, el mes donde mayor precipitación se registró, al igual que en el período de tiempo 1978-1983.

4.3 Evapotranspiración

Se define evapotranspiración como el volumen de agua que desde el estado sólido o líquido pasa a la atmósfera a estado de vapor, bien por evaporación directa o bien por transpiración de las plantas. Habitualmente se expresa en mm para un tiempo determinado. La evapotranspiración es un parámetro difícil de estimar con precisión pues depende de factores ligados a la meteorología (precipitación, radiación solar y humedad del aire), de factores ligados a la vegetación (densidad, tipo y grado de desarrollo) y de factores ligados al suelo (textura y estructura), que condicionan su capacidad de almacenamiento de agua (Martínez, *et al*, 2006).

Thornthwaite & Wilms (1948) distinguen entre evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración real (ETR). La ETP es el volumen de agua que pasaría a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en el supuesto caso de que siempre hubiese la cantidad de agua necesaria disponible a tales efectos. No depende por lo tanto del valor de la precipitación ni de la cantidad de agua contenida en el suelo a disposición de las plantas (Martínez, *et al.*, 2006).

La ETR es el volumen de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor como consecuencia de la evaporación directa y de la transpiración de las plantas en función del volumen de agua disponible. La ETP siempre será mayor o igual a la ETR. Esta última está condicionada por la cantidad de agua disponible en un momento determinado (precipitación y contenido de humedad en el suelo) (Martínez, *et al.*, 2006).

La fórmula que se ocupó para obtener la Evapotranspiración fue la de Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985), la cual requiere datos de temperatura media, máxima, mínima (Anexo 3) y la radiación solar extraterrestre. Esta fórmula es particularmente útil en zonas áridas y semiáridas cuando no hay datos de humedad, viento y radiación neta.

$$ET_0 = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{máx} - T_{mín})^{0.5} Ra(mm/día)$$

Ecuación 1. Fórmula de Evapotranspiración de Hargreaves-Samani (1985).

Para aplicar la ecuación de Hargreaves-Samani (ecuación 2) se necesita convertir la radiación solar de MJ/m²día obtenida en el portal de NASA POWER de la NASA (National Aeronautics and Space Administration, 2025) a mm/día, y luego escalar a mm/mes. Para la conversión se debe primero convertir la radiación solar (Rs) a radiación extraterrestre (Ra). La fórmula de Hargreaves-Samani usa Ra, pero NASA POWER da los valores en Rs. Se debe ajustar Rs con un factor de atenuación (K_R), típico para zonas áridas o semiáridas (K_R=0.7). La fórmula (ecuación 3) para hacer esta corrección originalmente es de la FAO (Allen, *et al.*, 1998; Medina, *et al.*, 2016). Aquí se realiza una conversión a la fórmula original, quedando como se muestra en la ecuación 4. Una vez obtenido el valor de la Ra con el valor de atenuación de 0.7, se usa el calor latente de vaporización (λ=2.45 MJ/kg) para convertir Ra a mm/día.

$$R_s = K_R Ra$$

Ecuación 2. Fórmula para la determinación de la radiación solar.

$$Ra = R_s / K_R$$

Ecuación 3. Fórmula modificada para la determinación de la radiación extraterrestre.

NASA POWER solo tiene datos de radiación solar desde el año de 1984, por lo cual se simuló con inteligencia artificial de *DeepSeek* a los datos de radiación solar desde 1957 a 1983, manteniendo la misma tendencia, variabilidad estacional y patrones observados que se obtuvieron. Los valores generados están dentro del rango histórico (ejemplo. Mayo: 27.7-

29.5 en 1957-1983 y 28.0–30.4 en 1984-2022). Las unidades también están en MJ/m²/día, siendo los datos consistentes, manteniendo la misma media, desviación estándar y enlazando perfectamente el año de 1983 con el de 1984. Como ejemplo de la ecuación 5, se utilizaron datos de enero de 1957. La ecuación 6 quedó como:

$$Ra \left(mm/día \right) = \frac{Ra(MJ/m^2/día)}{\lambda} = \frac{Rs/K_R}{\lambda}$$

Ecuación 4. Fórmula de radiación extraterrestre.

$$Ra \left(mm/día \right) = \frac{17.29}{2.45} = 7.06 \text{ mm/día}$$

Ecuación 5. Ejemplo de la fórmula de radiación con los datos de enero de 1957.

Ahora se procede a aplicar la ecuación 7 de Hargreaves-Samani (1985) con los datos de temperatura media, máxima y mínima media mensual obtenida también de las estaciones climatológicas como los datos de precipitación.

$$ET_0 \left(mm/día \right) = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{máx} - T_{mín})^{0.5} Ra(mm/día)$$

$$ET_0 \left(mm/día \right) = 0.0023(12.38 + 17.8)(18.63 - 5.73)^{0.5}(7.06)$$

$$ET_0 \left(mm/día \right) = 0.0023(30.18)(3.59)(7.06)$$

$$ET_0 \left(mm/día \right) = 1.76(mm/día)$$

Ecuación 6. Fórmula de Hargreaves-Samani aplicada.

Ahora se procede a escalar a la evapotranspiración mensual, esta se obtiene multiplicando por la cantidad de días en el mes que se desee sacar, para fines del presente trabajo, se utilizó un promedio de 30 días.

$$ET_0 \left(mm/mes \right) = ET_0 \left(mm/día \right) (30 \text{ días})$$

$$ET_0 \left(mm/mes \right) = (1.76)(30 \text{ días})$$

$$ET_0 \left(mm/mes \right) = 52.77 \left(mm/mes \right)$$

Ecuación 7. Fórmula de evapotranspiración mensual.

Los valores son razonables para climas semiáridos en invierno (recordando que es el valor de enero de 1957). No se debe de multiplicar Ra directamente por los días del mes, primero se debe de calcular la ET₀ diaria y luego se escala. La ET₀ esperada en un clima semiárido para este mes en la Cuenca del Rio Colorado es de entre 50-70 mm/mes. En las Tablas 19,

20, 21 y 22 se muestran los datos de R_s mensual-anual obtenidos de NASA POWER, la R_a obtenida mensual-anual, la evapotranspiración media diaria mensual obtenida tras la aplicación de la ecuación 7, y, la evapotranspiración media mensual al aplicarse la ecuación 8, que se observa en el siguiente apartado.

4.3.1 Evapotranspiración Media Anual.

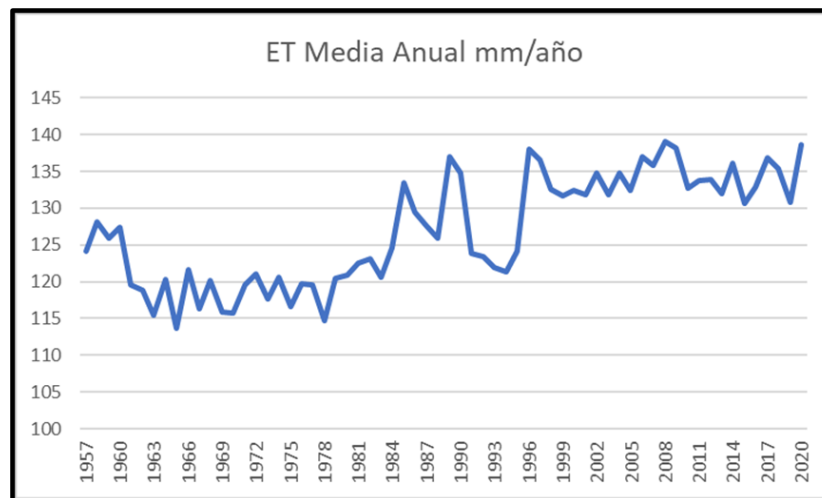


Figura 31. Evapotranspiración media anual mm/día.

En la Figura 31, se muestra la ET_0 media anual de la cuenca. Se muestra una tendencia ascendente desde 1964 hasta 2009 donde parece estabilizarse, y luego comienza a descender, llama la atención los picos de entre 1984 y 1990, así como la caída en 1995.

Tabla 19. Rs Mensual-Anual obtenido de NASA POWER e Inteligencia Artificial en mm/mes y mm/año.

Año	Rs Mensual-Anual												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1957	12.10	15.20	19.80	24.50	27.90	28.50	26.20	24.80	21.50	17.00	13.00	10.20	20.06
1958	12.30	15.40	20.00	24.70	28.10	28.70	26.40	25.00	21.70	17.20	13.20	10.40	20.26
1959	12.00	15.00	19.60	24.30	27.70	28.30	26.00	24.60	21.30	16.80	12.80	10.00	19.87
1960	12.50	15.60	20.20	25.00	28.40	29.00	26.70	25.30	22.00	17.50	13.50	10.70	20.53
1961	12.20	15.30	19.90	24.60	28.00	28.60	26.30	24.90	21.60	17.10	13.10	10.30	20.16
1962	12.40	15.50	20.10	24.80	28.20	28.80	26.50	25.10	21.80	17.30	13.30	10.50	20.36
1963	12.10	15.20	19.80	24.50	27.90	28.50	26.20	24.80	21.50	17.00	13.00	10.20	20.06
1964	12.60	15.70	20.30	25.10	28.50	29.10	26.80	25.40	22.10	17.60	13.60	10.80	20.63
1965	12.30	15.40	20.00	24.70	28.10	28.70	26.40	25.00	21.70	17.20	13.20	10.40	20.26
1966	12.70	15.80	20.40	25.20	28.60	29.20	26.90	25.50	22.20	17.70	13.70	10.90	20.73
1967	12.40	15.50	20.10	24.80	28.20	28.80	26.50	25.10	21.80	17.30	13.30	10.50	20.36
1968	12.80	15.90	20.50	25.30	28.70	29.30	27.00	25.60	22.30	17.80	13.80	11.00	20.83
1969	12.50	15.60	20.20	25.00	28.40	29.00	26.70	25.30	22.00	17.50	13.50	10.70	20.53
1970	12.20	15.30	19.90	24.60	28.00	28.60	26.30	24.90	21.60	17.10	13.10	10.30	20.16
1971	12.90	16.00	20.60	25.40	28.80	29.40	27.10	25.70	22.40	17.90	13.90	11.10	20.93
1972	12.60	15.70	20.30	25.10	28.50	29.10	26.80	25.40	22.10	17.60	13.60	10.80	20.63
1973	12.30	15.40	20.00	24.70	28.10	28.70	26.40	25.00	21.70	17.20	13.20	10.40	20.26
1974	12.70	15.80	20.40	25.20	28.60	29.20	26.90	25.50	22.20	17.70	13.70	10.90	20.73
1975	12.40	15.50	20.10	24.80	28.20	28.80	26.50	25.10	21.80	17.30	13.30	10.50	20.36
1976	12.80	15.90	20.50	25.30	28.70	29.30	27.00	25.60	22.30	17.80	13.80	11.00	20.83
1977	12.50	15.60	20.20	25.00	28.40	29.00	26.70	25.30	22.00	17.50	13.50	10.70	20.53
1978	12.20	15.30	19.90	24.60	28.00	28.60	26.30	24.90	21.60	17.10	13.10	10.30	20.16
1979	12.90	16.00	20.60	25.40	28.80	29.40	27.10	25.70	22.40	17.90	13.90	11.10	20.93
1980	12.80	16.00	20.80	25.80	29.30	29.90	27.60	26.20	22.90	18.40	14.40	11.60	21.31
1981	12.60	15.80	20.60	25.60	29.10	29.70	27.40	26.00	22.70	18.20	14.20	11.40	21.11
1982	12.90	16.10	20.90	26.00	29.50	30.10	27.80	26.40	23.10	18.60	14.60	11.80	21.48
1983	12.70	15.90	20.70	25.70	29.20	29.80	27.50	26.10	22.80	18.30	14.30	11.50	21.21
1984	12.48	16.56	20.39	24.76	30.25	29.82	26.47	24.95	22.04	17.36	12.83	9.56	20.62
1985	12.04	15.29	20.87	27.40	30.22	31.74	28.70	26.73	22.94	16.84	12.45	12.04	21.44
1986	12.65	15.72	20.53	27.00	29.59	29.78	28.25	24.94	22.51	18.01	13.94	11.49	21.20
1987	12.65	15.96	20.68	26.08	28.05	31.63	28.29	26.24	21.94	16.42	13.79	10.46	21.02
1988	11.31	15.30	21.29	23.01	29.09	28.90	24.75	25.29	22.14	17.24	14.14	12.02	20.37
1989	12.01	16.52	21.21	26.77	29.71	30.37	29.01	26.72	23.72	18.45	14.62	12.13	21.77
1990	13.27	16.63	20.46	26.28	28.35	30.96	27.51	26.63	22.71	18.65	14.45	11.64	21.46
1991	12.59	16.72	19.99	27.61	26.83	27.93	27.76	25.28	21.80	18.36	14.24	10.71	20.82
1992	12.78	15.84	20.30	25.09	29.61	26.89	26.33	24.74	22.38	17.85	13.89	10.95	20.55
1993	11.38	14.55	20.82	26.40	28.42	30.84	28.08	25.40	23.72	17.45	13.72	12.34	21.09
1994	13.67	16.25	20.80	23.98	26.95	30.07	26.73	24.79	21.37	18.92	14.01	10.48	20.67
1995	11.52	16.57	21.16	25.33	27.72	30.11	28.11	24.94	22.87	19.24	14.53	11.98	21.17
1996	12.51	15.04	21.46	27.82	28.89	30.58	27.78	26.93	21.93	18.92	14.46	12.41	21.56
1997	12.62	16.72	22.68	25.84	28.18	30.28	28.28	26.05	21.01	19.73	14.24	11.74	21.45
1998	13.21	16.07	21.32	28.08	29.03	31.12	29.10	25.72	22.83	19.00	14.10	12.48	21.84
1999	13.70	16.78	22.11	25.29	28.65	30.27	26.57	25.95	22.70	19.91	14.79	12.52	21.60
2000	13.08	15.36	20.77	27.36	30.21	28.25	27.30	25.31	23.00	17.92	13.95	12.16	21.22
2001	12.99	16.42	21.73	25.94	29.67	29.89	27.98	25.18	23.15	17.90	13.51	12.09	21.37
2002	13.21	17.45	22.78	26.31	29.87	31.15	27.99	26.88	22.71	18.63	14.12	11.55	21.89
2003	13.47	15.41	21.84	27.14	28.49	31.17	26.77	23.94	22.71	18.58	13.38	12.11	21.25
2004	12.68	16.84	21.73	26.44	30.06	31.54	28.30	26.57	23.52	17.95	13.85	11.68	21.76
2005	11.97	13.75	21.72	26.69	28.97	30.94	28.72	25.23	23.39	18.23	13.91	11.30	21.24
2006	13.83	16.69	20.44	26.47	29.64	28.94	26.68	26.85	23.20	18.58	14.69	12.52	21.54
2007	13.63	17.15	21.78	26.08	29.86	30.58	26.69	25.66	22.85	18.98	13.61	12.47	21.61
2008	12.93	17.19	22.98	27.89	29.55	31.08	28.15	24.73	22.69	19.41	14.37	11.10	21.84
2009	13.98	16.84	22.57	26.69	28.65	28.20	27.97	26.56	23.24	18.92	14.23	11.26	21.59
2010	12.45	15.99	22.35	26.48	30.40	31.31	27.85	26.37	23.62	17.79	15.01	10.62	21.69
2011	14.00	17.17	21.80	26.59	30.30	31.08	28.47	26.72	22.17	18.92	14.23	12.05	21.96
2012	13.19	17.47	22.26	26.56	30.16	31.10	26.35	24.22	21.38	18.86	14.20	12.31	21.51
2013	13.00	18.00	21.42	27.43	29.40	30.50	25.61	24.73	22.94	19.47	13.63	12.43	21.55
2014	13.39	16.06	22.22	26.43	29.63	30.90	28.07	25.25	22.30	18.10	15.02	10.75	21.51
2015	12.23	17.31	21.71	26.98	28.58	28.46	27.75	26.10	20.85	17.32	14.95	12.57	21.23
2016	12.70	18.12	22.16	25.91	29.66	29.49	28.80	26.37	21.56	18.44	13.87	11.16	21.52
2017	12.56	15.40	22.32	26.74	28.99	30.85	27.37	26.55	22.37	19.14	12.69	12.04	21.42
2018	13.31	16.75	20.75	26.08	30.08	30.48	26.80	25.75	23.16	17.60	14.37	11.33	21.37
2019	12.45	15.91	20.89	26.24	28.28	30.28	27.44	26.76	22.78	19.86	13.38	10.62	21.24
2020	13.65	16.99	19.76	26.29	30.13	31.08	29.47	25.69	22.79	18.58	14.26	11.86	21.71
2021	12.88	17.32	22.15	26.22	29.92	29.72	25.21	25.04	21.76	18.35	14.06	11.35	21.17
2022	12.99	18.14	22.34	27.26	30.10	29.90	26.59	24.29	20.87	18.41	14.75	11.40	21.42

Tabla 20. Ra mensual-anual en mm/día.

Año	Ra Mensual-Anual convertido a mm/día												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	7.06	8.86	11.55	14.29	16.27	16.62	15.28	14.46	12.54	9.91	7.58	5.95	11.70
1958	7.17	8.98	11.66	14.40	16.38	16.73	15.39	14.58	12.65	10.03	7.70	6.06	11.81
1959	7.00	8.75	11.43	14.17	16.15	16.50	15.16	14.34	12.42	9.80	7.46	5.83	11.58
1960	7.29	9.10	11.78	14.58	16.56	16.91	15.57	14.75	12.83	10.20	7.87	6.24	11.97
1961	7.11	8.92	11.60	14.34	16.33	16.68	15.34	14.52	12.59	9.97	7.64	6.01	11.75
1962	7.23	9.04	11.72	14.46	16.44	16.79	15.45	14.64	12.71	10.09	7.76	6.12	11.87
1963	7.06	8.86	11.55	14.29	16.27	16.62	15.28	14.46	12.54	9.91	7.58	5.95	11.70
1964	7.35	9.15	11.84	14.64	16.62	16.97	15.63	14.81	12.89	10.26	7.93	6.30	12.03
1965	7.17	8.98	11.66	14.40	16.38	16.73	15.39	14.58	12.65	10.03	7.70	6.06	11.81
1966	7.41	9.21	11.90	14.69	16.68	17.03	15.69	14.87	12.94	10.32	7.99	6.36	12.09
1967	7.23	9.04	11.72	14.46	16.44	16.79	15.45	14.64	12.71	10.09	7.76	6.12	11.87
1968	7.46	9.27	11.95	14.75	16.73	17.08	15.74	14.93	13.00	10.38	8.05	6.41	12.15
1969	7.29	9.10	11.78	14.58	16.56	16.91	15.57	14.75	12.83	10.20	7.87	6.24	11.97
1970	7.11	8.92	11.60	14.34	16.33	16.68	15.34	14.52	12.59	9.97	7.64	6.01	11.75
1971	7.52	9.33	12.01	14.81	16.79	17.14	15.80	14.99	13.06	10.44	8.10	6.47	12.21
1972	7.35	9.15	11.84	14.64	16.62	16.97	15.63	14.81	12.89	10.26	7.93	6.30	12.03
1973	7.17	8.98	11.66	14.40	16.38	16.73	15.39	14.58	12.65	10.03	7.70	6.06	11.81
1974	7.41	9.21	11.90	14.69	16.68	17.03	15.69	14.87	12.94	10.32	7.99	6.36	12.09
1975	7.23	9.04	11.72	14.46	16.44	16.79	15.45	14.64	12.71	10.09	7.76	6.12	11.87
1976	7.46	9.27	11.95	14.75	16.73	17.08	15.74	14.93	13.00	10.38	8.05	6.41	12.15
1977	7.29	9.10	11.78	14.58	16.56	16.91	15.57	14.75	12.83	10.20	7.87	6.24	11.97
1978	7.11	8.92	11.60	14.34	16.33	16.68	15.34	14.52	12.59	9.97	7.64	6.01	11.75
1979	7.52	9.33	12.01	14.81	16.79	17.14	15.80	14.99	13.06	10.44	8.10	6.47	12.21
1980	7.46	9.33	12.13	15.04	17.08	17.43	16.09	15.28	13.35	10.73	8.40	6.76	12.42
1981	7.35	9.21	12.01	14.93	16.97	17.32	15.98	15.16	13.24	10.61	8.28	6.65	12.31
1982	7.52	9.39	12.19	15.16	17.20	17.55	16.21	15.39	13.47	10.85	8.51	6.88	12.53
1983	7.41	9.27	12.07	14.99	17.03	17.38	16.03	15.22	13.29	10.67	8.34	6.71	12.37
1984	7.28	9.66	11.89	14.44	17.64	17.39	15.43	14.55	12.85	10.12	7.48	5.57	12.02
1985	7.02	8.92	12.17	15.98	17.62	18.51	16.73	15.59	13.38	9.82	7.26	7.02	12.50
1986	7.38	9.17	11.97	15.74	17.25	17.36	16.47	14.54	13.13	10.50	8.13	6.70	12.36
1987	7.38	9.31	12.06	15.21	16.36	18.44	16.50	15.30	12.79	9.57	8.04	6.10	12.25
1988	6.59	8.92	12.41	13.42	16.96	16.85	14.43	14.75	12.91	10.05	8.24	7.01	11.88
1989	7.00	9.63	12.37	15.61	17.32	17.71	16.92	15.58	13.83	10.76	8.52	7.07	12.69
1990	7.74	9.70	11.93	15.32	16.53	18.05	16.04	15.53	13.24	10.87	8.43	6.79	12.51
1991	7.34	9.75	11.66	16.10	15.64	16.29	16.19	14.74	12.71	10.71	8.30	6.24	12.14
1992	7.45	9.24	11.84	14.63	17.27	15.68	15.35	14.43	13.05	10.41	8.10	6.38	11.98
1993	6.64	8.48	12.14	15.39	16.57	17.98	16.37	14.81	13.83	10.17	8.00	7.20	12.30
1994	7.97	9.48	12.13	13.98	15.71	17.53	15.59	14.45	12.46	11.03	8.17	6.11	12.05
1995	6.72	9.66	12.34	14.77	16.16	17.56	16.39	14.54	13.34	11.22	8.47	6.99	12.35
1996	7.29	8.77	12.51	16.22	16.85	17.83	16.20	15.70	12.79	11.03	8.43	7.24	12.57
1997	7.36	9.75	13.22	15.07	16.43	17.66	16.49	15.19	12.25	11.50	8.30	6.85	12.51
1998	7.70	9.37	12.43	16.37	16.93	18.15	16.97	15.00	13.31	11.08	8.22	7.28	12.73
1999	7.99	9.78	12.89	14.75	16.71	17.65	15.49	15.13	13.24	11.61	8.62	7.30	12.60
2000	7.63	8.96	12.11	15.95	17.62	16.47	15.92	14.76	13.41	10.45	8.13	7.09	12.37
2001	7.57	9.57	12.67	15.13	17.30	17.43	16.31	14.68	13.50	10.44	7.88	7.05	12.46
2002	7.70	10.17	13.28	15.34	17.42	18.16	16.32	15.67	13.24	10.86	8.23	6.73	12.76
2003	7.85	8.99	12.73	15.83	16.61	18.17	15.61	13.96	13.24	10.83	7.80	7.06	12.39
2004	7.39	9.82	12.67	15.42	17.53	18.39	16.50	15.49	13.71	10.47	8.08	6.81	12.69
2005	6.98	8.02	12.66	15.56	16.89	18.04	16.75	14.71	13.64	10.63	8.11	6.59	12.38
2006	8.06	9.73	11.92	15.43	17.28	16.87	15.56	15.66	13.53	10.83	8.57	7.30	12.56
2007	7.95	10.00	12.70	15.21	17.41	17.83	15.56	14.96	13.32	11.07	7.94	7.27	12.60
2008	7.54	10.02	13.40	16.26	17.23	18.12	16.41	14.42	13.23	11.32	8.38	6.47	12.73
2009	8.15	9.82	13.16	15.56	16.71	16.44	16.31	15.49	13.55	11.03	8.30	6.57	12.59
2010	7.26	9.32	13.03	15.44	17.73	18.26	16.24	15.38	13.77	10.37	8.75	6.19	12.65
2011	8.16	10.01	12.71	15.50	17.67	18.12	16.60	15.58	12.93	11.03	8.30	7.03	12.80
2012	7.69	10.19	12.98	15.49	17.59	18.13	15.36	14.12	12.47	11.00	8.28	7.18	12.54
2013	7.58	10.50	12.49	15.99	17.14	17.78	14.93	14.42	13.38	11.35	7.95	7.25	12.56
2014	7.81	9.36	12.96	15.41	17.28	18.02	16.37	14.72	13.00	10.55	8.76	6.27	12.54
2015	7.13	10.09	12.66	15.73	16.66	16.59	16.18	15.22	12.16	10.10	8.72	7.33	12.38
2016	7.41	10.57	12.92	15.11	17.29	17.20	16.79	15.38	12.57	10.75	8.09	6.51	12.55
2017	7.32	8.98	13.01	15.59	16.90	17.99	15.96	15.48	13.04	11.16	7.40	7.02	12.49
2018	7.76	9.77	12.10	15.21	17.54	17.77	15.63	15.01	13.50	10.26	8.38	6.61	12.46
2019	7.26	9.28	12.18	15.30	16.49	17.66	16.00	15.60	13.28	11.58	7.80	6.19	12.39
2020	7.96	9.91	11.52	15.33	17.57	18.12	17.18	14.98	13.29	10.83	8.31	6.92	12.66
2021	7.51	10.10	12.92	15.29	17.45	17.33	14.70	14.60	12.69	10.70	8.20	6.62	12.34
2022	7.57	10.58	13.03	15.90	17.55	17.43	15.50	14.16	12.17	10.73	8.60	6.65	12.49

Tabla 21. Evapotranspiración media diaria mensual en mm.

Año	Evapotranspiración media diaria mensual												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1957	1.76	2.60	3.46	4.41	5.46	6.93	6.67	5.98	5.09	3.25	2.24	1.85	4.14
1958	2.13	2.55	3.12	4.69	6.17	6.51	6.50	5.91	5.22	3.90	2.53	2.06	4.27
1959	2.07	2.26	3.77	4.86	5.66	6.72	6.22	5.88	4.94	3.67	2.61	1.70	4.20
1960	1.82	2.44	3.70	4.93	5.82	6.90	6.57	5.94	5.18	3.59	2.36	1.73	4.25
1961	2.03	2.61	3.33	4.67	5.31	6.26	5.85	5.48	4.73	3.61	2.30	1.62	3.98
1962	1.96	2.31	3.09	4.86	5.37	6.07	5.87	5.76	4.70	3.47	2.38	1.68	3.96
1963	1.71	2.61	3.21	4.10	5.35	5.52	5.96	5.30	4.89	3.43	2.29	1.84	3.85
1964	1.94	2.55	3.21	4.29	5.62	6.27	6.27	5.55	4.80	3.74	2.24	1.67	4.01
1965	1.86	2.38	3.03	4.11	5.09	5.38	5.83	5.68	4.58	3.79	2.19	1.53	3.79
1966	1.83	2.31	3.55	4.68	5.58	6.15	6.10	5.82	4.89	3.63	2.39	1.71	4.05
1967	1.97	2.67	3.43	3.84	5.45	5.67	5.86	5.79	4.40	3.68	2.32	1.46	3.88
1968	1.94	2.60	3.37	4.41	5.54	6.07	5.78	5.62	4.89	3.67	2.45	1.70	4.00
1969	1.84	2.13	3.22	4.44	5.46	5.45	5.83	5.86	4.87	3.34	2.23	1.67	3.86
1970	1.85	2.47	3.10	4.05	5.58	5.85	6.05	5.47	4.74	3.28	2.33	1.53	3.86
1971	1.97	2.50	3.59	4.30	5.09	6.18	6.33	5.71	5.00	3.31	2.32	1.53	3.99
1972	1.98	2.72	3.86	4.85	5.52	6.02	6.37	5.76	4.60	3.03	2.13	1.57	4.03
1973	1.76	2.22	2.73	4.18	5.55	6.48	5.99	5.66	4.84	3.66	2.27	1.72	3.92
1974	1.80	2.57	3.30	4.61	5.40	6.66	5.98	5.83	4.80	3.33	2.36	1.63	4.02
1975	1.93	2.37	3.10	3.76	5.27	6.02	5.91	5.90	4.90	3.39	2.40	1.68	3.89
1976	2.13	2.35	3.32	4.16	5.59	6.53	5.88	5.87	4.18	3.53	2.54	1.83	3.99
1977	1.78	2.78	3.07	4.57	4.88	6.41	6.26	5.43	4.82	3.55	2.56	1.72	3.99
1978	1.65	2.16	2.95	3.85	5.43	6.55	6.16	5.57	4.59	3.49	2.01	1.44	3.82
1979	1.60	2.32	3.08	4.48	5.30	6.46	6.24	5.53	5.22	3.58	2.45	1.90	4.01
1980	1.80	2.45	3.04	4.38	4.79	6.56	6.32	5.78	4.85	3.71	2.64	2.04	4.03
1981	2.01	2.63	3.09	4.41	5.22	6.72	6.21	6.00	4.93	3.33	2.54	1.92	4.08
1982	3.01	2.49	3.12	4.59	5.38	5.89	6.32	5.89	4.83	3.79	2.28	1.69	4.11
1983	3.06	2.31	2.98	4.04	5.61	6.01	6.25	5.52	4.87	3.52	2.37	1.73	4.02
1984	3.06	2.76	3.68	4.38	6.74	6.43	5.78	5.42	4.97	3.23	2.11	1.27	4.15
1985	2.87	2.37	3.29	5.37	6.10	7.61	6.96	6.65	4.89	3.31	2.01	1.94	4.45
1986	3.34	2.51	3.58	5.10	6.00	6.69	6.31	5.82	4.66	3.50	2.47	1.82	4.32
1987	3.18	2.45	3.38	5.09	5.42	6.94	6.39	5.98	5.07	3.32	2.28	1.51	4.25
1988	3.15	2.56	3.80	4.12	5.87	6.27	5.78	5.79	5.00	3.68	2.47	1.88	4.20
1989	3.21	2.65	3.92	5.42	6.10	6.76	6.71	5.91	5.59	3.69	2.78	2.08	4.57
1990	3.72	2.49	3.44	4.80	5.85	7.24	6.60	6.12	5.18	4.05	2.68	1.77	4.49
1991	3.51	2.96	2.92	4.76	5.17	5.69	5.94	5.60	4.84	3.93	2.64	1.59	4.13
1992	1.95	2.57	3.22	4.90	5.72	5.84	6.05	5.94	5.42	3.73	2.47	1.58	4.12
1993	1.57	2.12	3.47	4.98	5.47	6.39	5.82	5.61	5.24	3.59	2.45	2.05	4.06
1994	2.27	2.49	3.53	4.32	5.04	6.76	5.97	5.77	4.79	3.79	2.26	1.57	4.05
1995	1.63	2.75	3.52	4.51	4.82	6.08	6.52	5.89	5.25	3.98	2.76	1.96	4.14
1996	3.79	2.42	3.82	5.60	6.07	7.10	6.56	6.45	4.88	3.82	2.62	2.09	4.60
1997	3.61	2.74	4.50	4.82	6.26	6.52	6.64	6.16	4.77	4.06	2.58	1.98	4.55
1998	3.85	2.34	3.46	4.87	5.34	6.54	6.85	6.29	5.04	3.90	2.55	1.98	4.42
1999	4.16	2.73	3.51	4.16	5.39	6.24	5.86	5.96	4.97	4.61	2.88	2.17	4.39
2000	3.87	2.51	3.47	5.44	6.36	6.27	6.27	5.85	5.21	3.30	2.29	2.12	4.41
2001	3.46	2.46	3.58	4.46	6.24	6.87	6.46	5.84	5.26	3.78	2.36	1.95	4.39
2002	3.65	3.10	3.91	4.72	5.76	6.84	6.29	6.33	5.21	3.58	2.67	1.83	4.49
2003	4.18	2.35	3.72	4.71	5.70	6.50	6.27	5.54	5.25	4.14	2.31	2.06	4.39
2004	3.66	2.61	4.00	4.87	6.36	6.82	6.52	6.16	5.51	3.35	2.23	1.82	4.49
2005	3.34	1.92	3.56	4.95	5.94	6.63	6.79	5.99	5.49	3.74	2.64	1.99	4.41
2006	4.10	2.90	3.15	4.72	6.11	6.83	6.49	6.38	5.43	3.76	2.84	2.08	4.57
2007	3.85	2.75	3.96	4.70	6.11	7.01	6.27	6.25	5.11	4.01	2.48	1.86	4.53
2008	3.45	2.66	4.16	5.42	5.84	7.43	6.67	5.81	5.33	4.39	2.73	1.73	4.64
2009	4.18	2.67	3.94	4.95	6.25	5.83	6.83	6.65	5.72	3.91	2.67	1.64	4.60
2010	3.54	2.34	3.67	4.58	5.94	6.85	6.47	6.44	5.71	3.32	2.54	1.70	4.42
2011	4.03	2.47	3.62	4.88	5.76	6.74	6.57	6.46	5.04	3.86	2.30	1.77	4.46
2012	4.14	2.74	3.72	4.72	6.22	6.95	6.08	5.58	4.93	3.94	2.63	1.90	4.46
2013	3.61	2.68	3.84	5.04	5.94	6.95	5.81	5.63	5.16	3.81	2.35	1.97	4.40
2014	4.25	2.78	3.92	5.05	6.16	6.95	6.38	5.73	5.07	3.80	2.70	1.61	4.53
2015	3.80	3.09	4.13	5.20	4.92	6.23	6.01	6.09	4.72	3.56	2.60	1.93	4.36
2016	3.66	3.34	3.91	4.87	5.36	6.57	6.72	6.00	4.60	3.76	2.59	1.74	4.43
2017	3.74	2.40	4.07	5.39	5.58	7.15	6.43	6.22	4.92	4.23	2.44	2.16	4.56
2018	4.34	2.72	3.53	5.15	5.76	6.88	6.48	6.05	5.45	3.41	2.61	1.76	4.51
2019	3.76	2.27	3.45	5.05	5.00	6.55	6.42	6.53	5.08	4.25	2.44	1.52	4.36
2020	4.02	2.72	2.92	4.70	6.49	7.02	7.04	6.29	5.61	4.07	2.62	1.96	4.62
2021	1.99	2.74	3.45	4.66	5.72	6.36	5.29	5.44	4.60	3.70	2.64	1.83	4.03
2022	2.02	2.85	3.73	5.03	6.22	6.76	5.96	5.36	4.56	3.63	2.42	1.77	4.19

4.3.2 Evapotranspiración Media Mensual

Como se mencionó en el apartado anterior, en la Tabla 22 se muestran los datos de la evapotranspiración media mensual. En la Figura 32 se muestra una gráfica que muestra la tendencia de la ET_0 de manera mensual-anual.

Tabla 22. Evapotranspiración media mensual en mm/mes.

Año	Evapotranspiración media mensual												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1957	52.77	77.91	103.66	132.31	163.79	207.76	200.13	179.44	152.59	97.56	67.26	55.47	124.22
1958	63.85	76.44	93.46	140.81	185.22	195.28	194.91	177.25	156.59	116.93	75.98	61.67	128.20
1959	62.04	67.92	113.14	145.84	169.83	201.48	186.49	176.27	148.14	110.09	78.30	51.08	125.89
1960	54.70	73.19	110.97	147.80	174.49	207.07	197.04	178.21	155.26	107.73	70.89	52.00	127.45
1961	60.81	78.29	99.94	140.25	159.31	187.75	175.57	164.45	141.82	108.29	68.93	48.63	119.50
1962	58.67	69.31	92.85	145.67	161.20	182.13	176.23	172.92	140.92	104.06	71.49	50.50	118.83
1963	51.32	78.22	96.16	123.11	160.55	165.74	178.78	159.02	146.58	102.78	68.71	55.17	115.51
1964	58.18	76.40	96.23	128.79	168.47	188.19	188.21	166.38	144.05	112.15	67.19	50.01	120.35
1965	55.79	71.48	90.86	123.23	152.65	161.30	175.00	170.50	137.49	113.76	65.82	45.91	113.65
1966	54.93	69.27	106.60	140.47	167.33	184.52	182.96	174.74	146.62	108.85	71.85	51.21	121.61
1967	58.98	80.22	102.77	115.20	163.46	170.20	175.89	173.75	131.90	110.39	69.72	43.73	116.35
1968	58.06	78.14	101.21	132.25	166.06	182.23	173.46	168.67	146.63	110.16	73.43	50.85	120.10
1969	55.15	63.90	96.46	133.20	163.84	163.48	174.92	175.83	146.03	100.29	66.98	50.18	115.86
1970	55.55	74.09	93.01	121.36	167.35	175.48	181.64	164.11	142.30	98.43	69.78	45.95	115.75
1971	59.02	75.09	107.82	129.10	152.80	185.40	189.84	171.36	150.12	99.29	69.73	45.89	119.62
1972	59.42	81.74	115.73	145.57	165.51	180.52	191.19	172.81	137.95	90.97	63.83	47.04	121.02
1973	52.65	66.73	81.94	125.50	166.54	194.54	179.82	169.70	145.07	109.80	68.03	51.67	117.67
1974	53.86	76.95	98.91	138.27	162.12	199.72	179.34	174.81	144.04	99.75	70.82	48.78	120.61
1975	57.77	70.95	93.14	112.90	158.04	180.49	177.38	177.09	147.13	101.83	71.98	50.48	116.60
1976	63.79	70.36	99.63	124.91	167.63	195.86	176.26	176.07	125.46	105.97	76.10	54.83	119.74
1977	53.55	83.30	92.07	137.19	146.48	192.25	187.78	162.90	144.47	106.39	76.88	51.57	119.57
1978	49.60	64.72	88.53	115.39	162.86	196.62	184.90	167.02	137.77	104.81	60.33	43.31	114.66
1979	48.09	69.58	92.30	134.35	158.93	193.65	187.20	165.83	156.72	107.33	73.51	57.15	120.39
1980	54.03	73.64	91.24	131.46	143.81	196.66	189.55	173.52	145.39	111.17	79.12	61.08	120.89
1981	60.31	78.76	92.73	132.35	156.70	201.67	186.24	180.12	147.80	99.86	76.10	57.57	122.52
1982	90.43	74.63	93.55	137.61	161.46	176.71	189.51	176.65	144.97	113.66	68.29	50.68	123.18
1983	91.68	69.37	89.35	121.29	168.37	180.20	187.52	165.52	146.06	105.47	71.20	51.78	120.65
1984	91.74	82.78	110.46	131.32	202.24	192.81	173.49	162.46	149.18	96.97	63.20	38.16	124.57
1985	86.09	71.23	98.74	161.22	182.92	228.21	208.83	199.47	146.60	99.26	60.34	58.08	133.42
1986	100.31	75.43	107.44	153.06	179.89	200.75	189.39	174.51	139.67	105.03	74.17	54.51	129.51
1987	95.34	73.42	101.27	152.74	162.54	208.09	191.78	179.55	151.95	99.57	68.47	45.19	127.49
1988	94.47	76.84	114.10	123.50	176.02	188.25	173.35	173.65	149.98	110.40	74.22	56.37	125.93
1989	96.21	79.37	117.74	162.53	182.90	202.84	201.32	177.40	167.58	110.66	83.51	62.40	137.04
1990	111.51	74.79	103.11	143.88	175.60	217.21	198.07	183.57	155.35	121.40	80.47	53.15	134.84
1991	105.19	88.73	87.59	142.81	155.04	170.64	178.17	167.86	145.32	117.98	79.05	47.75	123.84
1992	58.41	77.12	96.48	147.13	171.60	175.30	181.56	178.09	162.59	111.98	74.16	47.26	123.47
1993	47.01	63.69	104.05	149.45	164.11	191.78	174.63	168.20	157.21	107.56	73.37	61.52	121.88
1994	68.05	74.63	105.76	129.59	151.09	202.77	179.10	173.00	143.64	113.64	67.90	47.22	121.36
1995	49.04	82.38	105.58	135.20	144.48	182.26	195.74	176.78	157.55	119.52	82.95	58.71	124.18
1996	113.69	72.72	114.51	168.11	182.06	213.11	196.73	193.40	146.39	114.72	78.68	62.72	138.07
1997	108.28	82.34	134.87	144.71	187.80	195.53	199.19	184.85	143.14	121.83	77.40	59.35	136.61
1998	115.45	70.09	103.83	146.11	160.10	196.18	205.41	188.85	151.22	116.86	76.61	59.41	132.51
1999	124.93	82.00	105.29	124.77	161.74	187.10	175.77	178.87	149.24	138.24	86.35	65.04	131.61
2000	116.21	75.16	104.13	163.24	190.81	188.18	188.09	175.62	156.16	98.92	68.68	63.72	132.41
2001	103.79	73.85	107.37	133.78	187.08	206.09	193.85	175.20	157.82	113.38	70.91	58.37	131.79
2002	109.64	92.98	117.27	141.69	172.73	205.08	188.82	189.95	156.44	107.36	80.14	54.92	134.75
2003	125.34	70.40	111.50	141.26	171.05	194.86	188.13	166.22	157.59	124.12	69.32	61.94	131.81
2004	109.73	78.39	120.07	146.02	190.78	204.50	195.53	184.69	165.32	100.41	66.98	54.64	134.76
2005	100.05	57.67	106.67	148.47	178.11	198.85	203.85	179.57	164.73	112.12	79.12	59.83	132.42
2006	122.96	86.90	94.56	141.54	183.35	205.03	194.61	191.47	162.83	112.75	85.15	62.47	136.97
2007	115.51	82.41	118.84	141.03	183.21	210.27	188.16	187.37	153.19	120.21	74.28	55.69	135.85
2008	103.63	79.67	124.86	162.72	175.28	222.92	200.07	174.27	159.95	131.62	81.83	51.77	139.05
2009	125.51	80.03	118.28	148.53	187.42	174.78	204.89	199.57	171.48	117.19	80.14	49.34	138.10
2010	106.34	70.22	110.24	137.26	178.09	205.36	194.03	193.33	171.24	99.69	76.06	51.02	132.74
2011	120.78	74.25	108.57	146.35	172.73	202.06	197.05	193.79	151.13	115.68	68.97	53.06	133.70
2012	124.21	82.07	111.73	141.66	186.68	208.49	182.28	167.44	147.78	118.24	79.01	57.14	133.89
2013	108.16	80.25	115.27	151.30	178.12	208.55	174.36	168.80	154.74	114.16	70.53	59.16	131.95
2014	127.61	83.51	117.58	151.61	184.92	208.36	191.31	172.03	152.03	114.10	81.14	48.31	136.04
2015	114.02	92.71	123.77	155.98	147.65	186.80	180.21	182.68	141.61	106.65	77.99	57.84	130.66
2016	109.85	100.24	117.22	146.09	160.88	197.08	201.51	179.88	137.92	112.73	77.67	52.31	132.78
2017	112.34	72.13	122.23	161.63	167.44	214.45	192.79	186.69	147.46	126.98	73.13	64.69	136.83
2018	130.32	81.68	105.96	154.39	172.75	206.33	194.26	181.44	163.49	102.23	78.36	52.67	135.32
2019	112.72	68.05	103.48	151.37	150.13	196.38	192.52	196.01	152.53	127.44	73.30	45.70	130.80
2020	120.58	81.65	87.56	140.99	194.56	210.70	211.23	188.85	168.35	122.21	78.53	58.93	138.68
Media	85.63	76.29	104.57	140.30	169.51	194.61	188.25	177.04	150.32	110.34	73.51	53.66	127.00

Con base a los datos de la Tabla 22, se elaboró la siguiente gráfica que se muestra para la evapotranspiración media mensual en general de la cuenca (Figura 32)

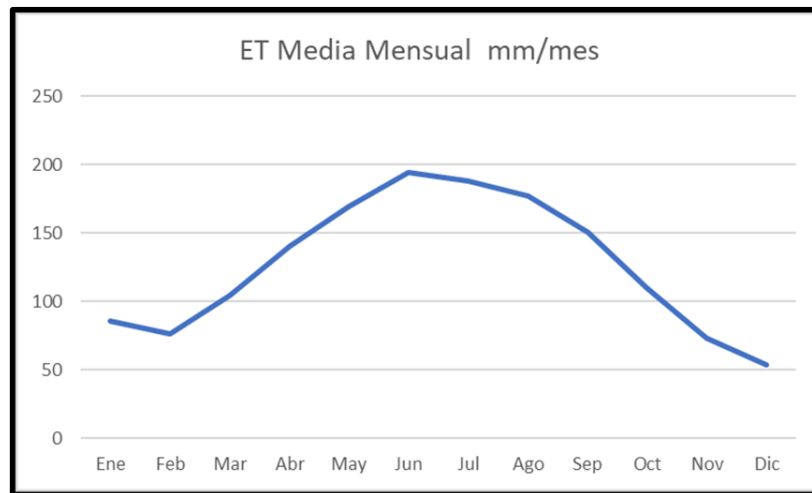


Figura 32. Gráfica de evapotranspiración media mensual mm/mes.

Se observan en la Figura 32 los rangos de valores de ET_0 de 53.66 mm/día/mes en diciembre a 85.63 mm/día/mes en enero, siendo valores bajos y que son típicos de este tipo de zonas semiáridas como la Cuenca regionalizada del Río Colorado. Los rangos de 169.51 mm/día/mes en mayo a 194.61 mm/día/mes en junio son altos por las mismas altas temperaturas (y por lo tanto mayor radiación solar), y limitada por la escasez de agua, ya que la ET_0 depende directamente de la disponibilidad de humedad en el suelo. Estos datos deben de tomarse con cautela, pues la fórmula de Hargreaves-Samani (1985) no considera la disponibilidad de agua en el suelo, ni el viento o el estrés vegetal, por lo que los valores pueden llegar a estar sobrestimados.

La evapotranspiración media mensual tiene una relación directa con la precipitación media mensual, ya que coincidentemente los meses donde menor evapotranspiración hay son los de mayor precipitación (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo), porque las temperaturas son menores y la radiación es menor. Así también los meses donde mayor evapotranspiración hubo, son los de mayo, junio, julio y agosto, en donde no se tiene tanta agua.

4.3.3 Evapotranspiración en las subcuencas

Evapotranspiración de Subcuenca 1

Así como con los datos de precipitación, se tomaron los datos de las estaciones climatológicas 2079 y 2065 de temperatura media mensual, temperatura máxima mensual

y temperatura mínima mensual. Se aplicaron entonces las ecuaciones 2 y 7 para conocer la evapotranspiración media diaria mensual y la evapotranspiración media mensual de la subcuenca (la radiación ocupada fue la misma que la que se utilizó para la cuenca general), que se observa en la Tabla 23. Los datos de las temperaturas media, máxima y mínima se muestran en el Anexo 2.

Tabla 23. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 1 en mm.

Evapotranspiración Media Mensual Anual Subcuenca 1													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	49.47	75.75	98.56	129.81	147.92	207.68	207.55	190.06	174.47	93.27	68.35	58.83	125.14
1958	68.27	75.60	82.92	135.01	177.09	182.90	196.53	189.25	182.31	124.66	79.69	65.17	129.95
1959	65.80	70.05	119.74	140.41	148.65	201.91	195.26	172.98	143.99	114.99	81.69	50.87	125.53
1960	59.93	72.86	116.22	152.59	173.47	204.02	213.12	180.86	181.63	111.80	73.22	58.51	133.19
1961	70.82	91.79	105.39	159.14	187.93	211.02	191.74	194.07	152.00	115.23	71.11	48.57	133.23
1962	63.86	66.05	89.77	153.71	148.88	177.04	188.43	197.04	153.12	112.80	79.25	56.51	123.87
1963	57.00	79.73	98.69	130.03	157.18	176.43	198.72	188.17	171.88	120.75	76.70	60.20	126.29
1964	82.85	94.50	134.96	155.54	223.91	241.87	269.43	243.15	199.97	166.47	86.26	67.23	163.85
1965	72.13	86.65	96.38	132.49	155.04	150.64	176.76	180.03	143.41	120.76	71.29	57.68	120.27
1966	62.92	74.45	110.81	140.66	154.39	191.03	196.37	182.44	159.71	115.48	74.74	52.42	126.29
1967	63.18	86.99	99.45	104.35	165.43	172.96	187.73	187.85	134.81	125.10	74.83	46.42	120.76
1968	65.86	82.65	109.52	139.14	157.54	184.01	208.04	182.56	154.10	115.97	79.29	54.49	127.76
1969	57.36	61.19	93.88	146.09	148.78	148.75	175.31	187.73	151.98	105.77	76.70	52.92	117.20
1970	62.10	82.46	95.34	124.35	169.61	171.67	197.68	175.74	164.94	105.25	75.97	47.59	122.73
1971	64.73	77.49	111.97	126.47	145.74	184.02	192.32	183.89	156.24	110.33	74.61	47.10	122.91
1972	65.04	102.39	125.90	151.72	168.43	175.20	196.04	178.89	139.42	94.42	69.84	50.51	126.48
1973	55.86	71.17	79.62	128.87	162.33	197.92	183.86	175.14	141.33	119.36	69.80	56.59	120.15
1974	60.31	85.81	98.44	149.68	157.26	200.14	185.23	180.68	157.07	104.99	76.87	54.26	125.89
1975	65.33	74.76	93.23	107.80	152.96	173.43	182.15	187.10	155.15	107.57	80.11	54.00	119.47
1976	72.90	72.68	105.07	120.55	156.77	209.62	172.14	179.68	118.34	113.87	86.39	63.06	122.59
1977	59.16	93.53	97.39	143.44	141.12	191.05	200.47	172.97	151.19	118.78	88.63	55.34	126.09
1978	54.37	71.95	92.90	112.30	172.84	209.13	200.64	177.13	147.58	112.70	66.83	47.94	122.19
1979	51.64	73.47	100.97	136.71	158.30	198.31	195.16	172.59	176.93	114.90	79.36	63.64	126.83
1980	59.25	79.45	95.04	135.73	136.95	204.39	207.04	182.23	145.60	133.70	86.81	66.23	127.70
1981	62.74	83.12	91.94	127.94	145.59	199.25	179.18	179.97	149.91	102.54	81.78	60.26	122.02
1982	53.67	76.09	94.55	136.22	137.06	147.41	187.36	174.75	159.21	124.19	72.03	51.42	117.83
1983	64.13	71.80	82.68	121.79	156.91	155.02	186.69	172.09	152.22	108.27	73.95	50.73	116.36
1984	63.64	89.27	112.48	134.21	189.46	174.21	174.04	154.40	152.14	93.60	63.05	38.65	119.93
1985	53.32	70.46	92.26	154.68	151.76	203.98	193.34	181.47	132.87	97.65	56.09	60.86	120.73
1986	70.34	73.51	102.92	147.35	169.33	175.36	173.35	166.75	115.61	104.50	78.64	57.38	119.59
1987	64.71	72.05	96.34	147.93	140.75	176.12	159.86	160.69	138.99	93.78	68.01	44.56	113.65
1988	52.75	80.96	120.92	118.78	163.62	163.26	154.12	152.70	138.32	100.59	75.28	52.90	114.52
1989	58.42	81.75	120.66	158.38	156.38	177.43	196.06	165.45	169.76	106.88	88.30	68.40	128.99
1990	64.94	70.50	99.34	123.18	145.30	201.18	188.70	161.60	155.30	127.53	86.02	57.87	123.46
1991	58.96	84.05	82.91	147.49	162.44	153.45	182.11	172.05	148.31	126.58	89.13	50.34	121.49
1992	67.33	78.12	100.77	159.38	202.52	175.04	190.01	193.74	202.24	117.44	85.52	53.44	135.46
1993	48.67	75.42	110.64	158.86	182.76	205.44	193.60	198.44	164.20	115.02	80.75	64.78	133.22
1994	79.11	77.87	108.39	125.77	137.67	203.03	176.85	178.46	151.58	113.89	70.72	50.56	122.83
1995	48.67	84.59	103.56	139.63	136.11	180.41	202.41	184.67	162.47	120.68	91.24	62.29	126.39
1996	66.82	71.79	113.26	176.61	183.45	208.52	196.40	198.88	141.89	119.01	84.06	64.44	135.43
1997	58.52	84.74	143.83	153.02	193.72	187.18	198.20	190.40	147.37	127.26	83.26	55.95	135.29
1998	60.63	64.32	99.52	141.98	146.14	182.55	204.98	209.19	142.97	119.01	79.73	65.26	126.36
1999	73.78	85.27	106.04	126.34	156.25	189.22	179.41	180.60	149.80	154.37	90.46	71.70	130.27
2000	71.83	76.81	98.32	163.82	184.19	189.16	185.95	177.84	161.29	94.57	76.29	70.71	129.23
2001	60.58	75.42	105.72	133.01	182.35	204.64	189.42	181.99	168.33	118.91	72.47	60.89	129.48
2002	68.17	104.24	123.43	144.52	175.65	211.55	199.00	195.09	165.69	106.18	87.25	56.82	136.47
2003	83.53	73.56	117.09	142.15	167.54	174.88	199.15	177.93	161.86	130.11	72.38	64.02	130.35
2004	63.97	80.29	121.68	161.36	210.77	201.83	216.38	207.52	187.32	108.53	69.00	58.08	140.56
2005	61.19	61.71	111.42	158.56	183.10	205.40	232.02	195.86	167.13	114.84	66.72	54.35	134.36
2006	63.65	83.34	92.33	147.22	185.11	219.36	226.49	207.14	185.11	107.60	85.72	64.92	139.00
2007	61.17	79.23	122.29	130.30	164.47	208.66	195.86	184.66	158.41	125.79	68.98	52.18	129.33
2008	51.02	69.61	132.36	173.54	185.96	220.15	240.73	192.49	161.90	142.43	85.76	60.52	150.54
2009	62.00	70.19	110.89	170.43	215.94	189.03	227.04	207.17	205.29	132.81	83.37	44.88	143.25
2010	57.96	74.94	108.46	142.43	180.85	226.22	215.63	213.83	190.85	96.16	72.02	49.69	135.75
2011	65.16	79.95	109.11	152.32	171.03	212.01	213.18	207.55	170.45	106.99	68.95	51.49	134.02
2012	61.13	86.39	140.80	116.11	236.33	275.66	250.73	243.34	219.63	132.29	64.86	60.52	166.12
2013	66.09	92.26	158.48	199.61	193.65	261.61	290.41	224.15	197.05	108.65	51.74	60.52	158.69
2014	44.50	91.27	135.71	249.31	249.31	274.45	244.60	199.04	137.53	57.45	39.55	147.34	147.34
2015	53.70	101.98	113.13	231.98	253.97	322.89	115.36	197.87	111.65	73.00	56.36	148.35	148.35
2016	63.61	101.45	120.18	232.30	267.03	265.81	231.68	197.70	159.04	102.74	79.44	165.54	165.54
2017	81.19	97.58	135.78	233.71	249.83	311.97	295.58	270.63	257.14	131.87	67.34	75.40	184.00
2018	84.73	120.33	144.10	214.99	220.04	252.38	233.92	220.43	212.24	113.07	88.48	43.84	162.38
2019	58.97	90.23	105.90	169.56	127.88	224.50	167.62	198.88	132.16	147.39	73.02	54.34	129.20
2020	56.34	74.42	89.51	140.34	241.21	283.68	192.08	176.12	184.64	129.07	81.48	62.01	142.57
2021										159.50	86.86	55.11	100.49
2022	88.76												88.76
Media	63.24	80.69	108.31	145.08	173.68	200.27	204.20	188.95	164.27	117.95	76.96	56.71	131.69

En la Figura 33, se observan las gráficas de la evapotranspiración media mensual y la evapotranspiración media anual de la subcuenca 1.

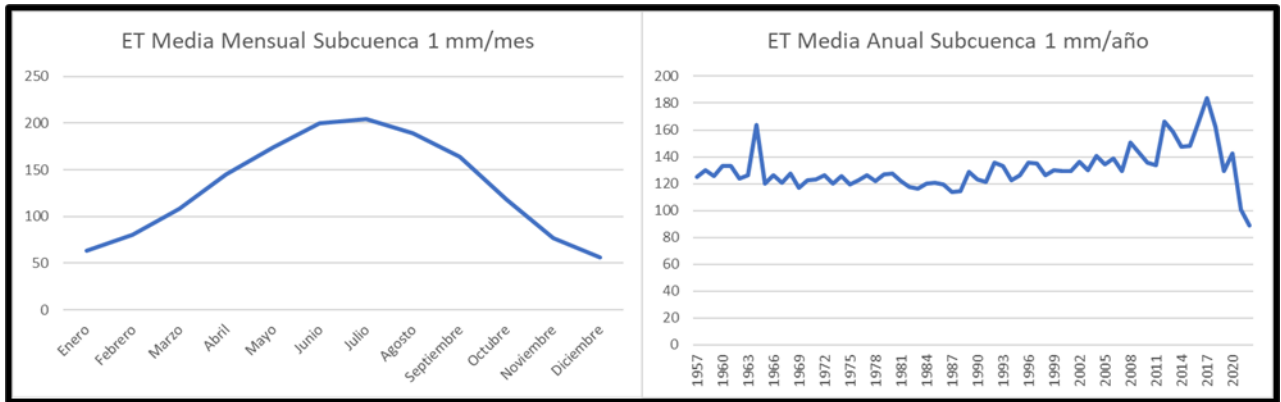


Figura 33. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 1 mm/mes y mm/año.

Tomando como base los datos de la Tabla 23, se obtuvo la media mensual de cada mes de la subcuenca 1, mostrando al igual que para la cuenca general, una evapotranspiración mayor en los meses de junio, julio y agosto, al igual que el mes de mayo. Esto coincide también con la época de estiaje en la subcuenca. Anualmente se tienen a los años de 2012-2018 como los que mayor evapotranspiración anual tienen en promedio, siendo el año 2017 donde más se tuvo. Los años 2021 y 2022 no aportan datos suficientes como para ser tomados en cuenta, pero sirven para determinar un mejor promedio mensual.

Evapotranspiración de Subcuenca 2

Para la microcuenca 2 se utilizaron los datos de temperatura media mensual, temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual de las estaciones 2001, 2021, 2049, 2066, 2035 y 2019. Igualmente se aplicaron las ecuaciones 2 y 7 de evapotranspiración media diaria mensual y evapotranspiración media mensual. Los resultados se muestran en la Tabla 24, que es la evapotranspiración media mensual anual. A partir de esta se realizó la Figura 34 que contiene a las gráficas representativas de la evapotranspiración media mensual como de la anual para la subcuenca.

Tabla 24. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 2 mm/mes/año.

Año	Evapotranspiración Media Mensual Anual Subcuenca 2												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	56.52	91.18	116.81	152.09	174.32	212.16	223.05	189.38	155.91	93.48	62.85	53.61	131.78
1958	57.93	68.58	83.40	133.70	175.27	203.16	203.57	199.60	169.69	115.91	73.01	62.91	128.89
1959	61.50	59.47	111.07	163.58	183.93	235.15	237.72	209.89	162.72	124.41	85.72	56.78	141.00
1960	58.62	66.16	105.39	134.47	157.79	185.12	200.37	188.44	160.84	124.10	75.98	47.41	125.39
1961	56.07	77.85	98.53	134.09	151.39	206.81	184.29	161.30	123.29	106.24	58.96	42.17	116.75
1962	53.05	57.16	72.48	130.88	147.41	161.22	159.11	156.29	136.67	102.84	73.70	47.35	108.18
1963	46.94	69.56	80.52	106.68	144.63	157.37	172.28	155.80	141.04	102.20	72.83	52.96	108.57
1964	65.28	81.28	77.25	114.31	164.06	187.92	200.00	173.90	147.59	114.52	63.14	46.59	119.65
1965	51.82	67.81	80.04	105.78	141.28	146.35	186.55	179.69	140.04	100.95	59.90	40.94	108.43
1966	45.17	55.94	88.60	126.81	157.31	179.43	194.14	188.07	139.30	100.71	64.00	41.92	115.12
1967	49.04	64.54	85.29	86.18	141.23	160.15	191.52	190.95	134.84	105.29	64.52	33.35	108.91
1968	52.07	65.70	89.48	121.17	161.64	197.72	197.97	185.00	163.99	106.19	65.36	44.28	120.88
1969	50.44	55.80	82.80	121.09	172.23	171.22	200.23	199.09	160.95	94.12	57.70	44.02	117.47
1970	51.39	68.82	82.73	107.79	164.65	186.70	192.44	181.70	145.89	95.53	67.60	43.27	115.71
1971	53.69	64.46	99.25	113.47	136.19	183.28	206.27	185.68	155.72	94.40	68.33	38.25	116.58
1972	60.84	75.30	117.05	141.73	161.51	182.74	200.60	170.42	134.70	82.73	57.16	40.36	118.76
1973	42.82	53.79	66.51	111.83	166.39	200.36	193.98	173.04	144.18	107.80	60.10	46.12	113.91
1974	47.18	69.96	83.55	124.02	153.64	211.25	190.84	186.03	147.50	92.92	68.83	42.70	118.20
1975	52.41	63.70	83.04	96.73	152.19	182.64	186.52	177.77	142.20	94.79	68.64	47.64	112.35
1976	59.20	62.57	89.28	116.32	161.46	193.60	184.76	172.80	123.81	100.89	70.15	46.12	115.06
1977	46.19	72.47	76.48	122.32	129.08	188.11	195.66	171.93	142.92	94.41	66.29	43.44	112.44
1978	42.66	53.47	71.96	93.80	150.59	197.08	190.64	169.93	132.65	99.22	50.86	35.78	107.39
1979	38.18	61.84	73.17	117.34	142.30	184.79	186.66	169.21	155.63	99.05	60.65	49.09	111.49
1980	44.67	62.75	71.08	113.50	126.39	189.52	190.05	170.50	145.62	106.25	74.05	55.11	112.46
1981	52.58	70.70	76.09	121.18	150.72	201.17	181.92	181.15	145.84	87.89	70.91	51.99	116.01
1982	45.38	63.65	79.31	125.32	143.26	160.82	188.10	162.61	132.43	106.21	59.35	46.38	109.40
1983	50.52	58.82	73.37	102.19	153.96	166.35	190.65	163.97	141.65	93.77	61.17	44.56	108.42
1984	48.67	71.97	99.18	116.45	180.75	183.42	165.41	153.19	134.77	77.24	52.16	36.25	109.96
1985	43.25	59.20	78.21	140.06	147.67	220.00	195.98	185.81	127.57	83.28	53.90	50.48	115.45
1986	61.31	66.41	87.32	127.46	155.83	181.88	181.91	169.41	125.32	83.75	57.77	43.86	111.85
1987	44.16	57.22	80.98	132.74	128.62	188.09	177.85	174.65	136.68	82.22	54.07	38.68	108.00
1988	43.38	65.32	93.64	107.73	173.45	184.55	175.33	180.55	143.20	112.59	69.60	49.10	116.54
1989	48.73	73.59	108.10	155.70	167.78	228.04	215.56	181.07	172.53	110.07	81.35	60.74	133.60
1990	56.89	69.56	92.03	129.11	167.22	230.20	218.51	198.67	165.47	131.22	83.14	51.69	132.81
1991	55.76	94.57	75.65	136.17	140.42	171.84	169.76	166.65	143.30	109.89	76.62	41.22	115.15
1992	52.21	62.58	76.61	129.17	151.74	152.33	174.27	162.60	152.63	98.21	66.11	45.46	110.33
1993	50.64	58.46	98.52	134.62	151.58	179.30	165.63	153.50	142.71	93.19	63.91	61.07	112.76
1994	67.40	67.49	97.49	117.77	128.37	200.33	183.30	175.96	146.13	102.65	64.87	46.71	116.54
1995	46.00	78.69	94.85	123.76	126.06	173.65	201.95	198.54	155.62	115.49	87.16	56.74	121.54
1996	61.42	66.14	104.61	161.57	173.07	200.48	189.54	189.79	134.24	109.54	77.49	60.95	127.40
1997	53.11	74.82	129.98	135.09	176.35	168.85	185.73	174.66	138.22	111.17	73.37	41.69	121.92
1998	49.21	52.01	84.41	122.62	127.41	176.29	202.23	187.71	132.91	105.47	73.14	57.24	114.22
1999	68.33	79.84	90.19	110.09	145.18	182.61	177.38	179.06	146.77	139.78	83.77	56.39	121.62
2000	66.58	67.39	95.57	156.99	178.09	183.01	188.79	171.45	145.70	86.87	67.46	65.09	122.75
2001	53.34	65.54	95.79	119.76	177.02	195.86	188.72	176.67	158.43	112.85	68.12	54.66	122.23
2002	62.27	96.71	109.40	130.45	161.24	197.63	186.62	190.67	152.46	94.38	81.01	50.59	126.12
2003	77.75	61.79	101.52	123.93	151.54	162.87	181.84	166.74	153.43	119.74	63.57	56.26	118.41
2004	56.13	69.77	124.86	137.72	177.70	178.34	190.67	177.27	149.21	86.00	58.31	50.51	121.37
2005	48.83	51.34	93.85	132.28	161.72	178.25	205.91	175.03	158.05	105.45	80.53	59.82	120.92
2006	69.15	88.69	82.07	123.29	162.64	198.51	189.67	180.93	153.55	101.97	84.70	63.24	124.87
2007	60.26	80.40	116.99	131.75	157.98	199.18	177.50	180.83	140.70	113.70	71.77	54.52	123.80
2008	49.24	72.76	116.62	159.27	154.67	215.95	185.10	165.59	151.62	132.91	80.57		134.94
2009	71.98	74.04	106.96	131.88	170.77	154.22	198.53	188.91	166.61	113.52	78.01	47.00	125.20
2010	58.91	65.98	103.79	116.74	151.27	179.39	172.50	180.63	163.03	87.92	77.89	49.21	117.27
2011	51.50	61.55	86.37	123.03	142.53	195.06	202.49	205.76	144.38	90.43	54.58	49.94	117.30
2012	52.72	65.40	87.13	114.23	195.02	219.37	188.28	169.31	122.38	97.36	58.74	44.71	117.89
2013	46.12	74.44	101.79	125.68	166.95	197.46	167.11	173.91	151.53	114.95	70.62	61.15	120.98
2014	78.87	85.75	113.21	148.92	179.04	202.21	191.14	170.31	151.52	112.74	85.87	45.95	130.46
2015	61.80	97.01	118.26	146.68	129.92	183.08	172.06	182.35	129.45	103.31	79.28	56.75	121.66
2016	54.06	107.85	115.15	136.05	134.83	191.95	209.75	181.99	134.08	114.70	78.91	50.45	125.81
2017	29.29	68.29	120.74	157.17	148.68	204.12	182.68	183.18	136.78	125.27	73.15	33.73	121.92
2018	72.42	78.57	96.62	152.04	154.18	190.12	191.40	174.89	158.90	97.76	75.60	48.39	124.24
2019	63.20	82.22	115.61	160.56	121.96	174.75	180.66	192.45	143.14	127.72	72.90	45.21	123.36
2020	63.10	75.58	77.31	124.58	176.06	184.91	209.51	190.92	168.39	129.04	81.05	61.84	128.52
2021	59.33												59.33
2022							180.01	164.49	133.82	96.87	70.60	51.36	116.19
Media	54.61	69.88	93.53	127.68	155.63	188.13	190.02	178.31	146.04	104.28	69.44	49.12	

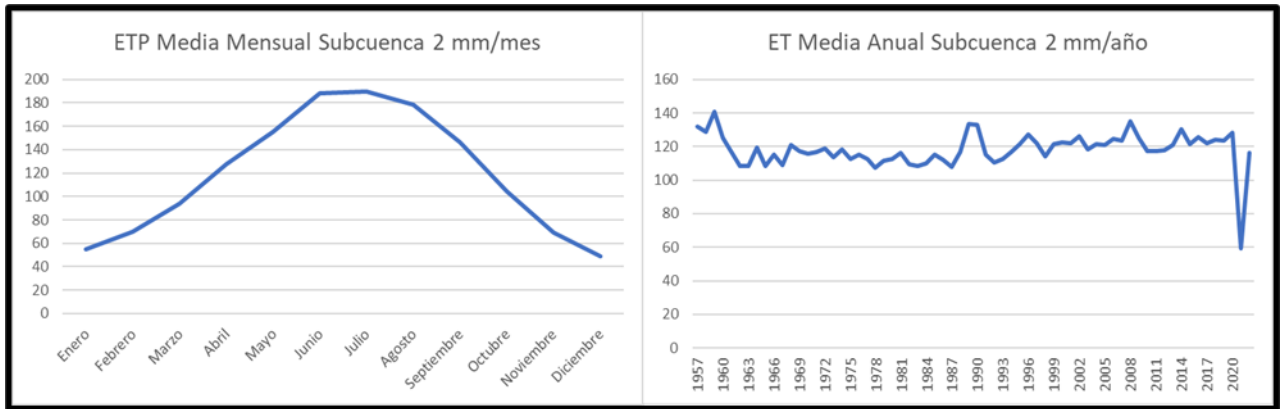


Figura 34. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 2 mm/mes y mm/año.

De acuerdo con la gráfica de ET_0 mensual, el período que presenta mayor evapotranspiración comienza en mayo y sigue en junio, julio (punto más alto), agosto y septiembre. Coincide con la subcuenca 1 en su mayor parte, solo que en general la ET_0 es menor. Anualmente la ET_0 en promedio es de entre 100 y 140 mm.

Evapotranspiración de Subcuenca 3

Al igual que las otras subcuencas, se tomaron los datos de las estaciones climatológicas 2077, 2036, 2004 y 2001. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 25 de evapotranspiración media mensual anual de la subcuenca 3. Su comportamiento tanto mensual como anual, se muestran en los gráficos de la Figura 35.

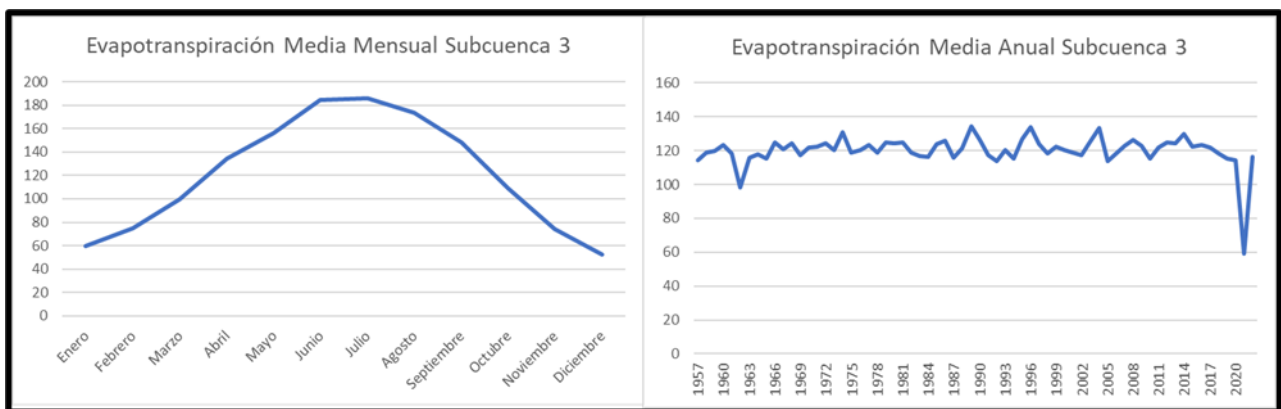


Figura 35. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 3 mm/mes y mm/año.

Su comportamiento es similar al de las otras subcuencas, tiene ET_0 elevada en los meses de sequía (mayo, junio, julio, agosto y hasta septiembre), que no supera los 200 mm. Anualmente no se tienen datos suficientes del 2021 y 2022, pero igualmente se pueden

usar los datos de los meses que si están. El comportamiento a lo largo de los años de la ET_0 va de los 100 a casi 140 mm.

Tabla 25. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 3 mm/mes/año.

Año	Evapotranspiración Media Mensual Anual Subcuenca 3												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1957	50.35	69.31	94.67	115.36	134.56	190.96	192.07	166.63	150.05	85.66	65.34	55.05	114.17
1958	64.18	73.10	83.08	136.33	117.36	181.39	187.86	168.22	159.09	115.54	76.39	62.65	118.77
1959	64.08	64.53	117.61	136.25	141.93	186.61	187.60	165.77	136.88	105.48	81.98	48.55	119.77
1960	56.07	66.05	109.01	140.75	157.80	191.21	197.23	177.67	157.57	105.23	67.93	52.32	123.24
1961	66.01	80.03	98.12	142.69	147.25	188.15	165.92	162.06	141.01	109.57	70.85	49.04	118.39
1962	58.36	62.23	84.68	147.19	150.85	169.71	179.37	0.00	149.20	106.43	74.01	0.00	98.50
1963	54.58	80.90	94.04	126.35	150.64	153.35	178.18	168.24	151.75	102.40	69.40	57.40	115.60
1964	60.98	80.17	96.23	123.63	159.57	173.93	197.45	159.74	145.46	100.00	66.21	50.18	117.80
1965	59.09	75.39	90.41	126.06	143.47	147.47	182.96	183.44	143.54	122.25	67.04	41.78	115.24
1966	55.88	68.77	108.92	143.92	163.05	186.38	195.42	182.64	153.68	115.06	70.76	52.24	124.73
1967	64.40	85.93	101.13	106.37	165.51	162.44	190.57	195.11	140.35	123.65	73.31	43.36	121.01
1968	61.56	81.84	105.53	134.42	160.89	192.14	187.29	173.65	153.33	113.51	75.14	52.60	124.33
1969	52.59	58.49	94.49	127.15	160.95	149.96	186.01	194.31	154.84	106.51	69.73	53.80	117.40
1970	59.76	78.92	92.79	122.29	170.20	180.48	195.87	179.28	158.80	103.85	74.20	45.80	121.85
1971	62.30	77.00	110.09	127.54	146.35	184.30	197.76	187.68	151.67	106.41	72.19	43.30	122.22
1972	61.76	85.90	118.60	155.19	170.58	176.56	202.86	174.71	139.07	90.77	66.82	47.46	124.19
1973	52.14	66.16	74.27	123.42	167.87	206.74	192.55	180.76	143.17	117.39	67.04	53.42	120.41
1974	54.86	84.73	98.33	152.05	179.71	225.41	205.08	194.45	144.60	101.54	76.99	52.37	130.84
1975	63.05	70.38	86.25	103.58	153.66	180.27	183.60	190.54	158.65	107.70	78.03	52.29	119.00
1976	70.17	70.36	98.52	121.71	158.92	206.70	174.19	184.56	110.43	111.64	79.57	58.57	120.45
1977	55.92	90.00	94.34	144.63	140.10	193.16	199.49	166.17	148.52	111.07	84.66	52.28	123.36
1978	49.22	65.21	86.57	107.38	164.54	214.45	200.65	178.33	143.87	113.45	59.86	42.08	118.80
1979	45.56	70.80	88.55	136.13	154.76	202.93	201.16	175.02	176.67	110.58	76.20	50.92	124.85
1980	52.89	76.28	84.77	127.74	134.79	210.10	205.11	184.92	154.84	118.31	84.15	59.70	124.47
1981	61.64	81.65	85.94	127.91	150.17	210.68	193.19	195.19	155.45	98.44	80.37	59.54	125.01
1982	64.41	72.04	88.78	131.05	144.94	163.80	195.02	183.41	145.90	119.65	68.22	50.12	118.95
1983	62.71	69.70	79.14	110.31	161.78	167.05	198.50	177.86	154.58	105.79	68.43	47.84	116.97
1984	60.79	82.19	106.88	121.34	191.09	173.83	169.48	160.92	147.41	89.94	58.69	35.25	116.48
1985	48.01	70.51	88.50	154.41	161.36	220.16	208.54	192.89	137.03	91.54	57.20	56.84	123.91
1986	67.13	71.83	99.58	145.50	172.71	193.61	195.86	191.19	137.59	105.60	77.37	53.20	125.93
1987	53.94	72.34	88.03	127.83	148.09	185.25	183.59	170.82	153.00	94.38	68.54	42.94	115.73
1988	53.72	82.10	115.06	125.99	170.52	174.17	171.23	173.14	146.10	110.03	75.94	54.98	121.08
1989	57.03	80.04	122.89	165.34	169.82	192.64	211.18	178.88	166.71	116.38	86.16	65.65	134.39
1990	63.15	76.54	97.89	130.58	158.20	212.68	195.47	176.58	150.09	123.72	81.71	52.01	126.55
1991	58.55	95.65	84.12	144.06	143.45	156.91	174.25	170.02	143.32	113.25	78.39	44.66	117.22
1992	57.46	67.95	75.99	136.73	156.35	164.79	172.23	161.24	146.79	99.00	76.49	49.65	113.72
1993	49.24	62.89	99.08	146.32	158.21	193.82	180.12	179.86	153.38	101.94	67.04	53.80	120.48
1994	67.84	68.53	97.34	118.47	130.53	190.65	183.12	166.53	149.18	103.00	64.15	46.36	115.47
1995	43.46	75.06	95.03	131.56	142.31	180.87	205.10	196.18	171.02	126.98	91.36	60.58	126.62
1996	64.70	65.80	110.36	166.72	181.93	211.95	195.93	211.09	143.69	120.08	76.86	58.68	133.98
1997	51.90	75.62	119.45	133.33	178.29	178.90	201.74	173.55	144.92	107.50	72.59	46.80	123.71
1998	56.98	57.09	86.20	128.42	138.37	180.99	214.69	196.56	137.77	100.99	70.55	52.83	118.45
1999	66.62	83.23	95.34	124.54	147.65	179.42	170.91	170.86	144.60	139.78	83.77	63.85	122.55
2000	62.69	67.66	94.19	160.74	172.54	178.15	175.46	169.10	142.80	87.45	67.28	64.46	120.21
2001	55.08	68.72	101.69	120.12	166.04	190.27	180.26	163.83	151.36	106.26	68.13	54.33	118.84
2002	61.62	91.67	108.04	131.43	154.48	184.62	153.17	162.48	133.52	91.99	80.99	52.07	117.17
2003	76.99	65.02	100.61	125.28	139.43	184.30	198.50	181.45	167.17	133.65	73.91	65.85	126.01
2004	67.13	83.29	134.65	157.97	198.70	194.46	197.16	184.39	167.41	96.69	64.26	51.21	133.11
2005	51.70	54.21	94.36	133.25	149.87	156.42	172.23	154.15	142.60	108.76	83.23	63.99	113.73
2006	68.81	86.44	83.30	127.93	150.45	175.41	172.15	162.87	141.35	104.16	83.67	63.16	118.31
2007	61.23	80.40	114.76	129.04	166.62	190.91	174.72	176.07	141.40	116.35	71.59	53.14	123.02
2008	51.06	74.79	119.99	155.11	157.26	207.16	180.58	161.73	150.13	130.71	81.86	47.13	126.46
2009	70.90	75.64	107.00	135.58	161.71	149.68	188.85	181.38	161.26	113.19	80.34	46.56	122.67
2010	57.89	68.55	104.57	120.21	151.99	175.23	163.75	169.96	156.28	89.55	76.76	51.90	115.55
2011	70.87	73.06	103.93	137.36	156.32	179.73	176.37	178.73	142.72	116.99	69.88	54.14	121.68
2012	70.88	81.80	112.25	138.46	173.17	189.03	168.81	164.57	151.36	118.82	74.34	55.06	124.88
2013	58.44	81.04	112.28	146.31	163.60	196.63	164.83	167.54	152.00	113.96	71.19	61.94	124.15
2014	77.13	83.35	114.89	149.33	183.14	196.12	184.13	168.29	152.62	115.90	86.95	46.71	129.88
2015	62.16	96.14	124.49	149.59	129.76	177.83	168.98	178.39	134.55	104.76	80.53	58.84	123.17
2016	55.15	109.42	114.93	138.96	138.92	188.03	193.94	177.56	128.77	107.54	78.02	50.72	123.50
2017	48.33	68.00	117.79	150.61	147.08	188.95	174.92	172.52	134.71	119.40	72.39	66.76	121.79
2018	76.82	75.95	99.56	143.92	152.77	176.95	162.24	154.57	150.80	98.48	75.20	49.69	118.08
2019	55.01	60.40	93.47	140.94	127.24	161.09	172.95	179.63	143.87	130.61	74.12	43.98	115.28
2020	62.58	76.94	73.35	114.22	157.15	167.44	166.99	173.24	152.20	101.26	71.17	55.97	114.38
2021	59.33												59.33
2022							180.01	164.49	133.82	96.87	70.60	51.36	116.19
Media	59.80	75.25	99.64	134.45	156.24	184.30	185.81	173.35	148.13	108.85	73.97	52.16	120.05

Evapotranspiración de Subcuenca 4

Los datos de temperaturas se tomaron de las estaciones 2088, 2010 y 2057. Aplicándose la ecuación 2 y 7, se obtuvo la Tabla 26. Sus respectivos gráficos están en la Figura 36.

Tabla 26. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 4 mm/mes/año.

Evapotranspiración Media Mensual Anual Subcuenca 4													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1958							77.95	177.34	146.65	101.43	63.67	53.13	103.36
1959	54.75	51.55	94.92	136.64	157.27	201.50	188.96	170.06	137.54	101.42		38.59	121.20
1960	42.92	64.58	104.84	136.93	171.89	218.51	196.85	181.92	142.33	94.19	62.52	42.61	121.67
1961	51.67	65.81	92.38	134.46	158.08	198.89	195.91	174.76	138.23	94.42	59.08	41.80	117.12
1962	45.61	59.47	81.26	143.16	155.78	197.92	196.41	186.26	147.20	103.48	68.04	43.55	119.01
1963	43.66	71.87	84.60	116.93	172.94	178.88	199.88	166.34	154.58	97.34	62.77	50.83	116.72
1964	46.83	59.70	83.59	121.57	165.53	204.78	192.58	169.40	147.32	105.13	55.24	41.12	116.07
1965	48.44	63.40	80.45	108.04	147.42	175.30	193.42	171.34	132.45	115.61	60.55	37.54	111.16
1966	44.15	58.78	99.23	137.74	173.74			176.30		97.75	66.59	42.63	99.66
1967	51.06	71.27	96.73	104.82	160.35	184.93	182.22	175.23	131.18	101.11	64.95	35.71	113.29
1968	51.40	74.10	82.42	112.47	143.71	120.10	95.35	117.25	138.05	110.07	77.59	54.79	98.11
1969	57.16	62.06	87.61	122.61	143.72	141.48	159.81	149.95	131.05	87.60	54.10	45.18	103.53
1970	53.08	66.49	92.03	108.15	157.87	161.79	166.53	151.17	126.67	86.14	69.11	45.36	107.03
1971	58.20	61.11	97.29	111.80	157.70	195.87	194.59	172.94	148.97	89.97	65.99	38.90	116.11
1972	57.61	76.81	112.30	144.24	155.30	190.87	201.07	171.18	136.13	88.06	57.20	42.37	119.43
1973	46.13	60.45	71.39	121.07	175.13	202.46	195.43	178.90	151.14	111.17	67.82	50.34	119.29
1974	59.19	75.57	99.67	147.86	178.50	230.81	189.60	193.98	152.91	101.74	68.01	42.45	128.36
1975	54.99	64.52	82.55	117.61	174.65	204.93	199.06	191.96	146.23	98.66	68.55	49.00	121.06
1976	59.96	67.82	106.97	131.79	177.45	215.15	191.69	185.35	136.13	110.20	73.93	53.16	125.80
1977	55.36	84.06	86.46	138.79	152.77	214.69	198.73	173.20	148.44	106.91	71.43	49.46	123.36
1978	49.26	60.61	79.96	111.10	166.02	212.16	212.89	179.07	119.81	104.45	52.21	39.48	115.59
1979	42.43	56.40	82.15	132.48	144.35	191.88	185.56	162.49	141.03	81.00	72.96	52.44	112.10
1980	50.73	70.02	94.99	139.97	162.18	208.36	209.37	184.37	148.49	122.00	80.35	63.27	127.84
1981	63.38	75.85	108.73	147.27	163.74	212.80	209.03	202.80	157.19	86.46	68.35	59.46	129.59
1982	35.73	65.71	76.48	119.31	150.29	191.28	212.45	189.15	129.68	104.73	66.36	50.32	115.96
1983	47.14	56.71	75.36	97.14	163.89	194.00	207.04	139.31	141.66	100.86	64.46	49.47	111.42
1984	42.40	74.43	109.90	125.53	205.97	208.51	191.13	164.37	133.22	86.35	57.48	31.37	119.22
1985	39.18	61.17	87.92	153.85	173.83	243.84	214.11	206.58	139.54	93.67	54.90	51.59	126.68
1986	61.38	69.30	92.98	125.47	169.54	206.62	186.78	172.30	130.79	102.12	62.59	44.91	118.73
1987	46.03	61.63	83.07	138.48	139.14	192.44	168.02	174.22	143.74	85.72	56.71	39.50	110.73
1988	61.59	64.57	95.68	107.26	158.89	170.33	171.50	179.79	157.65	118.84	76.97	51.87	117.91
1989	53.64	84.27	106.87	175.50	188.13	205.10	206.53	182.28	158.38	108.32	89.41		141.68
1990	47.13	62.13	93.46	122.98	153.49	185.83	178.21	164.44	128.30	49.26	73.85		114.46
1991	65.57	78.29	109.97	184.50	196.63	169.09	156.76	145.50	98.90		37.10		124.23
1992	74.35	97.99	107.05	73.87	75.57	74.33	70.55				69.23		80.37
2004						244.87	232.63	219.68	191.59	101.77	66.97	32.93	155.78
2005	47.30	50.89	103.61	149.68	182.60	217.59	229.50	201.06	177.71	116.91	81.61	57.22	134.64
2006	67.04	85.34	90.14	82.85				220.88	163.96	113.40	87.50	37.62	105.41
2007	53.02	69.55	123.96	159.57	210.69	249.24	221.62	204.48	155.86	117.51	79.13	37.57	140.18
2008	51.57	77.48	124.58	167.36	179.41	250.19	229.01	201.05	167.00	130.65	75.43		150.34
2009	69.45	77.83	121.44	147.28	221.93	191.60	233.66	225.76	181.40	115.26	78.22	49.26	142.76
2010	57.38	71.74	115.80	138.58	190.34	243.68	228.45	217.39	182.12	89.11	70.17	29.85	136.22
2011	61.53	69.53	100.38	155.49	203.08	257.84	239.41	223.47	156.42	120.41	39.60	32.06	138.27
2012	62.03	79.07	102.21	144.05	207.54	235.94	205.07	179.43	172.44	137.81			152.56
2013	80.28	60.33	147.30	181.51	215.38	275.96	224.10	216.26	196.39	135.35	72.55	54.93	155.03
2014	68.31	84.74	115.13	149.61	191.77	249.02	208.45	187.56	146.27	112.73	74.65	29.11	134.78
2015	53.80	94.42	113.18	155.41	155.49	235.05	211.40	212.09	141.97	96.89	44.66	36.68	129.25
2016	57.67												57.67
2018		40.50	92.50	142.32	187.30	243.60	224.22	181.43	174.59	95.67	83.56	52.85	138.05
2020	38.98	48.52	79.31	137.78	195.69	236.40	244.76	193.70	172.53	112.60	82.71	51.42	132.87
2021	45.82	68.27	76.09	128.90	166.67	205.63	153.22	153.70	123.63	79.38	73.07	34.29	109.06
2022	43.43	55.16	88.17	137.28	168.98	188.24	161.46	140.95	109.21	89.46	26.81	19.60	102.40
Media	53.46	68.00	96.63	132.18	169.92	205.37	192.96	181.43	148.60	102.20	67.08	44.01	120.83

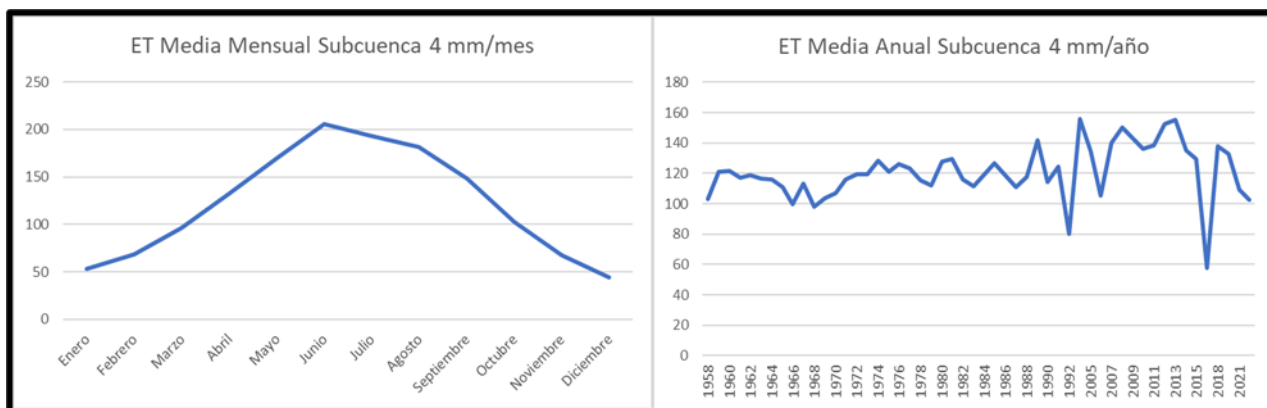


Figura 36. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 4 mm/mes y mm/año.

Mensualmente la evapotranspiración es mayor en los meses de mayo, junio, julio, agosto y hasta septiembre. Anualmente se tiene una caída de la ET_0 en 1992, esto posiblemente por

la falta de datos. También los años de 1968 y 2018 no deben de tomarse en consideración, pues faltan datos de la mayoría de los meses. Un caso al revés es el de los años 2004, 2008 y 2012, en donde se promedia una ET_0 más grande debido a que faltan datos de los meses de diciembre que bajarían la elevada evapotranspiración a una más acorde de entre 150 y 100 mm/año.

Evapotranspiración de Subcuenca 5

La evapotranspiración en la subcuenca 5 se determinó al igual que en las otras cuencas. Las estaciones utilizadas fueron la 2060 y la 2105. En la Tabla 27 se pueden observar los datos de la evapotranspiración media mensual anual. Los gráficos se ven en la Figura 37.

Tabla 27. Evapotranspiración media mensual anual Subcuenca 5 mm/mes/año.

Evapotranspiración Media Mensual Anual Subcuenca 5														
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	
1959													41.93	41.93
1960	38.21	48.65	87.58	116.26	121.88	185.53	166.47	134.45	105.68	72.66	42.24	28.99	95.72	95.72
1961	31.82	46.92	61.50	108.30	105.72	168.15	134.74	134.74	98.93	73.23	39.17	25.83	79.54	79.54
1962	35.54	38.73	54.17	111.81	100.90	146.99	146.21	144.37	98.93	74.99	44.03	30.31	85.58	85.58
1963	35.68	41.64	51.60	83.57	105.04	132.11	226.21	115.68	107.74	66.67	41.81	28.15	86.33	86.33
1964	38.51	43.40	59.65	77.43	103.44	129.56	147.72	116.85	96.52	64.59	34.54	38.96	79.26	79.26
1965	34.61	41.75	54.11	84.49	93.29	110.29	141.46	125.46	87.37	56.00	41.79	30.22	75.07	75.07
1966	49.12	49.88	98.19	127.28	157.06	164.64	164.88	145.57	118.84	87.70	62.41	41.10	105.56	105.56
1967	53.69	63.51	86.63	100.86	144.06	156.72	153.16	155.64	110.41	96.51	56.43	36.87	101.21	101.21
1968	47.29	63.54	78.77	108.53	142.85	177.07	156.60	146.27	132.57	94.31	62.64	47.51	104.83	104.83
1969	48.48	50.81	74.44	108.30	148.35	154.70	166.24	158.90	122.54	84.20	59.54	43.66	101.68	101.68
1970	54.04	60.38	75.75	100.73	147.42	163.67	157.73	144.51	125.36	87.27	63.68	39.81	101.70	101.70
1971	55.85	66.84	95.61	119.66	146.76	181.52	180.18	155.73	146.74	90.03	63.02	38.18	111.68	111.68
1972	52.56	71.00	103.36	128.15	151.73	168.02	174.65	156.43	119.09	81.02	50.49	38.89	107.95	107.95
1973	48.03	58.23	71.68	107.32	159.79	188.45	175.62	152.22	131.35	91.76	59.94	47.76	107.68	107.68
1974	48.35	73.62	87.26	121.05	138.55	192.76	152.45	164.91	141.12	92.23	66.32	45.74	110.36	110.36
1975	58.09	65.28	81.46	98.88	150.36	151.17	144.10	169.25	131.80	96.75	70.31	51.83	105.77	105.77
1976	61.64	60.02	83.69	101.71	133.40	168.23	153.47	162.84	117.12	95.18	66.03	42.73	103.84	103.84
1977	37.94	63.99	71.90	110.27	114.84	168.26	161.07	142.15	118.45	109.56	69.22	39.83	100.62	100.62
1978	43.35	53.99	72.92	100.28	144.76	182.05	161.64	141.75	115.90	86.59	48.66	34.14	98.84	98.84
1979	41.75	60.46	65.43	113.34	130.49	166.20	159.68	142.69	136.88	95.36	59.07	44.88	101.35	101.35
1980	44.76	71.53	82.37	124.63	140.01	186.64	160.40	156.66	148.43	118.12	78.45	56.58	114.05	114.05
1981	61.75	78.02	79.50	129.53	122.98	169.66	147.20	148.71	125.00	93.83	63.83	51.09	105.93	105.93
1982	55.96	68.85	78.19	110.19	131.90	167.52	157.35	146.51	112.80	81.99			111.13	111.13
1983			84.73	108.48	135.39	150.36	171.99	132.19	117.87	88.38	57.02	52.28	109.87	109.87
1984	54.14	65.92	87.88	97.63	162.28	149.23	138.66	133.96	121.66	80.65	52.59	34.70	98.28	98.28
1985	54.47	70.16	88.19	149.13	160.81	180.51	174.82	161.41	129.05	79.14	49.45	59.42	113.05	113.05
1986	68.42	61.40	115.37	150.85	169.56	212.04	192.76	187.57	142.67	92.18	63.47	55.10	125.95	125.95
1987	58.36	67.10	125.15	144.84	156.43	162.11	166.55	156.03	128.10	101.52	62.54	44.29	114.42	114.42
1988	51.25	68.16	97.63	122.04	139.82	150.97	128.76	140.16	125.51	107.08			108.00	108.00
1989	52.67	75.70	100.72	140.31	148.82	160.08	168.57	175.70	142.33	104.34	78.52	60.74	117.38	117.38
1990	59.87		81.29	108.82	120.92	159.11	136.99	150.41	128.24				110.03	110.03
1991	51.14	79.40	65.11	105.75	137.80	142.63	147.04	132.47			71.43	48.41	98.12	98.12
1992	52.06			113.29	127.58	164.11	139.70	133.85	130.62	91.59	65.99	43.42	106.22	106.22
1993	51.12	55.80	94.78	113.03	125.28	170.11	158.62	138.74	137.07	92.48	79.71	66.34	106.92	106.92
1994	56.55	65.79	82.70	99.48	119.38	158.00	146.46	140.06	112.06	87.02	56.05	38.34	96.82	96.82
1995	47.36	75.10	75.32	105.50	102.83	151.22	148.31	126.18	124.94	116.59	90.71	53.08	101.43	101.43
1996						129.64	133.75	92.88	73.52	57.55	69.85	65.74	88.99	88.99
1997	60.76	75.72	93.75	92.37	128.44	140.59	151.19	130.03	107.88	95.89	54.42	53.55	98.72	98.72
1998	81.90	107.72	133.49	190.66	171.09	164.91	166.34	140.01	120.24	98.31	55.90	51.15	123.48	123.48
1999	66.56	77.24	83.96	109.41	132.90	165.28	144.95	141.92	126.54	104.13	72.13	51.48	106.37	106.37
2000	60.73	68.74	78.57	105.23	150.40	131.61	143.64	143.59	112.92	84.43	50.10	61.00	99.25	99.25
2001	62.76	56.89	70.32	106.57	153.01	168.22	151.97	134.15	144.66	95.35	47.56	49.42	103.41	103.41
2002	45.32	67.10	77.81	116.88	123.47	156.68	155.10	147.08	114.53	87.51	46.24	44.52	98.52	98.52
2003	46.27	57.61	78.11	92.75	105.60	171.33	154.77	142.12	125.96	110.75	53.27	48.46	98.92	98.92
2004	43.16	64.08	95.37	94.68	151.53	151.09	150.91	139.64	144.59	82.64	72.82	52.85	103.61	103.61
2005													105.19	105.19
Media	51.21	63.43	82.93	112.73	135.43	161.55	156.83	143.94	122.42	89.21	59.24	45.79	101.50	101.50

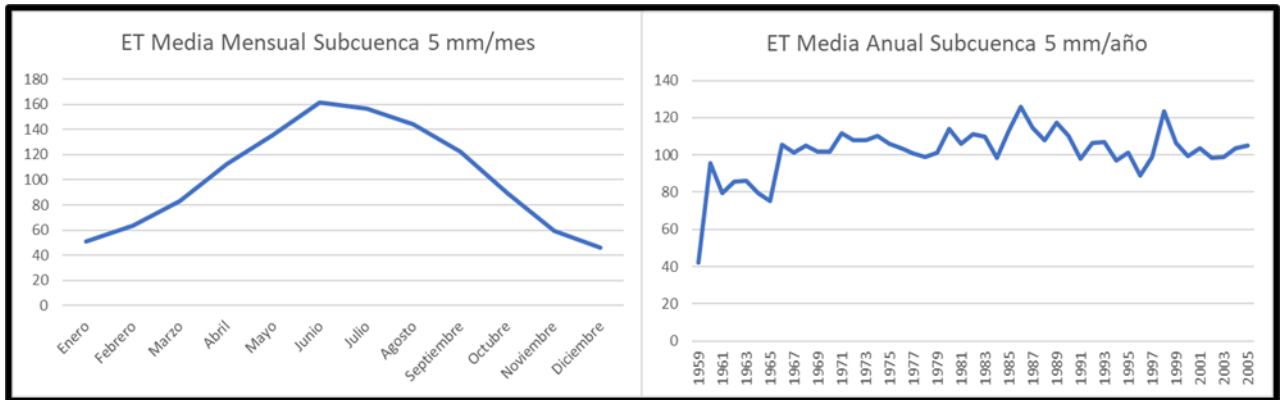


Figura 37. Gráficas de evapotranspiración de la subcuenca 5 mm/mes y mm/año.

La gráfica de evapotranspiración media mensual de la microcuenca 5 muestra que los meses de mayo junio, julio, agosto y septiembre son donde se tiene un mayor número de esta. Para la evapotranspiración media anual no deben considerarse los años de 1959 y 2005 pues no presentan suficientes datos. El comportamiento anual ronda de entre 125 a 80 mm/año.

4.4 Gasto

Se le llama escorrentía al agua que circula por los cauces de los ríos. A los volúmenes circulantes en unidades de tiempo pequeñas (generalmente segundos) se les denomina caudales instantáneos del río en el punto del cauce en el que se miden, expresándose en m^3/s (Martínez, *et al*, 2006). Si se mide el gasto (que se define como el volumen de escurrimiento por unidad de tiempo) que pasa de manera continua durante todo un año por una determinada sección transversal de un río y se grafican los valores obtenidos contra el tiempo, se obtendría una gráfica como la de la Figura 38. Se le denomina hidrograma, como cualquiera que relacione el gasto contra el tiempo. La Figura 38 representa un hidrograma anual; si la escala del tiempo se amplía de tal manera que se pueda observar el escurrimiento producido por una sola tormenta, se tendría una gráfica como la que se muestra en la Figura 39 (Aparicio, 1992).

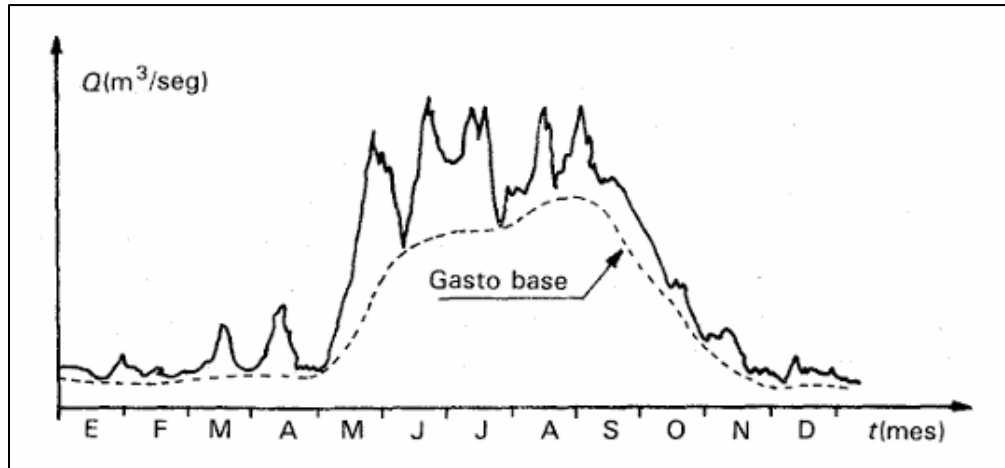


Figura 38. Ejemplo de Hidrograma (Aparicio, 1992).

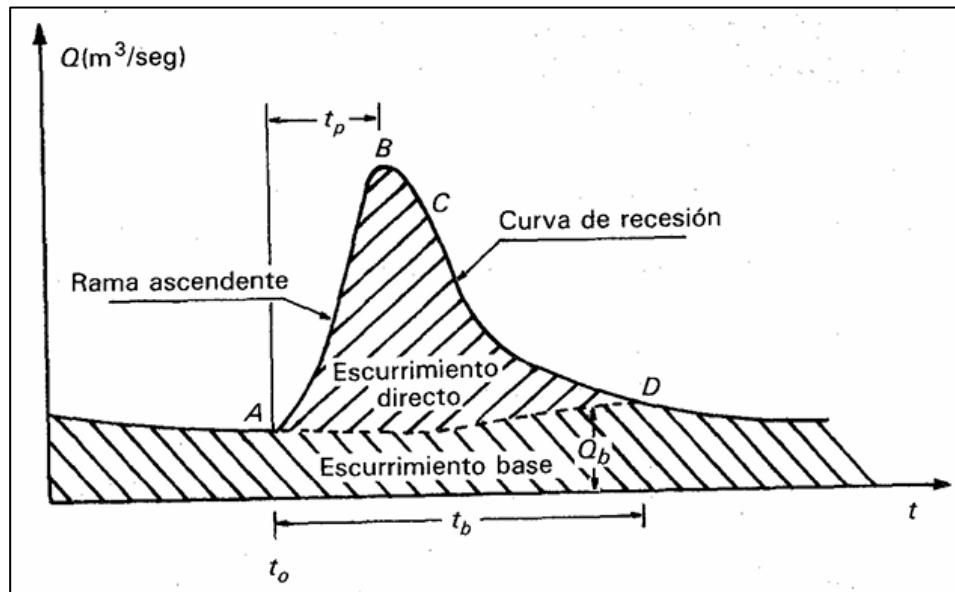


Figura 39. Ejemplificación de Hidrograma aislado (Aparicio, 1992).

Aunque la forma de los hidrogramas producidos por tormentas particulares varía no solo de una cuenca a otra, sino también de tormenta a tormenta, es posible, en general, distinguir las siguientes partes en cada hidrograma (Aparicio, 1992):

- Punto de levantamiento: En este punto, el agua proveniente de la tormenta bajo análisis comienza a llegar a la salida de la cuenca y se produce inmediatamente después de iniciada la tormenta, durante la misma o incluso cuando ha transcurrido ya algún tiempo después de que cesó de llover, dependiendo de varios factores, entre los que se pueden mencionar el tamaño de la cuenca, su sistema de drenaje y suelo, la intensidad y duración de la lluvia, etc.

- Pico: Es el gasto máximo que se produce por la tormenta.
- Punto de inflexión: En este punto es aproximadamente cuando termina el flujo sobre el terreno, y, de aquí en adelante, lo que queda de agua en la cuenca escurre por los canales y como escurrimiento subterráneo.
- Final del escurrimiento directo: De este punto en adelante el escurrimiento es sólo de origen subterráneo. Normalmente se acepta como el punto de mayor curvatura de la curva de recesión, aunque pocas veces se distingue de fácil manera.
- Tiempo de pico: Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el pico del hidrograma.
- Tiempo base: Es el tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento hasta el punto final del escurrimiento directo. Es, entonces, el tiempo que dura el escurrimiento directo.
- Rama ascendente (curva de crecida): Es la parte del hidrograma que va desde el punto de levantamiento hasta el pico.
- Rama descendente o curva de recesión (curva de descenso): Es la parte del hidrograma que va desde el pico hasta el final del escurrimiento directo. Tomada a partir del punto de inflexión, es una curva de vaciado de la cuenca.

También está la curva de agotamiento que se relaciona con la curva de descenso. Este hecho se manifiesta por una ruptura de pendiente en el hidrograma que marca su inicio, y que se extiende hasta el inicio de la siguiente curva de crecida. Esta curva indica la evolución de los caudales, en el punto del río considerado, una vez que ha cesado el efecto de la tormenta (no toda el agua de la tormenta alcanza el cauce del río puesto que una parte de esta vuelve a la atmósfera por evapotranspiración) (Martínez, *et al*, 2006).

4.4.1 Estaciones hidrométricas

Las estaciones hidrométricas miden los gastos. Debe ser accesible en cualquier tiempo y bajo cualquier condición, especialmente durante avenidas, debiendo ser capaz de cubrir todo el rango de gastos que puedan ocurrir. Debe estar en un tramo recto, lo más estable posible, de manera que las variaciones que tenga la curva elevaciones-gastos, sean razonablemente pequeñas. La estación debe estar situada de tal manera que nunca sea destruida por una avenida. Una de las características más deseables de un registro es que sea continuo y que esté formado en un mismo sitio (Aparicio, 1992). Las estaciones hidrométricas 1026, 1023, 1027, 1025 y 1024 presentes en el área de estudio se explican

en las Tablas 82, 83, 84, 85 y 86 respectivamente, las cuales a su vez fueron obtenidas del BANDAS (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales), y que se muestran en el ANEXO 3.

Estación hidrométrica 1024 - Santo Domingo: Baja California (30°46'N, 115°52'W), monitorea el Arroyo Santo Domingo (1,100 km²) desde 1949. Registra caudales con cablevía de 86 m, vertedor de 1.05 m y limnógrafo Stevens, documentando máximos de 217.16 m³/s (1965) y mínimos de 0 m³/s. La estación climatológica adjunta mide la lluvia y temperatura desde 1962, con análisis de sólidos en suspensión desde 1965. El tramo tiene lecho arenoso y laderas rocosas con vegetación abundante.

Estación hidrométrica 1025 - San Vicente: Baja California (31°23'N, 116°09'W) monitorea el Arroyo San Isidro (1,230 km²) desde 1960, registrando caudales mediante cablevía de 60 m, vertedor de 1.5 m y limnógrafo Stevens. Documenta extremos de 92.8 m³/s (máximo histórico) y 0.005 m³/s (mínimo), con aforos por sección-velocidad usando molinete Lietz. La estación climatológica adyacente "La Providencia" opera desde 1953 midiendo lluvia, temperatura y evaporación. El cauce presenta un lecho arcillo-arenoso y laderas rocosas, con sección trapecial para medir escurrimientos pequeños y grandes avenidas.

Estación hidrométrica 1023 - Agua Caliente: Baja California (32°06'N, 116°27'W) monitorea el Arroyo Guadalupe (1,577 km²) desde 1948, registrando caudales mediante cablevía de 63 m, vertedores trapezoidales y limnógrafo Stevens. Documenta extremos de 421 m³/s (máximo) y 0 m³/s (mínimo), con aforos por sección-velocidad usando molinete Choper. La estación climatológica adyacente opera desde 1954 midiendo lluvia y temperatura, con análisis de sólidos en suspensión desde 1966. El cauce en el Cañón Agua Caliente presenta lecho arenoso-arcilloso y márgenes rocosas, con sección trapecial para medición de caudales.

Estación hidrométrica 1026 - San Carlos: Baja California (31°49'N, 116°26'W) monitorea el Arroyo San Carlos (685 km²) desde 1962, registrando caudales mediante cablevía de 43 m, vertedor rectangular de 1.5 m y limnógrafo Stevens. Documenta extremos de 12.9 m³/s (máximo histórico) y 0 m³/s (mínimo), con aforos por sección-velocidad usando molinete hidráulico. La estación climatológica adyacente opera desde 1962 midiendo lluvia, temperatura y evaporación, con análisis de sólidos en suspensión desde 1965. El cauce presenta lecho arcilloso con grava y laderas rocosas, con sección trapecial para medición de caudales.

Estación hidrométrica 1027 - Boquilla Santa Rosa: Baja California (32°01'N, 116°45'W) monitorea el Río Guadalupe (1,930 km²) desde 1962, registrando caudales mediante cablevía de 98 m y limnógrafo Campirano. Documenta extremos de 466 m³/s (máximo histórico) y 0 m³/s (mínimo), con aforos por sección-velocidad usando molinete Chope. La estación climatológica adyacente opera desde 1965 midiendo lluvia, temperatura y evaporación, con análisis de sólidos en suspensión desde 1966. El cauce presenta lecho arcilloso con cantos rodados y laderas rocosas, con sección trapecial para medición de caudales.

Los datos del gasto obtenido de las estaciones hidrométricas comienzan desde el año 1948, pero debido a que los valores de precipitación que se tienen comienzan desde 1957, se utilizó el gasto a partir de este mismo año. Sin embargo, estos datos terminan en el año de 2007, haciendo que la serie se acorte a este mismo año. Los valores obtenidos por mes-año a partir del año de 1957 se muestran en la Tabla 28. Hay algunos años que no se tienen datos, como en el 2006, esto afectará directamente a la serie de datos de Precipitación Media Mensual Anual y Evapotranspiración Media Mensual Anual que son las que ocupa el modelo, ya que necesitan estar todos los valores de estas variables para que el modelo se pueda correr.

Tabla 28. Gasto medio mensual anual cuenca general m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Gasto Medio Mensual Anual												Media	
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1957	0.35	0.38	0.10	0.07	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08
1958	0.02	1.94	7.54	4.10	0.37	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	1.17
1959	0.07	0.45	0.22	0.02	0.00									0.15
1960	0.04	0.10	0.07	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.10	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04
1961	0.05	0.05	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03
1962	0.07	0.10	0.11	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04
1963	0.03	0.09	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
1964	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
1965	0.04	0.05	0.04	0.22	0.03	0.02	0.02	0.08	0.01	0.01	0.04	0.85	0.12	0.12
1966	0.42	0.99	0.56	0.19	0.07	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.05	0.52	0.24	0.24
1967	0.12	0.08	0.05	0.08	0.03	0.02	0.02	0.08	0.45	0.04	0.05	0.34	0.11	0.11
1968	0.12	0.08	0.11	0.05	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
1969	0.83	0.88	0.52	0.14	0.06	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.22	0.22
1970	0.04	0.11	0.65	0.07	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.09	0.09
1971	0.05	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.27	0.02	0.05	0.03	0.36	0.08	0.08
1972	0.10	0.06	0.03	0.01	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.04	0.09	0.06	0.04	0.04
1973	0.05	0.27	0.91	0.17	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.13
1974	0.15	0.04	0.07	0.03	0.01	0.01	0.43	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.07	0.07
1975	0.04	0.04	0.07	0.15	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04
1976	0.03	2.19	0.21	0.37	0.07	0.01	0.01	0.01	0.85	0.04	0.06	0.03	0.32	0.32
1977	0.11	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	0.54	0.02	0.01	0.01	0.18	0.08	0.08
1978	4.14	10.89	28.93	2.66	0.61	0.16	0.17	0.19	0.07	0.06	0.47	5.61	4.50	4.50
1979	9.01	8.74	9.29	4.31	1.30	0.64	0.47	0.26	0.17	0.19	0.27	0.28	2.91	2.91
1980	5.15	59.64	22.71	5.50	2.72	1.10	0.83	0.82	0.47	0.54	0.62	0.63	8.40	8.40
1981	0.62	0.74	1.46	0.58	0.29	0.17	0.15	0.13	0.15	0.19	0.29	0.32	0.42	0.42
1982	0.62	2.25	2.19	1.08	0.25	0.18	0.11	0.51	0.25	0.15	0.65	4.25	1.04	1.04
1983	2.22	15.76	40.24	8.28	3.88	0.95	0.40	2.38	0.98	0.79	0.69	1.14	6.48	6.48
1984	0.93	0.59	0.44	0.48	0.22	0.15	1.77	1.23	0.29	0.22	0.27	1.45	0.67	0.67
1985	1.11	0.82	0.50	0.26	0.12	0.07	0.18	0.03	0.10	0.12	0.78	0.68	0.40	0.40
1986	0.40	0.85	1.43	0.42	0.19	0.12	0.10	0.08	0.09	0.13	0.21	0.23	0.35	0.35
1987	0.21	0.40	0.55	0.20	0.13	0.07	0.06	0.08	0.09	0.08	0.30	0.55	0.23	0.23
1988	1.09	0.69	0.25	0.24	0.14	0.09	0.10	0.07	0.07	0.07	0.10	0.18	0.26	0.26
1989	0.26	0.20	0.15	0.11	0.07	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.09	0.09
1990	0.19	0.21	0.13	0.15	0.10	0.00	0.01	0.08	0.23	0.02	0.03	0.05	0.10	0.10
1991	0.12	0.56	16.71	1.13	0.38	0.16	0.08	0.04	0.08	0.03	0.03	0.11	1.62	1.62
1992	0.32	0.99	1.61	1.23	0.31	0.19	0.12	0.27	0.31	0.08	0.08	0.17	0.47	0.47
1993	40.86	27.86	9.30	3.19	1.51	1.27	0.63	0.71	0.73	0.81	0.98	0.76	7.38	7.38
1994	1.33	1.98	1.11	0.53	0.38	0.21	1.63	0.19	0.24	0.15	0.31	0.35	0.70	0.70
1995	2.61	2.52	2.96	1.48	1.04	0.68	0.37	0.22	0.20	0.11	0.12	0.26	1.05	1.05
1996	0.33	0.43	0.77	0.46	0.17	0.09	0.05	0.06	0.11	0.23	0.17	0.13	0.25	0.25
1997	0.93	1.25	0.24	0.52	0.23	0.12	0.09	0.13	0.15	1.42	0.48	0.56	0.51	0.51
1998	0.49	6.85	7.12	3.32	0.86	0.39	0.41	0.70	0.34	0.30	0.17	0.23	1.77	1.77
1999	0.24	0.33	0.27	0.30	0.15	0.08	0.17	0.05	0.05	0.06	0.07	0.11	0.16	0.16
2000			0.13	0.17	0.15	0.04	0.09	0.04	0.03	0.03	0.11	0.08	0.09	0.09
2001	0.18	0.34	0.55	0.30	0.12	0.08	0.04	0.03	0.06	0.04	0.05	0.11	0.16	0.16
2002	0.17	0.30	0.14	0.11	0.08	0.06	0.07	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.10
2003	0.08	0.14	0.17	0.13	0.08	0.10	0.08	0.08	0.08	0.05	0.10	0.06	0.10	0.10
2004	0.08	0.10	0.18	0.12	0.07	0.06	0.07	0.06				0.16	0.10	0.10
2005	1.05			0.16	0.16								0.46	0.46
2007	0.98	2.24	1.68										1.63	1.63
Media	1.60	3.24	3.32	0.88	0.34	0.16	0.19	0.21	0.15	0.14	0.18	0.45	0.91	0.91

4.4.2 Gasto Medio Anual

Con la Tabla 28 se obtuvo el gasto medio anual, el cual se observa en la Figura 40. Los picos más altos del gasto medio anual 4.50, 2.91, 8.40 y 6.48 (m³/s/año) se alcanzaron en los años 1978, 1979 y 1980, y el año 1983 respectivamente. Los años donde los valores de gasto fueron más bajos fueron de los años 1960-1964, con valores de 0.03-0.04 m³/s/año.

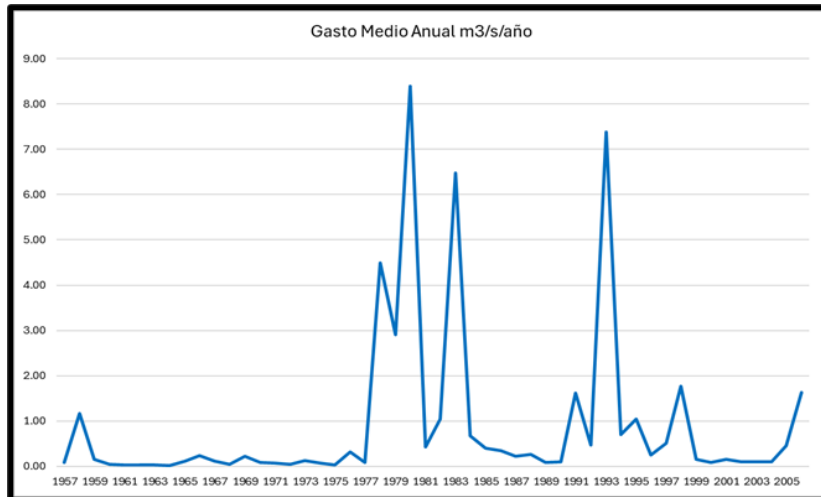


Figura 40. Gasto medio anual $m^3/s/año$.

Los datos de gasto mostrados no son muy grandes, pero se tienen picos muy marcados, esto puede deberse a diversos factores, desde el tipo de clima en la zona, fenómenos como El Niño y La Niña, inundaciones y sequías históricas, la gestión de las presas, cambios de usos de suelo (deforestación o urbanización) y la creación de canales artificiales para cubrir la demanda agrícola y urbana.

4.4.3 Gasto Medio Mensual

Siguiéndose el mismo procedimiento para el cálculo del gasto medio mensual que el de la Precipitación Total Media Mensual, y que se muestran en la Tabla 28. La gráfica de esta tabla se muestra en la Figura 41, los datos en $m^3/s/mes$ y siendo:

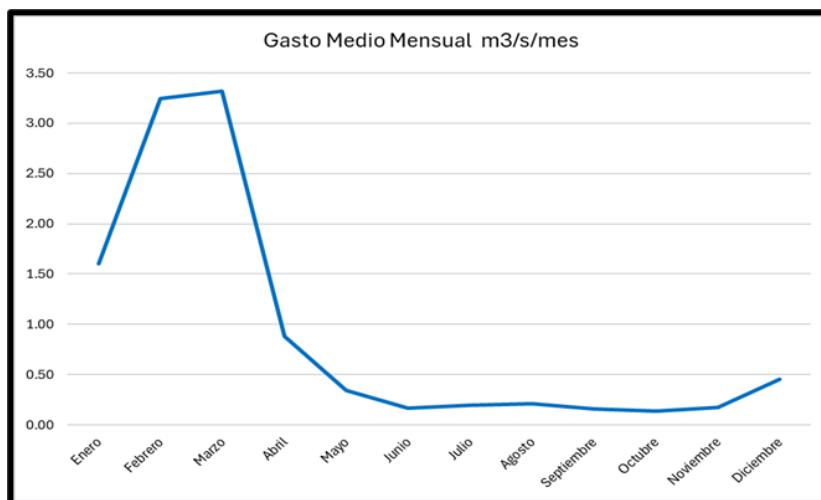


Figura 41. Gráfica del Gasto Medio Mensual de la Cuenca del Río Colorado.

En la gráfica se muestra claramente que los meses de enero, febrero y marzo son los que tienen en promedio mayor gasto, ya que tienen 1.60, 3.24 y 3.32 m³/s/mes (período de avenida), el cual decrece a 0.88 m³/s en abril, y va decreciendo hasta tener su valor más bajo en junio con un valor de 0.14 m³/s (período de estiaje), y no vuelve a tener un ascenso notorio hasta el mes de diciembre. Se observa que los meses con mayor gasto o caudal son los meses de enero, febrero, marzo y abril, mientras que los meses con menor gasto son los meses de mayo a noviembre.

4.4.4 Gastos CILA

Como se mencionó en el Capítulo II, se obtuvo la variable de gasto a través de las entregas de aguas registradas en el CILA, con un período de tiempo de 2005 a 2020. Lo primero que se realizó fue la obtención de la información preliminar de los gastos medios diarios entregados a México. Se toma como ejemplo al mes de enero de 2025, el cual se observa en la Tabla 29.

Tabla 29. Gasto medio diario entregado del mes de enero de 2025 m³/s/mes. LIN: Lindero Internacional Norte; LIS: Lindero Internacional Sur.

RIO COLORADO ENERO DE 2005 ENTREGAS DE AGUA A MÉXICO			
DIA	L.I.N. (Presa Morelos)	L.I.S. (Canal S. Mejorada)	VOLUMEN ENTREGADO
	m3/s	m3/s	m3
1	55	5.7	5,244,480
2	53.2	4.72	5,004,288
3	47.8	4.75	4,540,320
4	53.2	5.52	5,073,408
5	95.7	2.91	8,519,904
6	101	2.68	8,957,952
7	79.4	2.72	7,095,168
8	64.7	3.56	5,897,664
9	57.1	2.92	5,185,728
10	53.5	2.65	4,851,360
11	52.2	2.34	4,712,256
12	50.6	2.36	4,575,744
13	50.5	3.27	4,645,728
14	48.5	4.55	4,583,520
15	45.9	5.9	4,475,520
16	47.5	5.18	4,551,552
17	54.1	5.58	5,156,352
18	53.9	4.47	5,043,168
19	54.3	4.74	5,101,056
20	54.1	5.16	5,120,064
21	53.7	4.72	5,047,488
22	52.1	4.81	4,917,024
23	53.1	5.49	5,062,176
24	60	6.15	5,715,360
25	59.1	4.48	5,493,312
26	61.3	3.13	5,566,752
27	87.7	1.77	7,730,208
28	86.5	1.48	7,601,472
29	61.4	1.49	5,433,696
30	60.9	2.44	5,472,576
31	67.8	3.7	6,177,600
Volumen Total en el mes			172,552,896
Volumen Medio Total en el mes			5,566,222

Se obtuvo el Volumen total en el mes al sumar los datos de todos los días, dando un total de 172,552,896 m³ de agua, así como el Volumen Medio total en el mes que fue de 5,566,22 m³. Se muestra en la Tabla 30 al Volumen Total entregado de agua por cada mes en el período de 2005 a 2024.

Tabla 30. Volumen Total entregado de agua de 2005 a 2024 m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Volumen Total Entregado												en Total Entr	Media
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
2005	172552896	229093920	264,771,93	245318112	139536864	134928288	152610048	145223712	112723488	109155168	120820896	154205856	1716169248	156015386
2006	154643040	184700736	257314752	238997952	134610336	158022144	153456768	121643424	115014816	97462656	122110848	149354496	1887331968	157277664
2007	151321824	183266496	249830784	243512352	134252640	144997344	151713216	118806048	112332960	97268256	126501696	154853856	1868657472	155721456
2008	162923616	189159840	250405344	250884000	138205440	142426944	150196896	133549344	119062397	101947766	142348320	171421834	1952531741	162710978
2009	147786682	199461398	257063328	254470896	150235603	139129056	157304160	127338048	114443712	92956118		165055968	1805244969	164113179
2010	214615008	173019456	286658784	257613696	140126976	137954880	155391264	125032032	115686144	135478656	140523552		1882100448	171100041
2011	173416896	213166944	245422656	250650720	141240672	147970368	156040128	118192608	110593728	75085920	113002560	128913293	1873696493	156141374
2012	161447040	194792256	233512416	225225792	121222656	126174240	152577216	127660320	109785888	84167424	106388294	162084326	1805037868	150419822
2013	175074912	191014848	235683648										601773408	200591136
2014	235683648	198665568	260402688	244049760	130653216	137903040	145456992	123412896	114106752	80345088	109116288	120702528	1900498464	158374872
2015	179680896	212142240	269144640	258208128	139494528	133865568	134392608	114531840	110082240	72144000	114281280	128710080	1866678048	155556504
2016	128710081	128710082	128710083	128710084	128710085	128710086	128710087	128710088	128710089	128710090	128710091	128710092	1544521038	128710087
2017	128710093	128710094	128710095	128710096	128710097	128710098	128710099	128710100	128710101	128710102	128710103	128710104	1544521182	128710099
2018	128710105	128710106	128710107	128710108	128710109	128710110	128710111	128710112	128710113	128710114	128710115	128710116	1544521326	128710111
2019	128710117	128710118	128710119	128710120	128710121	128710122	128710123	128710124	128710125	128710126	128710127	128710128	1544521470	128710123
2020	128710129	128710130	128710131	128710132	128710133	128710134	128710135	128710136	128710137	128710138	128710139	128710140	1544521614	128710135
2021	128710141	128710142	128710143	128710144	128710145	128710146	128710147	128710148	128710149	128710150	128710151	128710152	1544521758	128710147
2022	128710153	128710154	128710155	128710156	128710157	128710158	128710159	128710160	128710161	128710162	128710163	128710164	1544521902	128710159
2023	128710165	128710166	128710167	128710168	128710169	128710170	128710171	128710172	128710173	128710174	128710175	128710176	1544522046	128710171
2024	128710177	128710178	128710179	128710180	128710181	128710182	128710183	128710184	128710185	128710186	128710187		1415812002	128710182

Lo siguiente que se realizó fue dividir cada uno de los datos medios diarios de volumen de agua entregado entre 86,400, que son los segundos que tiene aproximadamente el día para poder obtener el gasto medio diario. Nuevamente se utiliza el mes de enero de 2005 como ejemplo y se muestra en la Tabla 31, dando como Gasto Medio Diario Total 1997.14.

Tabla 31. Gasto Medio Diario de enero de 2005 en m³/s/mes.

ENERO DE 2005	
1	60.70
2	57.92
3	52.55
4	58.72
5	98.61
6	103.68
7	82.12
8	68.26
9	60.02
10	56.15
11	54.54
12	52.96
13	53.77
14	53.05
15	51.80
16	52.68
17	59.68
18	58.37
19	59.04
20	59.26
21	58.42
22	56.91
23	58.59
24	66.15
25	63.58
26	64.43
27	89.47
28	87.98
29	62.89
30	63.34
31	71.50
Gasto	1997.14
Gasto Medio Total en el mes	64.42

El valor del Gasto Total del mes (m³/s), también se puede obtener de dividir 172,552,896 m³ entre 86,400 segundos, para obtener 1997.14 m³/s para enero de 2005, en la Tabla 32 se muestran estos valores para todos los meses del período 2005-2024. También se obtuvo el valor de Gasto Medio Diario Total en el mes, que, para este mes, fue de 64.42 m³/s.

Tabla 32. Volumen Medio Total Entregado 2005-2024 m³/s/mes y m³/s/año.

	Gasto Medio Mensual-Anual												Volumen Total	Media
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre		
2005	1997.14	2651.55	3064.49	2839.33	1614.78	1561.44	1766.32	1680.83	1304.44	1263.37	1398.39	1784.79	22926.87	1910.57
2006	1789.85	2137.74	2978.18	2766.18	1557.99	1828.96	1776.12	1407.91	1331.19	1128.04	1413.32	1728.64	21844.12	1820.34
2007	1751.41	2121.14	2891.56	2818.43	1553.85	1678.21	1755.94	1375.07	1300.15	1125.79	1464.14	1792.29	21627.98	1802.33
2008	1885.69	2189.35	2898.21	2903.75	1599.60	1648.46	1738.39	1545.71	1377.93	1179.95	1647.55	1984.05	22598.64	1883.22
2009	1710.49	2308.58	2975.27	2945.26	1738.84	1610.29	1820.65	1473.82	1324.58	1075.88	-	1910.37	20894.03	1899.46
2010	2483.97	2002.54	3317.81	2981.64	1621.84	1596.70	1798.51	1447.13	1338.96	1568.04	1626.43	-	21783.57	1980.32
2011	2007.14	2467.21	2840.54	2901.05	1634.73	1712.62	1805.56	1368.00	1280.02	869.05	1307.90	1492.05	21685.87	1807.16
2012	1868.60	2254.54	2702.69	2606.78	1403.04	1460.35	1765.94	1477.55	1270.67	974.16	1231.35	1875.98	20891.65	1740.97
2013	2026.33	2210.82	2727.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6964.97	2321.66
2014	2727.82	2299.37	3013.92	2824.65	1512.19	1595.87	1683.53	1428.39	1320.68	929.92	1262.92	1396.93	21996.19	1833.02
2015	2079.64	2455.35	3114.98	2988.52	1614.52	1549.37	1555.47	1325.60	1273.87	834.96	1322.70	1489.70	21604.68	1800.39
2016	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2017	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2018	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2019	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2020	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2021	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2022	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2023	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	17876.40	1489.70
2024	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	1489.70	0.00	16386.70	1365.56
Gasto Medio Mensual Total	35735.38	38505.49	45932.77	41982.89	29258.68	29649.57	30873.73	27937.31	26529.79	24356.46	26082.00	27372.40	384216.47	
Media	1786.77	1925.27	2296.64	2209.63	1539.93	1560.50	1624.93	1470.38	1396.30	1281.92	1449.00	1520.69	19210.82	

En la Tabla 33 se muestra el Gasto Medio Mensual Anual obtenido del CILA para el período de 2005-2024. Estos datos (en donde la serie año-mes está completa) muestran como el Gasto Medio Mensual-Anual ha ido disminuyendo paulatinamente.

Tabla 33. Gasto Medio Diario Mensual-Anual CILA 2005-2024 m³/s/mes y m³/s/año.

Gasto Medio Mensual Anual CILA 2005-2024														
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	en Total Entr	Media
2005	64.42	85.53	98.85	183.18	52.10	50.38	56.98	54.22	42.09	40.75	45.11	57.57	831.19	69.27
2006	57.74	68.96	96.07	89.23	50.26	59.00	57.29	45.42	42.94	36.39	45.59	55.76	704.65	58.72
2007	56.50	68.42	93.28	90.92	50.12	54.14	56.64	44.36	41.94	36.32	47.23	57.82	697.68	58.14
2008	60.83	70.62	93.49	93.67	51.60	53.18	56.08	49.86	44.45	38.06	53.15	64.00	728.99	60.75
2009	55.18	74.47	95.98	95.01	56.09	51.94	55.18	47.54	42.73	34.71		61.62	670.45	60.95
2010	80.13	64.60	107.03	96.18	52.32	51.51	58.02	46.68	43.19	50.58	52.47		702.70	63.88
2011	64.75	79.59	91.63	93.58	52.73	55.25	58.26	44.13	41.29	28.03	42.19	48.13	699.56	58.30
2012	60.28	72.73	87.18	84.09	45.26	47.11	56.97	47.66	40.99	31.42	39.72	60.52	673.92	56.16
2013	65.37	71.32	87.99										224.68	74.89
2014	59.71	74.17	97.22	91.12	48.78	51.49	54.31	46.08	42.60	30.00	40.74	45.07	681.28	56.77
2015	67.09	79.20	100.49	96.40	52.08	49.98	50.18	42.76	41.10	26.94	42.67	48.05	696.94	58.08
2016	71.02	82.86	101.56	93.87	44.57	42.13	46.96	45.50	42.05	27.60	44.41	51.54	694.06	57.84
2017	57.94	73.57	93.29	83.27	50.82	57.70	60.01	47.02	47.44	29.90	45.53	49.99	696.48	58.04
2018	57.48	66.80	89.52	80.52	56.78	62.15	61.01	47.99	43.05	31.02	44.52	47.89	688.74	57.39
2019	55.93	65.45	85.97	78.21	58.53	63.63	67.05	51.10	47.33	30.69	56.90	37.27	698.09	58.17
2020	43.00	61.02	88.75	76.27	58.11	63.11	69.12	58.19	51.06	30.57	42.15	41.13	682.46	56.87
2021	56.36	57.44	86.23	76.79	63.17	64.63	64.12	53.47	51.28	30.22	42.00	40.88	686.61	57.22
2022	52.44	58.54	77.88	74.13	63.25	65.62	65.49	52.59	48.16	30.60	40.46	39.60	668.75	55.73
2023	56.29	59.61	77.23	70.31	61.89	59.77	60.27	48.41	56.38	31.18	39.38	38.26	658.98	54.92
2024	51.29	40.57	70.09	66.75	58.71	64.85	63.59	48.35	43.13	32.56	12.08		551.97	50.18

Si se observa la media del Gasto Medio Diario Mensual-Anual, el valor del año 2005 (69.27 m³/s) disminuye para el año de 2023 (54.92 m³/s). Esto es un reflejo de los diversos factores que se han ido mencionando a lo largo de este trabajo (malas gestiones, sequía prolongada, malas políticas binacionales, cambio climático, etc.)

Los datos del gasto obtenido del CILA no se utilizan para las distribuciones estadísticas y los límites de confianza, pues son datos provenientes de las presas, que están sujetos a diversos factores como los niveles de agua que se tengan en ese momento.

4.4.5 Gasto en las Subcuencas

Gasto de Subcuenca 1

De la estación 1026 se obtuvieron los siguientes datos de gasto medio mensual anual para la subcuenca 1. Estos se muestran en la Tabla 34. Los años de 1961, 1991 y 2005 no deben considerarse como datos confiables para la interpretación anual de la subcuenca.

Tabla 34. Gasto medio mensual anual Subcuenca 1 m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Gasto Medio Mensual Anual Subcuenca 1												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1961									0.01	0.01	0.04	0.05	0.03
1962	0.06	0.07	0.09	0.04	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03
1963	0.04	0.06	0.07	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.08	0.06	0.04
1964	0.06	0.05	0.07	0.05	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03
1965	0.09	0.09	0.07	0.10	0.06	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.25	0.06
1966	0.20	0.30	0.12	0.06	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.52	0.12
1967	0.07	0.06	0.05	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.07	0.03
1968	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04
1969	0.11	0.18	0.17	0.08	0.03	0.05	0.05	0.01	0.02	0.02	0.04	0.04	0.07
1970	0.03	0.05	0.13	0.05	0.03	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03
1971	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02
1972	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.07	0.03
1973	0.05	0.11	0.41	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.06
1974	0.07	0.06	0.06	0.05	0.02	0.02	0.08	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04
1975	0.05	0.06	0.07	0.08	0.04	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03
1976	0.04	0.10	0.06	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.05	0.02	0.04
1977	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.11	0.03	0.01	0.02	0.05	0.03
1978	0.82	3.19	10.90	0.67	0.15	0.07	0.04	0.03	0.07	0.04	0.11	0.25	1.36
1979	0.28	3.25	3.01	1.25	0.52	0.41	0.42	0.13	0.10	0.14	0.16	0.15	0.82
1980	1.24	7.39	7.68	2.69	1.72	1.07	0.63	0.83	0.46	0.43	0.49	0.53	2.10
1981	0.58	0.63	0.96	0.41	0.24	0.20	0.15	0.14	0.14	0.16	0.20	0.18	0.33
1982	0.24	0.70	0.76	0.57	0.24	0.17	0.13	0.13	0.12	0.12	0.17	0.71	0.34
1983	0.56	2.82	14.00	3.96	2.44	1.24	0.69	5.03	0.67	0.61	0.69	0.83	2.80
1984	0.84	0.54	0.39	0.28	0.12	0.11	2.51	0.85	0.14	0.19	0.28	0.82	0.59
1986	0.25	0.41	0.73	0.23	0.14		0.11	0.12	0.11	0.11	0.13	0.15	0.23
1987	0.16	0.24	0.29	0.18	0.16		0.12	0.13	0.13	0.15	0.20	0.27	0.19
1988	0.72	0.23	0.22	0.21	0.14		0.12	0.11	0.15	0.13	0.15	0.17	0.21
1989	0.17	0.16	0.15	0.13	0.12		0.07	0.08	0.09	0.11	0.11	0.12	0.12
1990	0.18	0.17	0.13										0.16
1991												0.12	0.12
1992	0.17	0.28	0.40	0.44	0.13	0.13	0.21	0.46	0.81	0.17	0.12	0.20	0.29
1993	1.95	4.15	1.11	0.50	0.26	0.21	0.32	0.14	0.07	0.07	0.23	0.48	0.79
1994	1.33	1.98	1.11	0.53	0.37	0.19	1.63	0.11	0.23	0.12	0.17	0.26	0.67
1995	2.04	0.83		0.81	0.74	0.32	0.15		0.10	0.11	0.11	0.33	0.55
1996	0.26	0.42	0.34	0.29	0.14	0.12	0.08	0.06	0.13	0.23	0.24	0.14	0.20
1997	0.16		0.21	0.22	0.12	0.23	0.12	0.17	0.24	0.12	0.13	0.21	0.17
1998	0.17	1.78		0.37	0.20	0.39	0.21	0.27		0.20	0.28	0.32	0.45
1999	0.25	0.36	0.34	0.37	0.20	0.11	0.40	0.11	0.10	0.11		0.14	0.23
2000			0.18	0.15	0.12	0.09	0.09	0.07	0.07	0.08	0.13	0.09	0.11
2001	0.16	0.17	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05	0.05	0.06	0.07	0.09	0.19	0.11
2002	0.13	0.12	0.15	0.13	0.20	0.09	0.07	0.06	0.08	0.10	0.10	0.12	0.11
2003	0.13	0.21	0.29	0.21	0.13	0.18	0.14	0.08	0.08	0.05	0.10	0.10	0.14
2004	0.13	0.16	0.18	0.12	0.07	0.06	0.07	0.06				0.16	0.11
2005	1.05			0.16	0.16								0.46
Media	0.37	0.81	1.16	0.39	0.23	0.16	0.22	0.24	0.11	0.10	0.13	0.20	0.33

De la Tabla 34 se obtuvieron las siguientes gráficas de gasto medio anual y gasto medio mensual, que se muestran en la Figura 42.

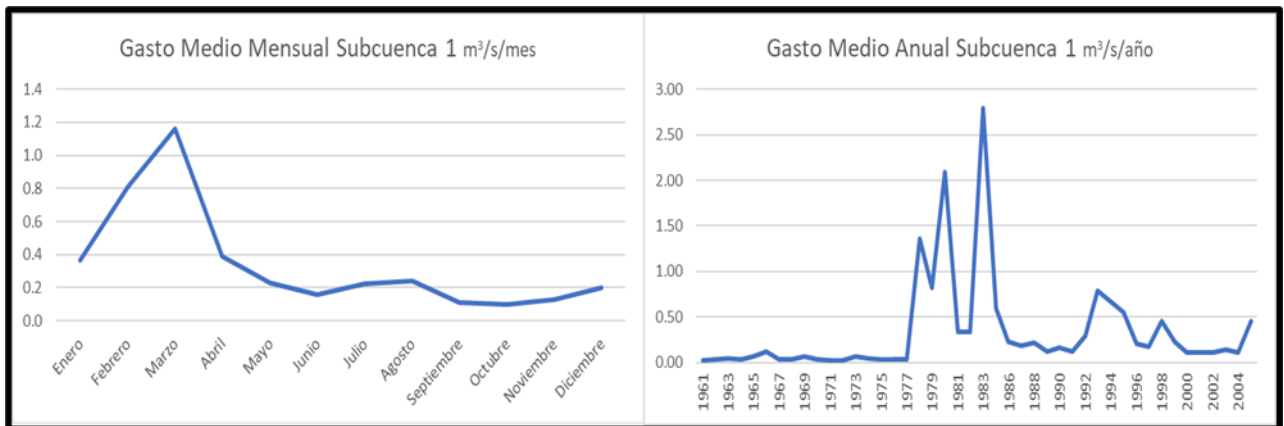


Figura 42. Gráficas de gasto de la Subcuenca 1 m³/s/mes y m³/s/año.

De acuerdo con la Figura 42, para la serie mensual los meses que presentan mayor gasto son los de enero, febrero, marzo y abril $>0.37 \text{ m}^3/\text{s}$, hasta $1.16 \text{ m}^3/\text{s}$. Los meses con menos gasto son los de septiembre y octubre con 0.11 y $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Los años con mayor gasto fueron 1978, 1979, 1980 y 1983 (0.82 - $2.80 \text{ m}^3/\text{s}$).

Gasto de Subcuenca 2

En la Tabla 35 se muestran los datos de gasto medio mensual anual de la subcuenca 2. Los años de 1951, 1956 y 1996 no cuentan con datos suficientes para ser tomados en cuenta para realizar un promedio anual. El gasto medio mensual y el gasto medio anual se observan en la Figura 43.

Tabla 35. Gasto medio mensual anual Subcuenca 2 $\text{m}^3/\text{s}/\text{mes}$ y $\text{m}^3/\text{s}/\text{año}$.

Año	Gasto Medio Mensual Anual Subcuenca 2												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1948			0.22	0.14	0.08	0.07	0.05	0.06	0.04	0.06	0.07	0.14	0.09
1949	0.68	1.29	0.69	0.45	0.19	0.13	0.11	0.11	0.02	0.02	0.09	0.17	0.33
1950	0.21	0.21	0.17	0.11	0.07	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.06	0.08
1951	0.12	0.15	0.13	0.12	0.09							0.41	0.17
1952	2.11	0.26	8.39	1.60	0.27	0.06	0.00					0.14	1.60
1953	0.16	0.14	0.25	0.10	0.05	0.02		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
1954	0.23	0.13	2.16	0.27	0.05	0.02	0.01	0.00				0.04	0.32
1955	0.14	0.12	0.09	0.06	0.05	0.02	0.01						0.07
1956	0.00	0.12	0.12	0.03									0.07
1957	0.42	0.18	0.08	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
1958	0.02	0.10	0.70	1.27	0.07	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.19
1959	0.07	0.15	0.05	0.02	0.00								0.06
1960	0.04	0.08	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
1961	0.02	0.03	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
1962	0.08	0.12	0.19	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04
1963	0.01	0.06	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
1964	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
1965	0.01	0.02	0.01	0.12	0.01	0.01	0.01	0.05	0.00	0.00	0.06	0.79	0.09
1966	0.29	0.53	0.17	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.44	0.12
1967	0.05	0.03	0.02	0.08	0.01	0.01	0.01	0.12	0.02	0.01	0.03	0.29	0.06
1968	0.03	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
1969	0.33	2.20	1.31	0.19	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.34
1970	0.01	0.01	0.14	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
1971	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1972	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.03	0.02
1973	0.01	0.24	1.70	0.35	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20
1974	0.09	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.26	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.04
1975	0.01	0.01	0.02	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.13	0.01	0.01	0.01	0.02
1976	0.01	0.45	0.09	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.53	0.08	0.10	0.02	0.11
1977	0.06	0.02	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.59	0.01	0.01	0.01	0.14	0.08
1978	2.34	9.75	27.05	3.48	0.58	0.11	0.41	0.55	0.02	0.02	0.20	1.71	3.85
1979	3.12	5.91	7.81	2.75	0.78	0.27	0.14	0.03	0.02	0.07	0.16	0.18	1.77
1980	5.63	71.04	23.65	6.21	3.06	0.95	0.49	0.40	0.37	0.34	0.42	0.55	9.43
1981	0.69	0.68	1.41	0.54	0.27	0.10	0.06	0.07	0.10	0.16	0.31	0.39	0.40
1982	0.93	1.80	2.49	1.27	0.35	0.17	0.07	0.09	0.08	0.13	0.74	2.73	0.90
1983	2.10	15.57	44.56	11.63	4.88	0.85	0.34	1.20	0.44	0.78	0.72	1.05	7.01
1984	0.74	0.65	0.55	0.45	0.24	0.14	0.55	0.28	0.17	0.26	0.37	0.88	0.44
1985	0.66	0.82	0.60	0.26	0.14	0.08	0.31	0.01	0.13	0.19	0.63	0.53	0.36
1986	0.33	0.76	1.20	0.26	0.13			0.01	0.03	0.13	0.15	0.23	0.32
1987	0.34	0.41	0.67	0.18	0.07	0.04		0.01	0.01	0.04	0.02	0.31	0.43
1988	1.65	0.42	0.23	0.30	0.11	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	0.22	0.26
1989	0.38	0.20	0.11	0.07	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	0.08
1990	0.16	0.26	0.08	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.43	0.01	0.01	0.05	0.09
1991	0.08	0.46	18.27	1.17	0.18	0.05	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.08	1.70
1992	0.28	1.08	2.58	1.29	0.13	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.49
1997											0.09	0.24	0.17
1998	0.34	11.69	4.93			0.54	0.15	1.10	0.13	0.12	0.18	0.28	1.95
1999	0.31	0.32	0.27	0.28	0.18	0.07	0.06	0.01	0.01	0.03	0.09	0.13	0.15
Media	0.55	2.79	3.27	0.77	0.27	0.09	0.08	0.12	0.07	0.06	0.12	0.29	

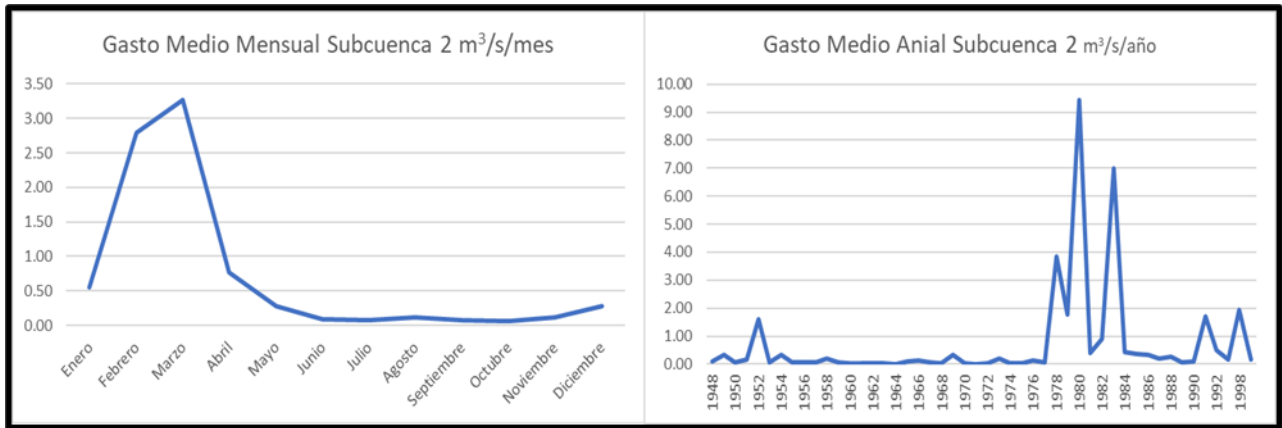


Figura 43. Gráficas de gasto de la Subcuenca 2 m³/s/mes y m³/s/año.

Los meses que mayor gasto o caudal tienen en promedio son los de enero, febrero, marzo y abril, que rebasan los 0.5 m³/s siendo el mes de febrero el que tiene más, con 3.27 m³/s. El resto de los meses no presenta un gasto importante, de hecho, podría considerarse uno muy bajo. Anualmente los años de 1978, 1980 y 1983 son los que tienen un gasto mayor con respecto al resto (9.43 m³/s en 1978)

Gasto de Subcuenca 3

Los datos de gasto de la subcuenca 3 (Tabla 36) se encuentran mayormente incompletos, por lo que las gráficas de gasto medio anual y gasto medio mensual estarían erróneas. Estos datos, sin embargo, sirven para promediar el gasto medio mensual anual mediante los datos que sí se tienen, con el resto de las subcuencas. Se puede inferir la tendencia de los datos, como que los meses de enero, febrero, marzo y abril son los que presentan mayor caudal, o que los años de 1978, 1980 y 1983 son igualmente los de mayor gasto. Esto cumple con la tendencia de las otras subcuencas.

Tabla 36. Gasto medio mensual anual Subcuenca 3 m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Gasto Medio Mensual Anual Subcuenca 3												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1962	0.04	0.08	0.03	0.00									0.04
1965				0.21							0.00	0.62	0.28
1966	0.22	0.58	0.01									0.92	0.43
1967	0.06	0.02	0.00	0.00								0.08	0.03
1968	0.00	0.00	0.00	0.00									0.00
1969	0.51	1.01	0.13	0.01									0.41
1970			0.06										0.06
1973			0.58	0.01									0.30
1978	4.43	14.45	38.95	0.62									14.61
1980	8.07	59.14	26.26	6.40	3.49	0.53		0.00	0.00				12.99
1981	0.19	0.60	1.06	0.35	0.01	0.00							0.37
1982	0.22	2.23	3.81	1.91	0.01								1.63
1983	0.05	14.84	79.36	14.55	7.24	0.66	0.01						16.67
1984	0.73	0.41	0.12									0.21	0.36
1985	0.14	0.29	0.20	0.01	0.00								0.13
Media	1.22	7.80	10.75	2.01	2.15	0.40	0.01	0.00	0.00		0.00	0.46	

Gasto de Subcuenca 4

En la Tabla 37 se muestran los datos correspondientes a la subcuenca 4. Estos datos presentan ausencia de datos importantes para los años de 1984, 2003 y 2004, cuyos datos sirven para determinar el gasto medio mensual. En la Figura 44 se observan las gráficas del gasto medio mensual y el anual de la microcuenca 4.

Tabla 37. Gasto medio mensual anual Subcuenca 4 m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Gasto Medio Mensual Anual Subcuenca 4												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1960			0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.19	0.04	0.04	0.04	0.05
1961	0.04	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.04	0.12	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04
1962	0.06	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
1963	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
1964	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.09	0.03	0.07	0.04	0.04	0.04
1965	0.04	0.05	0.05	0.36	0.05	0.03	0.03	0.19	0.03	0.02	0.05	0.83	0.14
1966	0.28	0.36	0.14	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.32	0.12
1967	0.08	0.06	0.07	0.08	0.06	0.04	0.05	0.22	0.06	0.09	0.05	0.51	0.11
1968	0.06	0.04	0.09	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
1969	0.35	0.31	0.17	0.11	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.11
1970	0.06	0.12	0.47	0.10	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.10
1971	0.07	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.76	0.06	0.05	0.05	0.05	0.11
1972	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.05	0.02	0.02	0.07	0.07	0.05	0.04
1973	0.03	0.06	0.18	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04
1974	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	1.27	0.06	0.07	0.02	0.02	0.03	0.13
1975	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02
1976	0.02	0.84	0.04	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.08	0.01	0.03	0.01	0.09
1977	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.21	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03
1978	0.46	1.28	1.52	1.25	0.40	0.13	0.06	0.05	0.05	0.05	0.09	0.72	0.51
1979	3.25	2.84	2.43	1.90	1.21	0.52	0.32	0.18	0.15	0.11	0.17	0.24	1.11
1980	3.24	58.23	14.04	3.11	1.67	0.86	0.83	0.55	0.45	0.49	0.49	0.45	7.04
1981	0.60	0.50	0.89	0.44	0.29	0.21	0.15	0.13	0.13	0.16	0.15	0.17	0.32
1982	0.36	0.47	0.61	0.33	0.22	0.13	0.08	0.12	0.13	0.08	0.13	0.95	0.30
1983	1.23	17.46	12.61	3.10	2.16	0.83	0.34	2.11	1.60	0.87	0.62	1.33	3.69
1984	1.00	0.57	0.51	0.41	0.17	0.17	1.13	2.79	0.27	0.12	0.17	3.91	0.94
1985	1.01	0.89	0.67	0.41	0.18	0.11	0.05	0.05	0.07	0.10	0.30	0.51	0.36
1986	0.39	0.47	0.89	0.32	0.15	0.12	0.08	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	0.24
1987	0.14	0.21	0.26	0.11	0.08	0.05	0.04	0.10	0.07	0.07	0.26	0.98	0.20
1988	0.90	1.42	0.30	0.23	0.18	0.14	0.14	0.09	0.05	0.06	0.08	0.13	0.31
1989	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.07	0.07
1990	0.20	0.17	0.12	0.11	0.08	0.00	0.02	0.16	0.03	0.04	0.04	0.06	0.08
1991	0.07	1.01	15.16	0.79	0.29	0.20	0.15	0.07	0.12	0.04	0.04	0.12	1.51
1992	0.51	1.61	1.84	1.95	0.68	0.43	0.15	0.34	0.10	0.06	0.11	0.13	0.66
1993	112.43	76.96	17.48	5.88	2.39	0.99	0.55	0.41	0.65				24.19
1994										0.16	0.28	0.30	0.24
1995	2.27	2.90	1.92	1.00	0.50	0.35	0.15	0.17	0.11	0.14	0.14	0.16	0.82
1996	0.25	0.42	0.43	0.24	0.15	0.10		0.09	0.09		0.10	0.12	0.20
1997	0.25	0.18	0.17			0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.09	0.31	0.14
1998	0.22	6.43	2.51	2.47	0.86	0.24	0.07	0.35	0.07	0.06	0.06	0.10	1.12
1999	0.18	0.30	0.21	0.26	0.08	0.06	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.11
2000			0.07	0.06	0.03	0.02		0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03
2001	0.05	0.05	0.23	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02		0.01		0.05	0.06
2002	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03		0.01	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03
2003	0.04	0.06	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01					0.02	0.03
2004	0.02	0.05											0.04
	3.11	4.21	1.78	0.61	0.30	0.15	0.16	0.24	0.13	0.09	0.10	0.31	

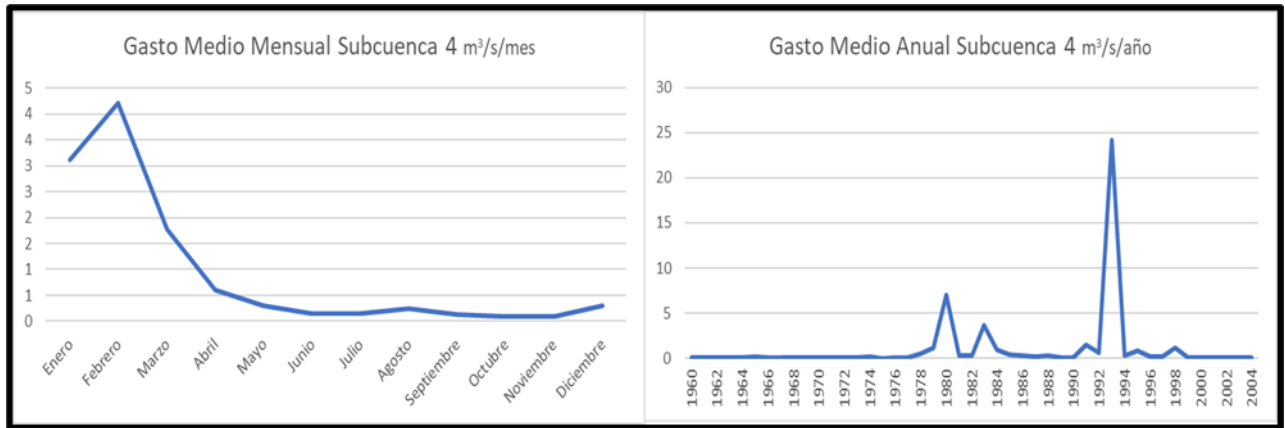


Figura 44. Gráficas de gasto de la Subcuenca 4 m³/s/mes y m³/s/año.

Al igual que con el resto de las subcuencas, el gasto medio mensual de la microcuenca o subcuenca 4 es mayor en los meses de enero, febrero y marzo, siendo de 3.11, 4.21 y 1.78 m³/s respectivamente. De acuerdo con la gráfica de gasto medio anual y con la información de la Tabla 37, se muestra que los años de 1979, 1980 y 1983 nuevamente son de los más altos caudales con 1.11, 7.04 y 3.89 m³/s para cada uno de ellos. Sin embargo, el año que mayor gasto presentó fue el de 1993, que, si bien no cuenta con los datos de octubre, noviembre y diciembre, el gasto seguiría siendo por mucho el más alto, esto de acuerdo con la tendencia de los años anteriores (casi llegando a los 20 m³/s).

Gasto de Subcuenca 5

En la Tabla 38 se observan los datos de gasto mensual anual para la subcuenca 5. Desafortunadamente no se tienen datos suficientes para gran parte de los años, por lo que se consideran a partir de 1965 y omitiendo algunos otros que no cumplen con al menos la mitad de los meses con datos registrados por año. Esto se observa con mayor detalle en los gráficos de la Figura 45. Para el gasto medio mensual sí se consideraron los datos disponibles del resto de años, pues solo se consideran los datos por mes.

Tabla 38. Gasto medio mensual anual Subcuenca 5 m³/s/mes y m³/s/año.

Año	Gasto Medio Mensual Anual Subcuenca 5												Media
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1949		3.10	2.18	0.54	0.05							0.07	1.19
1950	0.14	0.14	0.10	0.03									0.10
1951		0.01	0.02	0.05	0.22							0.09	0.08
1952	1.96		8.73	2.75	0.50	0.05						0.01	2.33
1953	0.10	0.15	0.76	0.23	0.05								0.26
1954	0.12	0.32	6.37	0.64	0.06								1.50
1955	0.13	0.21	0.11	0.07	0.04								0.11
1957	0.27	0.58	0.12	0.09	0.04								0.22
1958		3.79	14.38	6.94	0.66								6.44
1959		0.75	0.39										0.57
1960		0.12	0.11	0.02								0.03	0.07
1961	0.08	0.08	0.05	0.02								0.05	0.06
1962	0.14	0.17	0.22	0.05									0.15
1963		0.19	0.12	0.03	0.00								0.08
1964	0.01	0.02	0.04	0.01	0.00								0.02
1965	0.03	0.04	0.03	0.30	0.01						0.05	1.74	0.32
1966	1.09	3.17	2.36	0.60	0.18	0.05		0.10			0.11	0.38	0.89
1967	0.36	0.22	0.13	0.19	0.04	0.02		0.00	1.71	0.05	0.09	0.75	0.32
1968	0.46	0.27	0.39	0.11	0.03								0.25
1969	2.86	0.69	0.85	0.29	0.10							0.07	0.81
1970	0.05	0.25	2.45	0.13	0.02							0.01	0.49
1971	0.07	0.08	0.05	0.03	0.01				0.03	0.14	0.05	1.36	0.20
1972	0.30	0.14	0.06	0.00						0.05	0.12	0.09	0.11
1973	0.10	0.67	1.70	0.37	0.05	0.00							0.48
1974	0.39	0.09	0.17	0.03	0.00		0.12					0.03	0.12
1975	0.07	0.08	0.17	0.44	0.05				0.01			0.01	0.12
1976	0.05	7.39	0.64	1.36	0.22	0.02			2.76	0.05	0.08	0.08	1.27
1977	0.31	0.11	0.09	0.04	0.02			1.24	0.00	0.02	0.01	0.52	0.24
1978	12.62	25.77	66.25	7.28	1.29	0.33	0.14	0.13	0.13	0.12	1.48	19.75	11.27
1979	29.40	22.96	23.90	11.34	2.71	1.35	1.00	0.70	0.41	0.42	0.58	0.56	7.95
1980	7.59	102.39	41.93	9.07	3.68	2.08	1.39	2.33	1.06	0.90	1.09	1.00	14.54
1981	1.04	1.31	2.98	1.16	0.64	0.32	0.23	0.16	0.22	0.29	0.50	0.56	0.78
1982	1.36	6.05	3.30	1.33	0.40	0.26	0.15	1.71	0.65	0.27	1.54	12.62	2.47
1983	7.17	28.10	50.67	8.17	2.69	1.16	0.63	1.20	1.22	0.89	0.73	1.37	8.67
1984	1.33	0.77	0.64	0.79	0.33	0.18	2.88	0.99	0.57	0.32			0.88
1985	2.65	1.28	0.53	0.36	0.14	0.02				0.07	1.40	1.01	0.83
1986	0.63	1.76	2.89	0.87	0.32		0.12	0.13	0.14	0.16	0.43	0.40	0.71
1987		0.75	0.97	0.34	0.20	0.11	0.05		0.12	0.09	0.43	0.51	0.36
1989	0.35	0.29	0.25	0.13	0.05	0.02						0.00	0.15
1990	0.21	0.23	0.19	0.28	0.21								0.22
1991	0.20	0.21		1.44	0.66	0.23							0.55
1993	8.21	2.47			1.88	2.61	1.02	1.57	1.47	1.55	1.74	1.04	2.36
1994					0.39	0.24		0.27	0.25	0.18	0.47	0.49	0.33
1995	3.51	3.83	4.00	2.62	1.86	1.38	0.82	0.27	0.39	0.08	0.11	0.29	1.60
1996	0.47	0.45	1.53	0.86	0.22	0.05	0.02	0.02					0.45
1997	2.38	2.32	0.33	0.83	0.33	0.03				4.07	1.62	1.46	1.49
1998	1.23	7.51	13.91	4.17			1.22	1.08	0.82	0.80			3.84
2000			0.15	0.30	0.30	0.00				0.00	0.17	0.10	0.15
2001	0.35	0.80	1.25	0.72	0.23	0.14					0.00	0.10	0.45
2002	0.32	0.72	0.22	0.17	0.01								0.29
2007	0.98	2.24	1.68										1.63
Media	2.17	4.90	5.42	1.44	0.49	0.46	0.70	0.74	0.66	0.50	0.58	1.45	

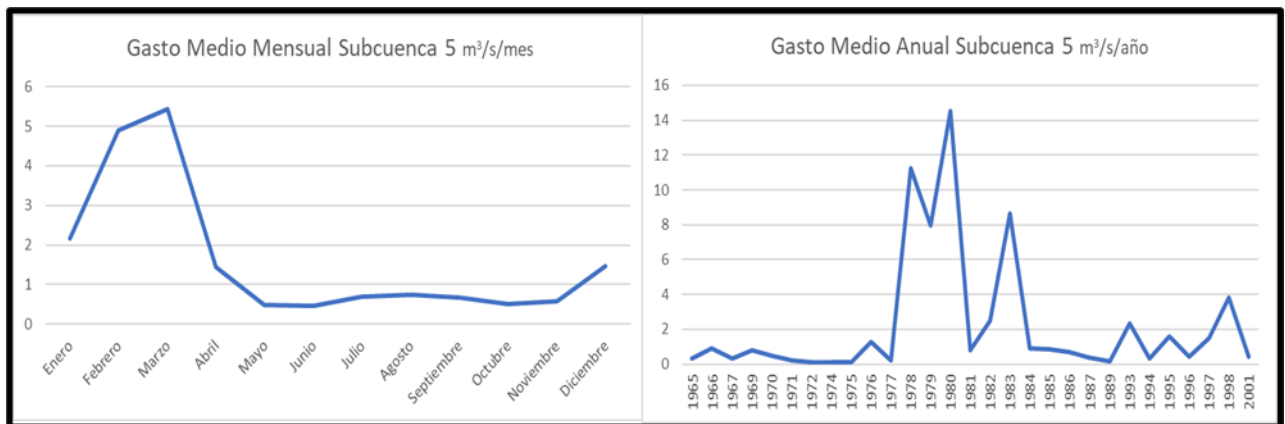


Figura 45. Gráficas de gasto de la Subcuenca 5 m³/s/mes y m³/s/año.

De acuerdo con el gráfico de gasto medio mensual para la subcuenca 5 y a los datos de la Tabla 38, los meses que presentan mayor gasto son los de enero ($2.17 \text{ m}^3/\text{s}$), febrero ($4.90 \text{ m}^3/\text{s}$), marzo ($5.42 \text{ m}^3/\text{s}$) y abril ($1.44 \text{ m}^3/\text{s}$). Para el gráfico de gasto medio anual se tiene que los años de 1978 ($11.27 \text{ m}^3/\text{s}$), 1979 ($7.95 \text{ m}^3/\text{s}$), 1980 ($14.54 \text{ m}^3/\text{s}$) y 1983 ($8.67 \text{ m}^3/\text{s}$) son los que presentan uno mayor, siendo el de 1980 el más alto.

4.5 Periodos de retorno (T_r)

Escalante & Reyes (2002), mencionan que el periodo de retorno se define como el número de años que transcurren en promedio para que un evento de magnitud dada x sea igualado o excedido por lo menos una vez en ese periodo de tiempo. Aparicio (1992), pone el ejemplo del “tiro al dado” (o el de ocurrencia de una tormenta) para explicar al periodo de retorno, el cual se muestra en el Anexo 6 en las ecuaciones 18-24.

4.5.1 Periodo de retorno para precipitación de la cuenca general.

Tras aplicarse las distribuciones estadísticas y límites de confianza (Capítulo V), se determinó que la distribución de tipo I de Gumbel “por momentos”, es la que tiene un menor error estadístico de los datos. Realizándose entonces los periodos de retorno correspondientes, así como las ecuaciones anteriormente mencionadas, como se muestra en la Tabla 39 para la cuenca general.

Tabla 39. Periodos de retorno (T) para la cuenca general.

Tr Precipitación Total Media Anual						
Año	P Total Media Anual	P ordenada	n	T (años)	P (t/n)	P (X-x)
1957	19.03	43.29	1	65.00	0.02	0.98
1958	15.78	36.22	2	32.50	0.03	0.97
1959	10.66	33.22	3	21.67	0.05	0.95
1960	10.77	30.10	4	16.25	0.06	0.94
1961	8.33	28.77	5	13.00	0.08	0.92
1962	11.59	28.10	6	10.83	0.09	0.91
1963	13.56	27.02	7	9.29	0.11	0.89
1964	9.56	26.88	8	8.13	0.12	0.88
1965	27.02	25.85	9	7.22	0.14	0.86
1966	14.14	25.35	10	6.50	0.15	0.85
1967	18.69	24.28	11	5.91	0.17	0.83
1968	7.82	23.57	12	5.42	0.18	0.82
1969	18.45	23.31	13	5.00	0.20	0.80
1970	15.22	22.37	14	4.64	0.22	0.78
1971	12.74	21.57	15	4.33	0.23	0.77
1972	11.81	21.16	16	4.06	0.25	0.75
1973	15.81	21.10	17	3.82	0.26	0.74
1974	14.05	19.90	18	3.61	0.28	0.72
1975	12.26	19.12	19	3.42	0.29	0.71
1976	23.31	19.03	20	3.25	0.31	0.69
1977	19.12	18.94	21	3.10	0.32	0.68
1978	43.29	18.76	22	2.95	0.34	0.66
1979	22.37	18.69	23	2.83	0.35	0.65
1980	33.22	18.65	24	2.71	0.37	0.63
1981	15.97	18.45	25	2.60	0.38	0.62
1982	25.85	18.24	26	2.50	0.40	0.60
1983	36.22	18.11	27	2.41	0.42	0.58
1984	19.90	18.10	28	2.32	0.43	0.57
1985	16.03	16.78	29	2.24	0.45	0.55
1986	16.37	16.45	30	2.17	0.46	0.54
1987	21.57	16.45	31	2.10	0.48	0.52
1988	16.45	16.37	32	2.03	0.49	0.51
1989	7.66	16.29	33	1.97	0.51	0.49
1990	12.75	16.03	34	1.91	0.52	0.48
1991	24.28	15.97	35	1.86	0.54	0.46
1992	25.35	15.89	36	1.81	0.55	0.45
1993	28.10	15.81	37	1.76	0.57	0.43
1994	14.02	15.78	38	1.71	0.58	0.42
1995	18.24	15.78	39	1.67	0.60	0.40
1996	13.01	15.22	40	1.63	0.62	0.38
1997	18.94	14.93	41	1.59	0.63	0.37
1998	28.77	14.14	42	1.55	0.65	0.35
1999	11.37	14.05	43	1.51	0.66	0.34
2000	12.52	14.02	44	1.48	0.68	0.32
2001	18.65	13.56	45	1.44	0.69	0.31
2002	9.78	13.01	46	1.41	0.71	0.29
2003	16.29	12.75	47	1.38	0.72	0.28
2004	23.57	12.74	48	1.35	0.74	0.26
2005	18.11	12.52	49	1.33	0.75	0.25
2006	10.87	12.26	50	1.30	0.77	0.23
2007	11.86	11.89	51	1.27	0.78	0.22
2008	18.76	11.86	52	1.25	0.80	0.20
2009	11.30	11.81	53	1.23	0.82	0.18
2010	30.10	11.59	54	1.20	0.83	0.17
2011	21.10	11.37	55	1.18	0.85	0.15
2012	15.89	11.30	56	1.16	0.86	0.14
2013	16.45	10.87	57	1.14	0.88	0.12
2014	11.89	10.77	58	1.12	0.89	0.11
2015	16.78	10.66	59	1.10	0.91	0.09
2016	21.16	9.78	60	1.08	0.92	0.08
2017	18.10	9.56	61	1.07	0.94	0.06
2018	14.93	8.33	62	1.05	0.95	0.05
2019	26.88	7.82	63	1.03	0.97	0.03
2020	15.78	7.66	64	1.02	0.98	0.02

Realizándose las operaciones correspondientes explicadas en el capítulo V, se obtuvo la Tabla 40 con los periodos de retorno de Gumble I por momentos, siendo:

Tabla 40. Periodos de retorno (T) Gumble I por momentos.

ios)	P(1-1/T)	kT	ST	Por Momentos		
				P calculada inferior	P Calculada	P calculada superior
10000	1.00	6.731	2.23	60.6	64.75	68.89
5000	1.00	6.191	2.07	57.1	60.98	64.82
1000	1.00	4.936	1.68	49.1	52.23	55.36
500	1.00	4.395	1.52	45.6	48.46	51.29
200	1.00	3.679	1.31	41.0	43.47	45.90
100	0.99	3.137	1.14	37.6	39.69	41.81
65	0.98	2.799	1.04	35.4	37.33	39.27
50	0.98	2.592	0.98	34.1	35.89	37.72
33	0.97	2.252	0.88	31.9	33.52	35.16
25	0.96	2.044	0.82	30.5	32.07	33.59
22	0.95	1.930	0.79	29.8	31.27	32.74
20	0.95	1.866	0.77	29.4	30.83	32.26
16	0.94	1.699	0.72	28.3	29.66	31.00
15	0.93	1.635	0.70	27.9	29.21	30.52
13	0.92	1.519	0.67	27.2	28.41	29.65
11	0.91	1.370	0.63	26.2	27.37	28.54
10	0.90	1.305	0.61	25.8	26.91	28.04
9	0.89	1.244	0.59	25.4	26.49	27.59
8	0.88	1.133	0.56	24.7	25.71	26.76
7	0.86	1.034	0.53	24.0	25.03	26.02
10	0.90	1.305	0.61	25.8	26.91	28.04
7	0.85	0.945	0.51	23.5	24.41	25.36
6	0.83	0.864	0.49	22.9	23.84	24.75
5	0.82	0.789	0.47	22.4	23.32	24.19
5	0.80	0.720	0.45	22.0	22.83	23.67
5	0.80	0.720	0.45	22.0	22.83	23.67
5	0.78	0.654	0.43	21.6	22.38	23.19
4	0.77	0.593	0.42	21.2	21.95	22.73
4	0.75	0.535	0.40	20.8	21.55	22.30
4	0.74	0.481	0.39	20.4	21.17	21.89
4	0.72	0.428	0.38	20.1	20.80	21.51
3	0.71	0.378	0.37	19.8	20.45	21.14
5	0.80	0.720	0.45	22.0	22.83	23.67
3	0.69	0.330	0.36	19.5	20.12	20.78
3	0.68	0.284	0.35	19.2	19.80	20.44
3	0.66	0.239	0.34	18.9	19.48	20.11
3	0.65	0.196	0.33	18.6	19.18	19.79
3	0.63	0.154	0.32	18.3	18.89	19.49
3	0.62	0.113	0.31	18.0	18.61	19.19
3	0.60	0.074	0.30	17.8	18.33	18.90
2	0.58	0.035	0.30	17.5	18.06	18.61
2	0.57	-0.003	0.29	17.3	17.80	18.34
2	0.55	-0.040	0.29	17.0	17.54	18.07
2	0.54	-0.076	0.28	16.8	17.29	17.81
2	0.52	-0.112	0.27	16.5	17.04	17.55
2	0.51	-0.147	0.27	16.3	16.79	17.29
2	0.49	-0.181	0.27	16.1	16.55	17.05
2	0.48	-0.216	0.26	15.8	16.31	16.80
2	0.46	-0.249	0.26	15.6	16.08	16.56
2	0.45	-0.283	0.26	15.4	15.84	16.32
2	0.43	-0.316	0.25	15.1	15.61	16.08
2	0.42	-0.349	0.25	14.9	15.38	15.85
2	0.40	-0.382	0.25	14.7	15.15	15.62
2	0.38	-0.415	0.25	14.5	14.93	15.39
2	0.37	-0.447	0.25	14.2	14.70	15.16
2	0.35	-0.480	0.24	14.0	14.47	14.93
2	0.34	-0.512	0.24	13.8	14.24	14.70
1	0.32	-0.545	0.24	13.6	14.02	14.47
1	0.31	-0.578	0.25	13.3	13.79	14.24
1	0.29	-0.611	0.25	13.1	13.55	14.01
1	0.28	-0.645	0.25	12.9	13.32	13.78
1	0.26	-0.679	0.25	12.6	13.08	13.55
1	0.25	-0.713	0.25	12.4	12.84	13.31
1	0.23	-0.748	0.25	12.1	12.60	13.07
1	0.22	-0.784	0.26	11.9	12.35	12.83
1	0.20	-0.821	0.26	11.6	12.09	12.58
1	0.18	-0.859	0.27	11.3	11.83	12.32
1	0.17	-0.898	0.27	11.1	11.56	12.06
1	0.15	-0.939	0.28	10.8	11.27	11.79
1	0.14	-0.981	0.28	10.4	10.97	11.50
1	0.12	-1.027	0.29	10.1	10.66	11.20
1	0.11	-1.075	0.30	9.8	10.32	10.88
1	0.09	-1.127	0.31	9.4	9.96	10.53
1	0.08	-1.184	0.32	9.0	9.56	10.15
1	0.06	-1.249	0.33	8.5	9.11	9.72
1	0.02	-1.564	0.40	6.2	6.91	7.66

Los años que se utilizaron se muestran en la Tabla 41, que van de los 5 a 10,000 años, y que son los que se graficaron y que se observan en la Figura 46.

Tabla 41. Período de retorno de precipitación de la cuenca general de 5 a 10,000 años.

TR P Cuenca General	
Años	Precipitación
5	22.83
10	26.91
15	29.21
20	30.83
25	32.07
50	35.89
100	39.69
200	43.47
500	48.46
1000	52.23
5000	60.98
10000	64.75

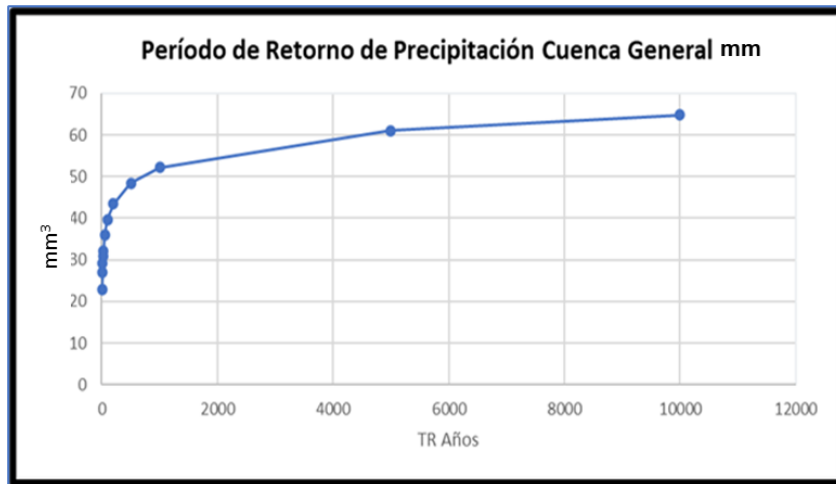


Figura 46. Gráfico de T para precipitación de la cuenca en general de 5-10,000 años.

4.5.2 Período de retorno para gasto de la cuenca general.

Para la variable de precipitación anual en la cuenca general, se tienen valores de 22.83 mm para T de 5 años, el cual es el valor más bajo. La precipitación más alta es la de 64.75 mm, entonces se esperaría una precipitación de esa magnitud o mayor una vez cada 10,000 años. No son valores muy altos.

Igualmente se utilizaron las distribuciones estadísticas y límites de confianza para conocer cuál de estas tenía menor error estadístico para la variable de gasto. La distribución Gamma 2 por máxima verosimilitud es la que presentó un menor error y en la Tabla 42 se muestran los periodos de retorno. En la Figura 47 se muestra la respectiva gráfica para este periodo de retorno.

Tabla 42. Periodo de retorno de gasto de la cuenca general de 5 a 10,000 años.

TR Q Cuenca General	
Años	Gasto
5	2.20
10	3.87
15	4.88
20	5.59
25	6.18
50	7.72
100	9.10
200	10.25
500	11.42
1000	12.07
5000	13.00
10000	13.24

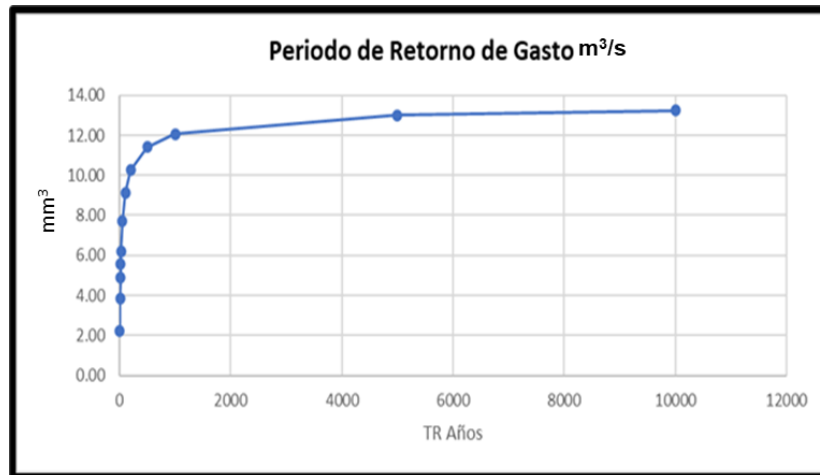


Figura 47. Gráfico de Tr para gasto de la cuenca en general de 5-10,000 años.

El Periodo de retorno para el gasto de la cuenca en general muestra un valor máximo de 13.24 m^3/s en 10,000 años, el cual es un valor realmente bajo, aunque es comprensible por el tipo de clima que se tiene en la cuenca (semiárido). El valor más bajo para el gasto es el de 2.20 m^3/s en 5 años. Realmente son valores muy bajos de gasto

CAPÍTULO 5. DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS Y LÍMITES DE CONFIANZA

5.1 Método de los Momentos

El Método de los momentos es un procedimiento muy sencillo para encontrar un estimador de uno o más parámetros poblacionales. Consiste básicamente en plantear un sistema de ecuaciones, cuyo tamaño depende del número de parámetros a estimar. Esto se hace al igualar los momentos poblacionales con los muestrales (Escalante & Reyes, 2002). Los momentos muestrales, que son los que se utilizan en el estudio, también conocidos como estadísticos muestrales, se obtienen con las siguientes expresiones que se observan en el Anexo 6, en las ecuaciones 25-33.

Estos momentos o estadísticos muestrales se ocuparán para las variables de Precipitación Total Media Mensual, Precipitación Total Media Anual, Gasto Medio Mensual, Gasto Medio Anual y Evapotranspiración, los cuales se desglosarán más adelante. En las Tablas 43 y 44 se muestran los estadísticos muestrales para la cuenca y las subcuencas para las variables de precipitación y gasto anual respectivamente.

Tabla 43. Estadísticos muestrales de precipitación en mm.

Estadísticos muestrales de precipitación anual.	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
No de datos	64.0	73.0	73.0	68.0	48.0	47.0
Media	17.82	21.05	25.67	37.47	21.83	22.32
Varianza sesg	48.57	116.98	163.46	288.73	167.09	192.97
Varianza No Sesg	2.86	1.6	1.39	1.92	2.4	1.27
Coef. de Asimetría Sesgado	1.23	1.14	1.1	1.1	2.37	1.45
Coef. de Asimetría No Sesgado	1.28	1.19	1.14	1.15	2.52	1.55
Coef. Curtosis	4.8	4.49	4.55	4.42	11.17	6.37
Coef. Curtosis no sesgado	5.29	4.88	4.95	4.84	12.69	7.26
Desviación estandar	6.97	10.82	12.79	16.99	12.93	13.89
Coefficiente de variación	0.39	0.51	0.5	0.45	0.59	0.62

Tabla 44. Estadísticos muestrales de gasto en m³/s.

Estadísticos muestrales de Gasto anual	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
No de datos	50.0	43.0	48.0	15.0	45.0	51.0
Media	0.91	0.33	0.72	3.22	1.01	1.56
Varianza sesg	3.38	0.3	2.98	33.87	13.55	8.44
Varianza No Sesg	3.44	0.3	3.05	36.29	13.86	8.61
Coef. de Asimetría Sesgado	2.91	3.06	3.79	1.54	5.64	2.97
Coef. de Asimetría No Sesgado	3.09	3.29	4.04	1.9	6.04	3.15
Coef. Curtosis	10.61	12.65	17.4	3.46	35.09	11.5
Coef. Curtosis no sesgado	12.0	14.6	19.78	5.35	40.24	12.98
Desviación estandar	1.84	0.54	1.73	5.82	3.68	2.91
Coficiente de variación	2.02	1.64	2.41	1.81	3.63	1.87

5.2 Método de máxima verosimilitud

Para el método de máxima verosimilitud, Escalante & Reyes (2002), mencionan que se refiere a un método de estimación que busca encontrar los valores más plausibles de los parámetros de una distribución, a partir de una muestra observada. Este funciona para la calibración de modelos hidrológicos donde se busca maximizar la probabilidad de observar caudales o precipitaciones registrados. En el Anexo 6 se muestra a detalle cómo funciona este método en las ecuaciones 34-36.

5.3 Pruebas de Homogeneidad e Independencia

Escalante & Reyes (2002), comentan que las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o en la varianza, o cuando ocurren saltos negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad y la inconsistencia. En general, la falta de homogeneidad de los datos es inducida por las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas de cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación. También es producto de los procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas y erupciones volcánicas. Por ello se realizan algunas pruebas para poder determinar si la serie de datos es homogénea o no, buscándose que sea lo mayor posible. Estas pruebas (Helmert, Student, Cramen e Independencia de Anderson) se muestran en el Anexo 6, ecuaciones 37-47.

Los resultados de las pruebas de homogeneidad e independencia se muestran en la Tabla 45 y las gráficas en la Figura 48.

Tabla 45. Pruebas de homogeneidad e independencia para gasto.

Pruebas de homogeneidad gasto	Cuenta General	Subcuenta 1	Subcuenta 2	Subcuenta 3	Subcuenta 4	Subcuenta 5
Prueba de Helmert	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Prueba de Student	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prueba de Cramer	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prueba de Anderson	independiente	independiente	independiente	independiente	independiente	independiente

La Tabla 44 muestra los resultados de las pruebas de homogeneidad e independencia tras aplicarse a la cuenta general, así como a las subcuentas. Se puede decir que las series de datos son homogéneas, la única prueba que no cumple es la de Helmert. La prueba de independencia de Anderson mostrada en los gráficos de la Figura 48, enseña que las series de datos son independientes, pues cumple con el criterio de que solo el 10% de los valores de r_k^j sobrepasan los límites de confianza superiores e inferiores en las gráficas.

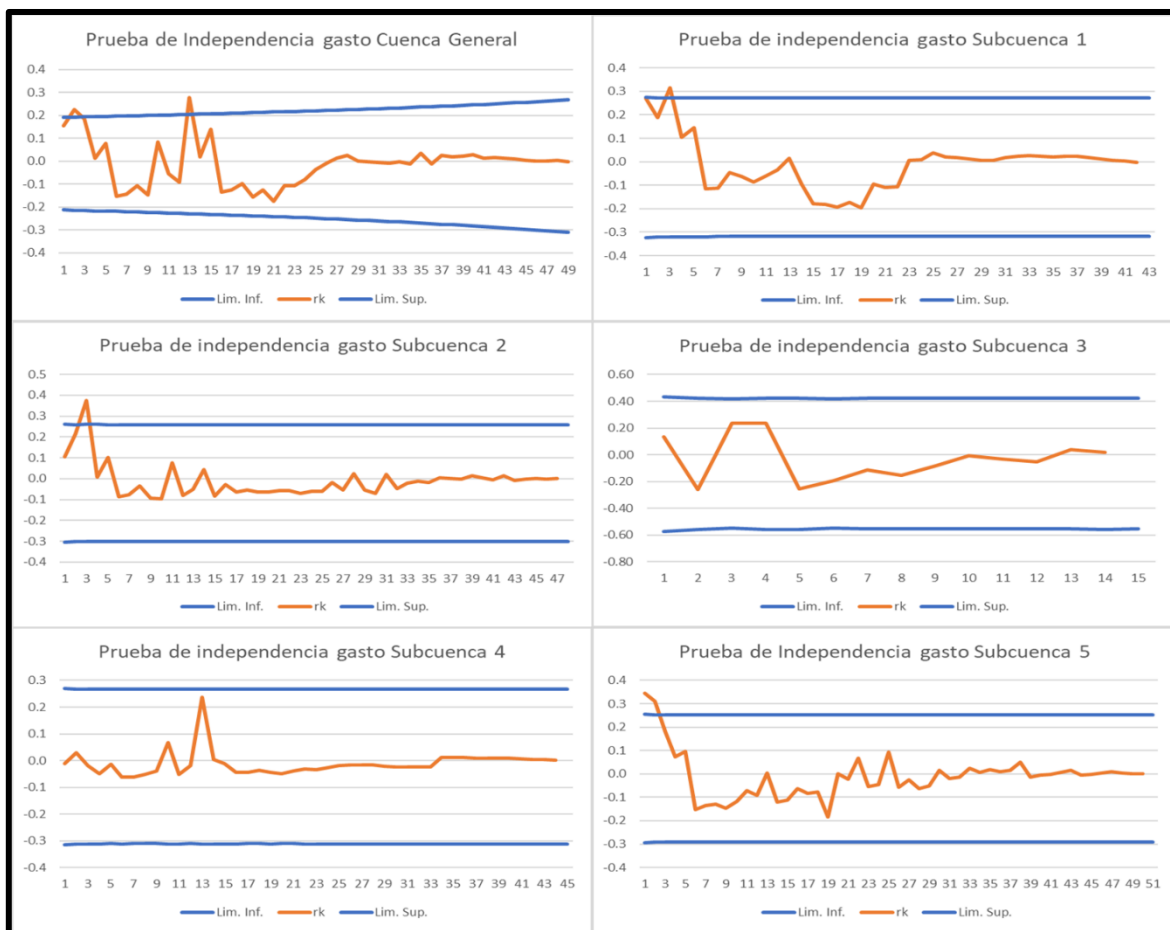


Figura 48. Gráficos de la prueba de independencia de Anderson para gasto.

En la Tabla 46 se observan los datos de las pruebas de homogeneidad e independencia para la variable de precipitación. Sus respectivos gráficos están mostrados en la Figura 49.

Tabla 46. Pruebas de homogeneidad e independencia para precipitación.

Pruebas de homogeneidad precipitación	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
Prueba de Helmert	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Prueba de Student	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prueba de Cramer	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Prueba de Anderson	independiente	independiente	independiente	independiente	independiente	independiente

Al igual que para la variable de gasto, las pruebas de Student, Cramer y la de Anderson cumplen con los criterios correspondientes estadísticos. Lo llamativo es que para la subcuenca 1, también se cumple la prueba de Helmert, por tanto, se puede inferir que las series de datos para la cuenca general y las cinco subcuencas son homogéneas e independientes.

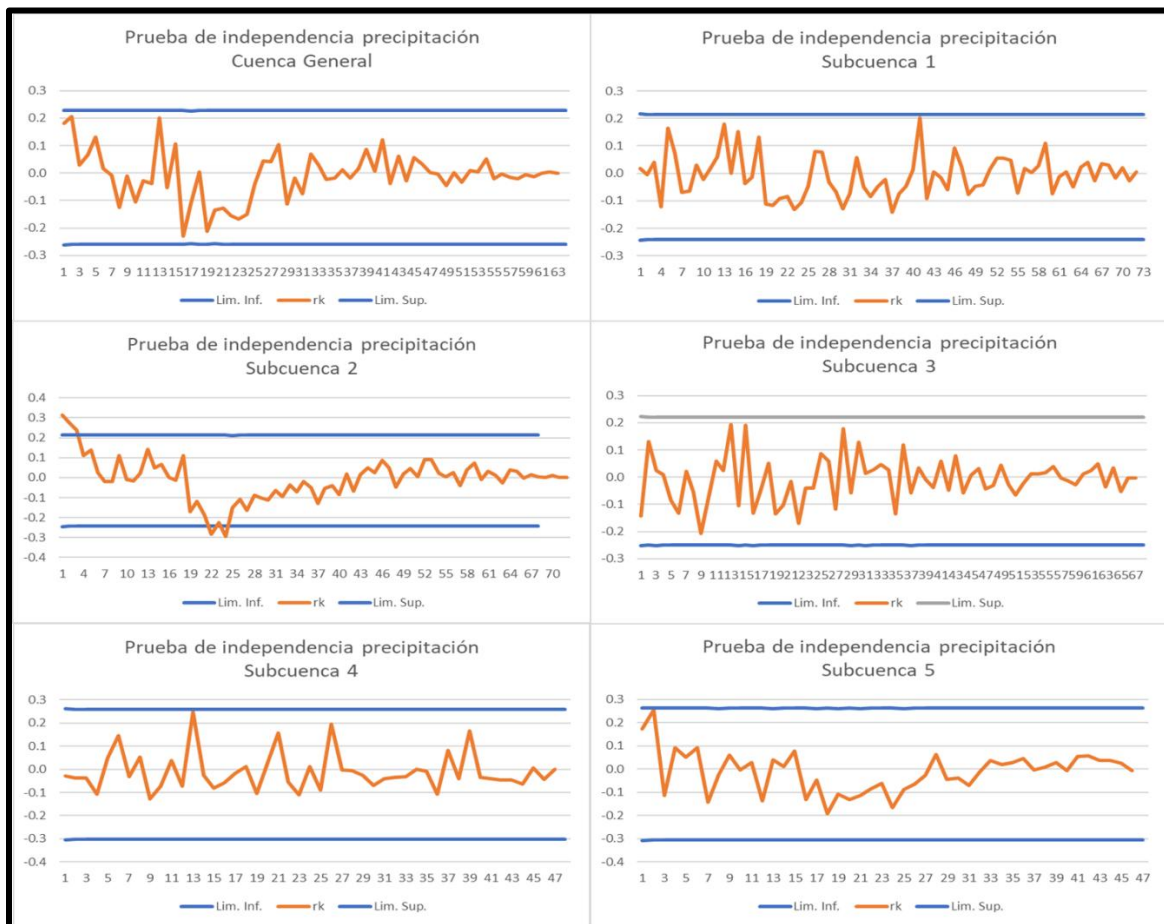


Figura 49. Gráficos de la prueba de independencia de Anderson para precipitación.

5.4 Distribuciones de Frecuencias

Aparicio (1992), menciona que se debe buscar entre las distintas funciones de distribución de probabilidad teóricas la que se ajuste mejor a los datos medidos, y usar esta función para la extrapolación. Por ejemplo, si los gastos máximos anuales registrados se dibujan contra sus respectivos periodos de retorno, generalmente se observa alguna tendencia más o menos definida. El problema radica en cómo extender esta tendencia hasta el periodo de retorno deseado. Una posibilidad es extrapolar los datos a ojo, es decir, gráficamente. Aunque este método puede dar muy buenos resultados si se aplica por una persona con experiencia, tiene la desventaja de la subjetividad. Las funciones de distribución de probabilidad utilizadas para el presente trabajo son:

- Distribución tipo I Gumbel.
- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal de 2 parámetros
- Distribución Log Normal de 3 parámetros
- Distribución Gamma de 2 parámetros
- Distribución Gamma de 3 parámetros

Existen un número muy grande de funciones, siendo las anteriores algunas de las más usadas en los estudios hidrológicos. Aparicio (1992) también comenta que Las funciones normal y log normal son generalmente apropiadas para variables aleatorias que cubren todo el rango de valores de los resultados posibles del experimento bajo análisis, como por ejemplo los volúmenes de escurrimiento mensual en un río. Las funciones Gumbel se desarrollaron para el análisis de los valores extremos de dichos resultados, como los gastos máximos o mínimos anuales.

Para esta parte del estudio, se utilizaron solamente los datos anuales, los cuales utiliza el modelo GR1A_FR, el cual se explicará a más detalle en el Capítulo VI. En las Tablas 47, 48, 49, y 50 se muestran los errores estadísticos de cada prueba de distribución de frecuencias para las variables de precipitación y gasto en la cuenca y las subcuencas. En general, las pruebas de distribución de frecuencia se utilizan para modelar eventos extremos como los que se presentan en este trabajo (sequía-crecidas), siendo el error estadístico el que permite evaluar la confiabilidad de los ajustes y las predicciones.

El cálculo del error estadístico en estas pruebas se utiliza para evaluar el ajuste de las distintas distribuciones (por ejemplo, si el error es alto, la distribución no es adecuada para

esa serie de datos). Esto permite comparar las distintas distribuciones comparando el error de cada uno, lo cual a su vez cuantifica la incertidumbre de las predicciones (un intervalo de confianza amplio indica una alta incertidumbre, como lo son 10,000 años utilizados como número de años máximo en este trabajo). Las distribuciones se encuentran explicadas en el Anexo 6, que va desde la ecuación 48 hasta la 119.

Tabla 47. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para precipitación por momentos.

Error Estadístico de las Distribuciones de Frecuencia.	Precipitación Por Momentos					
	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
Distribución tipo I Gumbel	0.99	1.43	1.72	2.65	4.51	3.08
Distribución Normal	2.21	3.27	1.87	5.1	6.37	4.95
Distribución Log Normal 2 Parámetros	8.0	6.69	7.73	11.24	9.37	6.97
Distribución Log Normal 3 Parámetros	1.41	2.04	2.51	3.5	4.62	3.68
Distribución Gamma de 2 Parámetros	1.56	2.03	2.52	3.57	9.68	3.64
Distribución Gamma de 3 Parámetros	1.68	4.43	12.67	2.93	10.92	8.53
Error Estadístico Mínimo	0.99	1.43	1.72	2.65	4.51	3.08

Tabla 48. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para precipitación por máxima verosimilitud.

Error Estadístico de las Distribuciones de Frecuencia.	Precipitación Por Máxima Verosimilitud					
	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
Distribución tipo I Gumbel	1.23	1.76	1.82	2.86	5.34	3.65
Distribución Normal	2.21	3.27	1.87	5.1	6.37	4.95
Distribución Log Normal 2 Parámetros	8.0	6.69	7.73	11.24	9.37	6.97
Distribución Log Normal 3 Parámetros	0.82	8.83	10.94	16.85	12.96	15.33
Distribución Gamma de 2 Parámetros	1.76	2.26	2.64	3.85	10.9	3.74
Distribución Gamma de 3 Parámetros	1.14	2.09	7.08	3.28	8.11	3.56
Error Estadístico Mínimo	0.82	1.76	1.82	2.86	5.34	3.56

Tabla 49. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para gasto por momentos.

Error Estadístico de las Distribuciones de Frecuencia.	Gasto Por Momentos					
	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
Distribución tipo I Gumbel	1.05	0.29	1.16	3.27	3.14	1.62
Distribución Normal	1.37	0.38	1.43	3.86	3.6	2.11
Distribución Log Normal 2 Parámetros	1.54	0.08	2.98	7357.21	1.52	2.51
Distribución Log Normal 3 Parámetros	0.92	0.25	0.96	3.17	2.57	1.34
Distribución Gamma de 2 Parámetros	0.81	0.22	0.93	3.24	5.4	1.2
Distribución Gamma de 3 Parámetros	1.05	0.5	0.49	4.71	0.48	0.51
Error Estadístico Mínimo	0.81	0.08	0.49	3.17	0.48	0.51

Tabla 50. Error estadístico de las distribuciones de frecuencia para gasto por máxima verosimilitud.

Error Estadístico de las Distribuciones de Frecuencia.	Gasto Por Máxima Verosimilitud					
	Cuenca General	Subcuenca 1	Subcuenca 2	Subcuenca 3	Subcuenca 4	Subcuenca 5
Distribución tipo I Gumbel	1.26	0.35	1.31	3.83	3.2	1.95
Distribución Normal	1.37	0.38	1.43	3.86	3.6	2.11
Distribución Log Normal 2 Parámetros	1.54	0.08	2.98	7357.21	1.52	2.51
Distribución Log Normal 3 Parámetros	1.91	6.25	3.84	7.4	9.87	10.19
Distribución Gamma de 2 Parámetros	1.04	0.29	1.12	3.26	2.95	1.59
Distribución Gamma de 3 Parámetros	1.28	0.23	1.33	4.53	3.23	1.97
Error Estadístico Mínimo	1.04	0.08	1.12	3.26	1.52	1.59

A continuación, se explica detalladamente a las fórmulas utilizadas para la determinación de estas distribuciones.

5.5 Límites de confianza

En las Tablas 51, 52, 53, y 54 se muestran los Límites de confianza de la precipitación y el gasto calculados para un periodo de tiempo que abarca desde 1 hasta 10,000 años, lo cual representa una mayor incertidumbre con los datos. Se seleccionaron solo aquellos que tuvieran el menor porcentaje de su error estadístico en los cálculos de las distribuciones. En las Figuras 50-61, se muestran los gráficos correspondientes a los límites de confianza para cada variable en la cuenca general y las 5 subcuencas. La Distribución Gamma de 2 parámetros, no tiene límites de confianza, por lo cual no se pudo realizar el cálculo de la precipitación y el gasto inferior y superior.

Tabla 51. Límites de confianza de la variable de precipitación para la Cuenca General, la Subcuenca 1 y la Subcuenca 2 en mm.

Límites de confianza con menor error. Precipitación. Cuenca General Por Máxima Verosimilitud				Límites de confianza con menor error. Precipitación. Subcuenca 1 Por Momentos				Límites de confianza con menor error. Precipitación. Subcuenca 2 Por Momentos			
ños	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior	T Años	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior	T Años	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior
10000.0	52.96	62.0	71.04	10000.0	89.05	93.89	98.73	10000.0	106.51	111.77	117.03
5000.0	50.04	58.44	66.84	5000.0	83.56	88.04	92.52	5000.0	99.98	104.85	109.73
1000.0	43.26	50.18	57.1	1000.0	70.8	74.46	78.11	1000.0	84.82	88.8	92.77
500.0	40.33	46.62	52.91	500.0	65.3	68.61	71.91	500.0	78.29	81.88	85.47
200.0	36.46	41.91	47.37	200.0	58.03	60.86	63.7	200.0	69.65	72.73	75.81
100.0	33.52	38.34	43.17	100.0	52.51	54.99	57.48	100.0	63.09	65.79	68.49
50.0	31.69	36.12	40.55	50.0	50.11	52.44	54.77	50.0	60.24	62.77	65.3
25.0	30.57	34.76	38.96	25.0	46.97	49.1	51.23	25.0	56.51	58.83	61.15
12.5	28.71	32.52	36.33	12.5	44.56	46.53	48.51	12.5	53.64	55.79	57.94
6.25	27.58	31.15	34.73	6.25	41.39	43.17	44.95	6.25	49.88	51.81	53.75
3.125	26.96	30.4	33.85	3.125	41.28	43.05	44.83	3.125	49.75	51.68	53.61
1.5625	26.61	29.98	33.36	1.5625	39.58	41.24	42.91	1.5625	47.72	49.54	51.35
0.78125	25.7	28.88	32.07	0.78125	38.94	40.57	42.2	0.78125	46.97	48.74	50.51
0.390625	25.34	28.46	31.58	0.390625	37.22	38.74	40.27	0.390625	44.92	46.58	48.24
0.1953125	24.71	27.7	30.69	0.1953125	37.11	38.63	40.14	0.1953125	44.79	46.44	48.09
0.09765625	23.89	26.72	29.55	0.09765625	35.6	37.03	38.45	0.09765625	43.0	44.55	46.1
0.048828125	23.53	26.29	29.05	0.048828125	34.32	35.66	37.01	0.048828125	41.48	42.94	44.41
0.0244140625	23.19	25.89	28.58	0.0244140625	33.85	35.17	36.49	0.0244140625	40.92	42.36	43.79
0.01220703125	22.58	25.16	27.73	0.01220703125	33.19	34.48	35.76	0.01220703125	40.14	41.54	42.93
0.006103515625	22.04	24.51	26.98	0.006103515625	32.2	33.42	34.64	0.006103515625	38.96	40.29	41.62
0.0030517578125	21.54	23.92	26.3	0.0030517578125	31.96	33.17	34.38	0.0030517578125	38.68	40.0	41.31
0.00152587890625	21.09	23.39	25.68	0.00152587890625	31.3	32.47	33.64	0.00152587890625	37.89	39.16	40.43
0.000762939453125	20.68	22.9	25.12	0.000762939453125	30.47	31.6	32.72	0.000762939453125	36.91	38.13	39.36
0.0003814697265625	20.29	22.44	24.59	0.0003814697265625	29.72	30.8	31.88	0.0003814697265625	36.01	37.19	38.36
0.00019073486328125	20.29	22.44	24.59	0.00019073486328125	29.01	30.05	31.09	0.00019073486328125	35.18	36.31	37.44
9.5367431640625e-05	19.92	22.01	24.1	9.5367431640625e-05	28.37	29.37	30.38	9.5367431640625e-05	34.41	35.5	36.6
4.76837158203125e-05	19.58	21.61	23.63	4.76837158203125e-05	27.86	28.84	29.82	4.76837158203125e-05	33.81	34.88	35.94
2.384185791015625e-05	19.26	21.23	23.2	2.384185791015625e-05	27.74	28.71	29.68	2.384185791015625e-05	33.67	34.73	35.78
1.1920928955078125e-05	18.95	20.87	22.78	1.1920928955078125e-05	27.16	28.1	29.04	1.1920928955078125e-05	4.63	32.98	34.0
5.9604644775390625e-06	18.65	20.52	22.39	5.9604644775390625e-06	26.61	27.52	28.43	5.9604644775390625e-06	4.35	32.32	33.31
2.98023223876953125e-06	18.37	20.19	22.02	2.98023223876953125e-06	26.08	26.96	27.85	2.98023223876953125e-06	4.11	31.7	32.66
1.490116119384765625e-06	18.09	19.87	21.66	1.490116119384765625e-06	25.58	26.44	27.29	1.490116119384765625e-06	3.89	31.1	32.03
7.450580596921875e-07	17.83	19.57	21.31	7.450580596921875e-07	25.22	26.06	26.9	7.450580596921875e-07	3.79	30.8	31.72
3.7252902984609375e-07	17.57	19.28	20.98	3.7252902984609375e-07	25.1	25.93	26.76	3.7252902984609375e-07	3.7	30.53	31.43
1.86264514923046875e-07	17.33	18.99	20.66	1.86264514923046875e-07	24.63	25.44	26.25	1.86264514923046875e-07	3.52	29.98	30.86
9.31322574615234375e-08	17.08	18.72	20.35	9.31322574615234375e-08	24.19	24.97	25.76	9.31322574615234375e-08	3.36	29.45	30.31
4.656612873076171875e-08	16.85	18.45	20.05	4.656612873076171875e-08	23.75	24.52	25.29	4.656612873076171875e-08	3.22	28.94	29.77
2.3283064365380859375e-08	16.62	18.19	19.76	2.3283064365380859375e-08	23.34	24.09	24.84	2.3283064365380859375e-08	3.08	28.44	29.26
1.16415321826904296875e-08	16.4	17.93	19.47	1.16415321826904296875e-08	22.93	23.66	24.39	1.16415321826904296875e-08	2.96	27.96	28.75
5.82076609134521484375e-09	16.17	17.69	19.2	5.82076609134521484375e-09	22.54	23.25	23.96	5.82076609134521484375e-09	2.85	27.49	28.27
2.910383045672607421875e-09	15.96	17.44	18.93	2.910383045672607421875e-09	22.15	22.85	23.55	2.910383045672607421875e-09	2.74	27.03	27.79
1.4551915228363037109375e-09	15.74	17.2	18.66	1.4551915228363037109375e-09	21.78	22.46	23.14	1.4551915228363037109375e-09	2.64	26.59	27.33
7.2759576141815185546875e-10	15.53	16.97	18.4	7.2759576141815185546875e-10	21.41	22.08	22.75	7.2759576141815185546875e-10	2.55	26.15	26.88
3.63797880709075927734375e-10	15.32	16.74	18.15	3.63797880709075927734375e-10	21.05	21.7	22.36	3.63797880709075927734375e-10	2.47	25.73	26.44
1.818989403545379638671875e-10	15.12	16.51	17.9	1.818989403545379638671875e-10	20.7	21.34	21.98	1.818989403545379638671875e-10	2.39	25.31	26.01
9.094947017726898193359375e-11	14.91	16.28	17.65	9.094947017726898193359375e-11	20.35	20.98	21.61	9.094947017726898193359375e-11	2.31	24.9	25.59
4.5474735088634490966796875e-11	14.71	16.06	17.41	4.5474735088634490966796875e-11	20.01	20.63	21.25	4.5474735088634490966796875e-11	2.24	24.5	25.17
2.27373675443172454833984375e-11	14.51	15.84	17.17	2.27373675443172454833984375e-11	19.68	20.28	20.89	2.27373675443172454833984375e-11	2.18	24.1	24.76
1.136868377215862274169921875e-11	14.31	15.62	16.94	1.136868377215862274169921875e-11	19.35	19.94	20.54	1.136868377215862274169921875e-11	2.11	23.71	24.36
5.684341886079311370849609375e-12	14.11	15.41	16.71	5.684341886079311370849609375e-12	19.02	19.61	20.2	5.684341886079311370849609375e-12	2.06	23.32	23.96
2.8421709430396556854248046875e-12	13.91	15.19	16.47	2.8421709430396556854248046875e-12	18.7	19.28	19.86	2.8421709430396556854248046875e-12	2.0	22.94	23.57
1.42108547151982784271240234375e-12	13.71	14.98	16.25	1.42108547151982784271240234375e-12	18.38	18.95	19.52	1.42108547151982784271240234375e-12	1.95	22.56	23.19
7.10542735759913921356201171875e-13	13.5	14.76	16.02	7.10542735759913921356201171875e-13	18.06	18.63	19.19	7.10542735759913921356201171875e-13	1.9	22.19	22.8
3.552713678799569606781005859375e-13	13.3	14.55	15.79	3.552713678799569606781005859375e-13	17.75	18.31	18.87	3.552713678799569606781005859375e-13	1.85	21.82	22.42
1.7763568393997848033905029296875e-13	13.1	14.33	15.57	1.7763568393997848033905029296875e-13	17.44	17.99	18.54	1.7763568393997848033905029296875e-13	1.8	21.45	22.05
8.88178419699892401695251464796875e-14	12.89	14.12	15.34	8.88178419699892401695251464796875e-14	17.13	17.67	18.22	8.88178419699892401695251464796875e-14	1.76	21.08	21.68
4.44089209849946200847625732396875e-14	12.68	13.9	15.12	4.44089209849946200847625732396875e-14	16.82	17.36	17.9	4.44089209849946200847625732396875e-14	1.72	20.71	21.31
2.22044604924973100423812866196875e-14	12.47	13.68	14.89	2.22044604924973100423812866196875e-14	16.51	17.05	17.59	2.22044604924973100423812866196875e-14	1.68	20.35	20.94
1.11022302462486550211906433096875e-14	12.26	13.46	14.66	1.11022302462486550211906433096875e-14	16.2	16.74	17.27	1.11022302462486550211906433096875e-14	1.64	19.99	20.57
5.55111512312432751059532165496875e-15	12.04	13.24	14.44	5.55111512312432751059532165496875e-15	15.89	16.43	16.96	5.55111512312432751059532165496875e-15	1.61	19.62	20.2
2.775557561562163755297660827484375e-15	11.81	13.01	14.2	2.775557561562163755297660827484375e-15	15.58	16.12	16.65	2.775557561562163755297660827484375e-15	1.57	19.26	19.84
1.3877787807810818776488304137421875e-15	11.58	12.78	13.97	1.3877787807810818776488304137421875e-15	15.28	15.81	16.34	1.3877787807810818776488304137421875e-15	1.54	18.89	19.47
6.93889390390540938824415206871875e-16	11.35	12.54	13.74	6.93889390390540938824415206871875e-16	14.97	15.5	16.03	6.93889390390540938824415206871875e-16	1.51	18.52	19.1
3.4694469519527046941220760343896875e-16	11.11	12.3	13.49	3.4694469519527046941220760343896875e-16	14.65	15.18	15.72	3.4694469519527046941220760343896875e-16	1.48	18.16	18.73
1.7347234759763523470610380171946875e-16	10.85	12.05	13.25	1.7347234759763523470610380171946875e-16	14.34	14.87	15.4	1.7347234759763523470610380171946875e-16	1.45	17.79	18.36
8.6736173798817617353051900859734375e-17	10.59	11.79	13.0	8.6736173798817617353051900859734375e-17	14.02	14.56	15.09	8.6736173798817617353051900859734375e-17	1.42	17.41	17.99
4.33680868994088086765259504298671875e-17	10.32	11.53	12.73	4.33680868994088086765259504298671875e-17	13.7	14.24	14.78	4.33680868994088086765259504298671875e-17	1.4	17.03	17.62
2.168404344970440433826297521493359375e-17	10.03	11.24	12.46	2.168404344970440433826297521493359375e-17	13.38	13.92	14.46	2.168404344970440433826297521			

Tabla 52. Límites de confianza de la variable de precipitación para la Subcuenca 3, la Subcuenca 4 y la Subcuenca 5 en mm.

Límites de confianza con menor error. Precipitación. Subcuenca 3 Por Momentos				Límites de confianza con menor error. Precipitación. Subcuenca 4 Por Momentos				Límites de confianza con menor error. Precipitación. Subcuenca 5 Por Momentos			
T Años	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior	T Años	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior	T Años	P Calculada inferior	P calculada	P calculada superior
10000.0	145.61	151.89	158.17	10000.0	102.36	108.88	115.4	10000.0	109.03	115.87	122.7
5000.0	136.88	142.7	148.52	5000.0	95.85	101.89	107.93	5000.0	102.03	108.36	114.69
1000.0	116.62	121.37	126.11	1000.0	80.73	85.66	90.59	1000.0	85.75	90.91	96.08
500.0	107.89	112.17	116.46	500.0	74.21	78.67	83.12	500.0	78.73	83.4	88.06
200.0	96.33	100.01	103.69	200.0	65.59	69.41	73.23	200.0	69.45	73.45	77.46
100.0	87.57	90.79	94.01	100.0	59.05	62.4	65.74	100.0	62.41	65.91	69.42
69.0	82.86	85.84	88.82	50.0	52.49	55.36	58.23	50.0	55.34	58.35	61.36
50.0	78.77	81.53	84.3	49.0	52.29	55.15	58.01	48.0	54.92	57.9	60.88
34.5	74.03	76.56	79.08	25.0	45.87	48.27	50.67	25.0	48.21	50.73	53.24
25.0	69.9	72.21	74.52	24.5	45.67	48.06	50.44	24.0	47.79	50.28	52.76
23.0	68.83	71.08	73.34	20.0	43.71	45.96	48.21	20.0	45.9	48.25	50.61
20.0	67.02	69.19	71.35	16.33	41.75	43.86	45.97	16.0	43.57	45.77	47.96
17.25	65.1	67.17	69.24	15.0	40.92	42.97	45.03	15.0	42.89	45.04	47.19
15.0	63.28	65.26	67.23	12.25	38.94	40.85	42.77	12.0	40.53	42.53	44.52
13.8	62.19	64.11	66.03	10.0	36.93	38.71	40.49	10.0	38.59	40.45	42.32
11.5	59.79	61.59	63.4	9.8	36.72	38.49	40.26	9.6	38.15	39.99	41.82
10.0	57.93	59.64	61.36	8.17	34.9	36.54	38.18	8.0	36.18	37.89	39.59
9.86	57.74	59.44	61.15	7.0	33.33	34.87	36.41	6.86	34.49	36.09	37.69
8.63	55.95	57.57	59.19	6.13	31.95	33.4	34.86	6.0	33.01	34.51	36.02
7.67	54.36	55.9	57.44	5.44	30.72	32.1	33.47	5.33	31.68	33.1	34.53
7.0	53.12	54.6	56.09	5.0	29.82	31.14	32.46	5.0	30.94	32.32	33.7
6.9	52.92	54.4	55.87	4.9	29.61	30.91	32.22	4.8	30.47	31.83	33.18
6.27	51.61	53.02	54.44	4.45	28.58	29.82	31.07	4.36	29.37	30.66	31.94
5.75	50.4	51.76	53.11	4.08	27.63	28.82	30.01	4.0	28.34	29.57	30.8
5.31	49.28	50.59	51.9	4.0	27.41	28.58	29.75	3.8	27.73	28.92	30.12
5.0	48.43	49.7	50.97	3.77	26.74	27.88	29.02	3.69	27.38	28.56	29.73
4.93	48.22	49.49	50.75	3.5	25.91	27.0	28.09	3.43	26.48	27.61	28.73
4.6	47.24	48.45	49.67	3.27	25.12	26.17	27.21	3.2	25.62	26.71	27.79
4.31	46.3	47.48	48.66	3.06	24.37	25.37	26.38	3.0	24.81	25.85	26.89
4.06	45.42	46.56	47.69	2.88	23.65	24.62	25.59	2.82	24.03	25.04	26.04
3.83	44.57	45.68	46.78	2.72	22.96	23.89	24.83	2.67	23.28	24.25	25.22
3.63	43.76	44.83	45.91	2.58	22.29	23.2	24.1	2.53	22.56	23.5	24.44
3.5	43.21	44.26	45.3	2.5	21.9	22.79	23.68	2.4	21.86	22.77	23.68
3.45	42.99	44.03	45.07	2.45	21.64	22.52	23.4	2.29	21.18	22.06	22.94
3.29	42.24	43.25	44.26	2.33	21.02	21.87	22.72	2.18	20.51	21.37	22.23
3.14	41.52	42.51	43.49	2.23	20.4	21.23	22.07	2.09	19.86	20.7	21.54
3.0	40.83	41.78	42.74	2.13	19.81	20.62	21.43	2.0	19.22	20.04	20.86
2.88	40.15	41.08	42.02	2.04	19.22	20.01	20.8	1.92	18.59	19.4	20.2
2.76	39.49	40.4	41.32	1.96	18.64	19.42	20.19	1.85	17.97	18.76	19.55
2.65	38.85	39.74	40.63	1.88	18.07	18.83	19.59	1.78	17.36	18.13	18.91
2.56	38.23	39.1	39.97	1.81	17.51	18.26	19.0	1.71	16.75	17.51	18.28
2.46	37.62	38.47	39.32	1.75	16.95	17.69	18.42	1.66	16.14	16.9	17.65
2.38	37.03	37.86	38.69	1.69	16.39	17.12	17.85	1.6	15.53	16.28	17.03
2.3	36.44	37.26	38.07	1.63	15.84	16.56	17.28	1.55	14.92	15.67	16.42
2.23	35.87	36.67	37.47	1.58	15.28	16.0	16.72	1.5	14.3	15.05	15.8
2.16	35.3	36.09	36.87	1.53	14.73	15.44	16.16	1.45	13.68	14.43	15.18
2.09	34.74	35.52	36.29	1.48	14.16	14.88	15.6	1.41	13.05	13.81	14.56
2.03	34.2	34.95	35.71	1.44	13.6	14.32	15.03	1.37	12.41	13.18	13.94
1.97	33.65	34.4	35.15	1.4	13.02	13.74	14.47	1.33	11.76	12.53	13.3
1.92	33.11	33.85	34.59	1.36	12.44	13.16	13.89	1.3	11.09	11.87	12.65
1.86	32.58	33.31	34.04	1.32	11.84	12.57	13.31	1.26	10.4	11.19	11.99
1.82	32.05	32.77	33.49	1.29	11.22	11.97	12.72	1.23	9.68	10.49	11.3
1.77	31.53	32.24	32.96	1.26	10.58	11.35	12.11	1.2	8.92	9.75	10.58
1.73	31.01	31.71	32.42	1.23	9.92	10.7	11.48	1.17	8.12	8.97	9.83
1.68	30.49	31.19	31.89	1.2	9.22	10.02	10.82	1.14	7.25	8.14	9.02
1.64	29.97	30.66	31.36	1.17	8.48	9.3	10.13	1.12	6.31	7.23	8.15
1.6	29.45	30.14	30.83	1.14	7.69	8.54	9.38	1.09	5.25	6.21	7.17
1.57	28.93	29.62	30.31	1.11	6.81	7.7	8.58	1.07	4.01	5.02	6.03
1.53	28.41	29.1	29.79	1.09	5.83	6.76	7.68	1.04	2.46	3.54	4.63
1.5	27.88	28.57	29.26	1.07	4.69	5.66	6.63	1.02	0.21	1.4	2.6
1.47	27.36	28.05	28.74	1.04	3.26	4.29	5.33				
1.44	26.83	27.52	28.21	1.02	1.18	2.32	3.45				
1.41	26.29	26.99	27.68								
1.38	25.75	26.45	27.15								
1.35	25.2	25.9	26.61								
1.33	24.64	25.35	26.06								
1.3	24.07	24.79	25.51								
1.28	23.49	24.22	24.94								
1.25	22.9	23.63	24.37								
1.23	22.28	23.03	23.78								
1.21	21.65	22.41	23.17								
1.19	20.99	21.76	22.54								
1.17	20.3	21.09	21.88								
1.15	19.58	20.39	21.2								
1.13	18.82	19.64	20.47								
1.11	18.0	18.85	19.7								
1.1	17.11	17.98	18.86								
1.08	16.12	17.03	17.94								
1.06	15.0	15.95	16.89								
1.05	13.68	14.67	15.66								
1.03	12.01	13.06	14.11								
1.01	9.55	10.69	11.83								

Tabla 53. Límites de confianza de la variable de gasto para la Cuenca General, la Subcuenca 1 y la Subcuenca 2 en m³/s.

Límites de confianza con menor error. Gasto.				Límites de confianza con menor error. Gasto.				Límites de confianza con menor error. Gasto.			
Cuenca General Por Momentos				Subcuenca 1 Por Momentos				Subcuenca 2 Por Momentos			
T Años	G Calculada inferior	G calculada	G calculada superior	T Años	G calculada superior	G calculada	G Calculada inferior	T Años	G Calculada inferior	G calculada	G calculada superior
10000.0	8.68	8.84	8.99	10000.0	8.9	7.72	6.54	10000.0	-7.29	1.04	9.37
5000.0	8.53	8.68	8.84	5000.0	8.63	7.46	6.29	5000.0	-7.0	1.04	9.07
1000.0	7.91	8.06	8.21	1000.0	7.59	6.45	5.32	1000.0	-5.88	1.03	7.94
500.0	7.48	7.63	7.78	500.0	6.93	5.82	4.7	500.0	-5.17	1.02	7.2
200.0	6.73	6.88	7.02	200.0	5.84	4.77	3.7	200.0	-4.02	1.0	6.02
100.0	6.0	6.14	6.28	100.0	4.89	3.86	2.83	100.0	-3.1	0.98	5.06
51.0	5.16	5.3	5.43	50.0	3.89	2.92	1.95	50.0	-2.37	0.96	4.28
50.0	5.14	5.27	5.4	44.0	3.71	2.75	1.79	49.0	-2.35	0.96	4.27
25.5	4.19	4.31	4.44	25.0	2.93	2.03	1.13	25.0	-2.09	0.92	3.94
25.0	4.16	4.28	4.41	22.0	2.76	1.88	0.99	24.5	-2.09	0.92	3.93
20.0	3.83	3.95	4.07	20.0	2.64	1.77	0.89	20.0	-2.09	0.91	3.92
17.0	3.58	3.7	3.82	14.67	2.26	1.43	0.59	16.33	-2.12	0.9	3.92
15.0	3.39	3.51	3.62	15.0	2.29	1.45	0.61	15.0	-2.13	0.9	3.92
12.75	3.14	3.25	3.37	11.0	1.94	1.14	0.35	12.25	-2.16	0.88	3.92
10.2	2.8	2.91	3.01	10.0	1.84	1.06	0.28	10.0	-2.17	0.87	3.9
10.0	2.77	2.88	2.98	8.8	1.71	0.95	0.19	9.8	-2.17	0.87	3.9
8.5	2.52	2.62	2.72	7.33	1.54	0.8	0.07	8.17	-2.14	0.85	3.84
7.29	2.28	2.38	2.48	6.29	1.4	0.69	-0.02	7.0	-2.08	0.84	3.76
6.38	2.08	2.17	2.27	5.5	1.29	0.6	-0.09	6.13	-2.0	0.83	3.66
5.67	1.9	1.99	2.08	5.0	1.22	0.54	-0.14	5.44	-1.91	0.82	3.55
5.1	1.74	1.83	1.92	4.89	1.2	0.53	-0.15	5.0	-1.82	0.81	3.44
5.0	1.71	1.8	1.89	4.4	1.13	0.47	-0.2	4.9	-1.8	0.81	3.42
4.64	1.59	1.68	1.77	4.0	1.06	0.42	-0.23	4.45	-1.68	0.8	3.28
4.25	1.46	1.55	1.63	3.67	1.01	0.37	-0.27	4.08	-1.55	0.79	3.13
3.92	1.34	1.42	1.51	3.5	0.98	0.35	-0.28	3.95	-1.5	0.79	3.07
3.64	1.23	1.31	1.39	3.38	0.96	0.33	-0.29	3.77	-1.42	0.78	2.98
3.4	1.13	1.21	1.28	3.14	0.92	0.3	-0.32	3.5	-1.28	0.77	2.82
3.19	1.03	1.11	1.18	2.93	0.88	0.27	-0.34	3.27	-1.14	0.76	2.67
3.0	0.94	1.02	1.09	2.75	0.85	0.25	-0.36	3.06	-0.99	0.76	2.5
2.83	0.86	0.93	1.0	2.59	0.82	0.22	-0.37	2.88	-0.84	0.75	2.34
2.68	0.78	0.85	0.92	2.44	0.8	0.2	-0.39	2.72	-0.7	0.74	2.18
2.55	0.7	0.77	0.84	2.32	0.78	0.19	-0.41	2.58	-0.55	0.73	2.01
2.43	0.63	0.7	0.76	2.25	0.77	0.18	-0.41	2.5	-0.46	0.73	1.92
2.32	0.56	0.62	0.69	2.2	0.76	0.17	-0.42	2.45	-0.4	0.73	1.85
2.22	0.5	0.56	0.62	2.1	0.74	0.15	-0.43	2.33	-0.25	0.72	1.69
2.13	0.43	0.49	0.55	2.0	0.73	0.14	-0.45	2.23	-0.11	0.71	1.53
2.04	0.37	0.43	0.49	1.91	0.72	0.13	-0.46	2.13	0.03	0.7	1.38
1.96	0.31	0.37	0.43	1.83	0.71	0.12	-0.47	2.04	0.15	0.7	1.24
1.89	0.25	0.31	0.37	1.76	0.7	0.11	-0.48	1.96	0.26	0.69	1.12
1.82	0.19	0.26	0.32	1.69	0.69	0.1	-0.5	1.88	0.33	0.68	1.03
1.76	0.14	0.2	0.26	1.63	0.69	0.09	-0.51	1.81	0.34	0.68	1.01
1.7	0.08	0.15	0.21	1.57	0.68	0.08	-0.52	1.75	0.29	0.67	1.05
1.65	0.03	0.1	0.16	1.52	0.68	0.07	-0.54	1.69	0.19	0.66	1.13
1.59	-0.02	0.05	0.12	1.47	0.68	0.07	-0.55	1.63	0.07	0.65	1.24
1.55	-0.08	0.0	0.07	1.42	0.69	0.06	-0.57	1.58	-0.06	0.65	1.35
1.5	-0.13	-0.05	0.02	1.38	0.69	0.05	-0.59	1.53	-0.19	0.64	1.47
1.46	-0.18	-0.1	-0.02	1.33	0.7	0.05	-0.6	1.48	-0.32	0.63	1.58
1.42	-0.22	-0.15	-0.07	1.29	0.71	0.04	-0.62	1.44	-0.44	0.62	1.69
1.38	-0.27	-0.19	-0.11	1.26	0.72	0.04	-0.64	1.4	-0.56	0.61	1.79
1.34	-0.32	-0.24	-0.15	1.22	0.73	0.03	-0.67	1.36	-0.67	0.6	1.88
1.31	-0.37	-0.28	-0.2	1.19	0.75	0.03	-0.69	1.32	-0.76	0.6	1.96
1.28	-0.42	-0.33	-0.24	1.16	0.77	0.02	-0.72	1.29	-0.85	0.59	2.02
1.24	-0.46	-0.37	-0.28	1.13	0.79	0.02	-0.75	1.26	-0.91	0.58	2.07
1.21	-0.51	-0.42	-0.33	1.1	0.82	0.02	-0.79	1.23	-0.96	0.57	2.09
1.19	-0.56	-0.47	-0.37	1.07	0.86	0.01	-0.84	1.2	-0.97	0.55	2.08
1.16	-0.61	-0.51	-0.41	1.05	0.92	0.01	-0.91	1.17	-0.95	0.54	2.03
1.13	-0.66	-0.56	-0.46	1.02	1.02	0.01	-1.01	1.14	-0.88	0.53	1.94
1.11	-0.72	-0.61	-0.5	1.09	-0.77	-0.66	-0.55	1.11	-0.76	0.51	1.78
1.09	-0.77	-0.66	-0.55	1.06	-0.83	-0.72	-0.6	1.09	-0.61	0.5	1.61
1.06	-0.83	-0.72	-0.6	1.04	-0.9	-0.78	-0.66	1.07	-0.66	0.48	1.61
1.04	-0.9	-0.78	-0.66	1.02	-0.99	-0.86	-0.72	1.04	-1.49	0.45	2.38
1.02	-0.99	-0.86	-0.72					1.02	-4.13	0.4	4.94

Tabla 54. Límites de confianza de la variable de gasto para la Subcuenca 3, la Subcuenca 4 y la Subcuenca 5 en m³/s.

Límites de confianza con menor error. Gasto. Subcuenca 3 Por Momentos				Límites de confianza con menor error. Gasto. Subcuenca 4 Por Momentos				Límites de confianza con menor error. Gasto. Subcuenca 5 Por Momentos			
T Años	G Calculada inferior	G calculada	G calculada superior	T Años	G Calculada inferior	G calculada	G calculada superior	T Años	G Calculada inferior	G calculada	G calculada superior
10000.0	25.03	25.77	26.5	10000.0	-20.91	1.33	23.57	10000.0	-9.51	2.44	14.38
5000.0	24.66	25.39	26.13	5000.0	-20.57	1.33	23.23	5000.0	-9.16	2.43	14.01
1000.0	23.19	23.9	24.62	1000.0	-19.61	1.32	22.24	1000.0	-7.8	2.39	12.58
500.0	22.17	22.87	23.58	500.0	-19.27	1.31	21.89	500.0	-6.89	2.37	11.63
200.0	20.32	21.0	21.68	200.0	-19.15	1.29	21.74	200.0	-5.35	2.32	9.99
100.0	18.49	19.14	19.8	100.0	-19.34	1.27	21.89	100.0	-3.96	2.27	8.5
50.0	16.25	16.87	17.49	50.0	-19.49	1.25	21.99	52.0	-2.62	2.21	7.03
25.0	13.61	14.19	14.78	46.0	-19.47	1.25	21.97	50.0	-2.54	2.2	6.95
20.0	12.69	13.26	13.82	25.0	-18.86	1.22	21.31	26.0	-1.46	2.12	5.7
16.0	11.74	12.28	12.83	23.0	-18.69	1.22	21.12	25.0	-1.41	2.12	5.64
15.0	11.46	12.0	12.54	20.0	-18.33	1.21	20.75	20.0	-1.18	2.08	5.35
10.0	9.64	10.14	10.65	15.33	-17.4	1.19	19.79	17.33	-1.08	2.06	5.2
8.0	8.6	9.08	9.56	15.0	-17.3	1.19	19.69	15.0	-1.02	2.04	5.09
5.33	6.66	7.1	7.53	11.5	-15.95	1.18	18.31	13.0	-0.98	2.01	5.0
4.0	5.25	5.64	6.04	10.0	-15.07	1.17	17.41	10.4	-0.98	1.97	4.92
3.5	4.58	4.95	5.33	9.2	-14.49	1.16	16.81	10.0	-0.99	1.96	4.91
3.2	4.12	4.48	4.84	7.67	-13.06	1.15	15.36	8.67	-1.01	1.93	4.87
2.67	3.17	3.5	3.83	6.57	-11.69	1.14	13.96	7.43	-1.04	1.9	4.83
2.5	2.83	3.15	3.46	5.75	-10.38	1.12	12.63	6.5	-1.06	1.87	4.79
2.29	2.35	2.65	2.95	5.11	-9.16	1.11	11.39	5.78	-1.06	1.84	4.73
2.0	1.61	1.88	2.15	5.0	-8.92	1.11	11.15	5.2	-1.05	1.81	4.67
1.78	0.87	1.17	1.47	4.6	-8.01	1.1	10.22	5.0	-1.04	1.8	4.64
1.6	0.17	0.5	0.83	4.18	-6.95	1.09	9.14	4.73	-1.02	1.78	4.59
1.45	-0.5	-0.14	0.22	3.83	-5.98	1.09	8.15	4.33	-0.98	1.76	4.5
1.33	-1.18	-0.78	-0.39	3.7	-5.58	1.08	7.75	4.15	-0.96	1.75	4.45
1.23	-1.88	-1.45	-1.01	3.54	-5.09	1.08	7.25	4.0	-0.93	1.74	4.41
1.14	-2.66	-2.17	-1.68	3.29	-4.3	1.07	6.44	3.71	-0.88	1.71	4.3
1.07	-3.62	-3.06	-2.49	3.07	-3.61	1.06	5.73	3.47	-0.81	1.69	4.19
				2.88	-3.03	1.05	5.13	3.25	-0.73	1.67	4.07
				2.71	-2.55	1.04	4.64	3.06	-0.65	1.65	3.94
				2.56	-2.18	1.04	4.25	2.89	-0.56	1.63	3.81
				2.42	-1.91	1.03	3.97	2.74	-0.46	1.61	3.68
				2.35	-1.8	1.03	3.85	2.68	-0.42	1.6	3.62
				2.3	-1.73	1.02	3.78	2.6	-0.36	1.59	3.54
				2.19	-1.61	1.01	3.64	2.48	-0.25	1.57	3.39
				2.09	-1.53	1.01	3.54	2.36	-0.14	1.55	3.24
				2.0	-1.45	1.0	3.45	2.26	-0.03	1.53	3.09
				1.92	-1.35	0.99	3.33	2.17	0.09	1.51	2.94
				1.84	-1.22	0.99	3.19	2.08	0.21	1.49	2.78
				1.77	-1.05	0.98	3.01	2.0	0.33	1.48	2.62
				1.7	-0.87	0.97	2.81	1.93	0.45	1.46	2.47
				1.64	-0.72	0.96	2.65	1.86	0.57	1.44	2.31
				1.59	-0.74	0.96	2.66	1.79	0.68	1.42	2.15
				1.53	-1.08	0.95	2.98	1.73	0.79	1.4	2.01
				1.48	-1.78	0.94	3.66	1.68	0.88	1.38	1.88
				1.44	-2.82	0.93	4.69	1.63	0.93	1.36	1.79
				1.39	-4.19	0.92	6.03	1.58	0.92	1.34	1.76
				1.35	-5.89	0.91	7.72	1.53	0.84	1.32	1.8
				1.31	-7.97	0.9	9.78	1.49	0.72	1.3	1.88
				1.28	-10.49	0.89	12.28	1.44	0.56	1.28	1.99
				1.24	-13.56	0.88	15.33	1.41	0.39	1.26	2.12
				1.21	-17.3	0.87	19.05	1.37	0.21	1.23	2.26
				1.18	-21.92	0.86	23.64	1.33	0.01	1.21	2.41
				1.15	-27.71	0.85	29.41	1.3	-0.18	1.19	2.56
				1.12	-35.15	0.83	36.82	1.27	-0.39	1.16	2.71
				1.1	-45.05	0.82	46.68	1.24	-0.59	1.14	2.86
				1.07	-59.01	0.8	60.6	1.21	-0.79	1.11	3.01
				1.05	-80.73	0.77	82.26	1.18	-0.99	1.08	3.15
				1.02	-122.74	0.73	124.2	1.16	-1.19	1.04	3.27
								1.13	-1.37	1.01	3.39
								1.11	-1.53	0.97	3.47
								1.08	-1.66	0.92	3.49
								1.06	-1.7	0.86	3.41
								1.04	-1.55	0.78	3.12
								1.02	-0.91	0.67	2.24

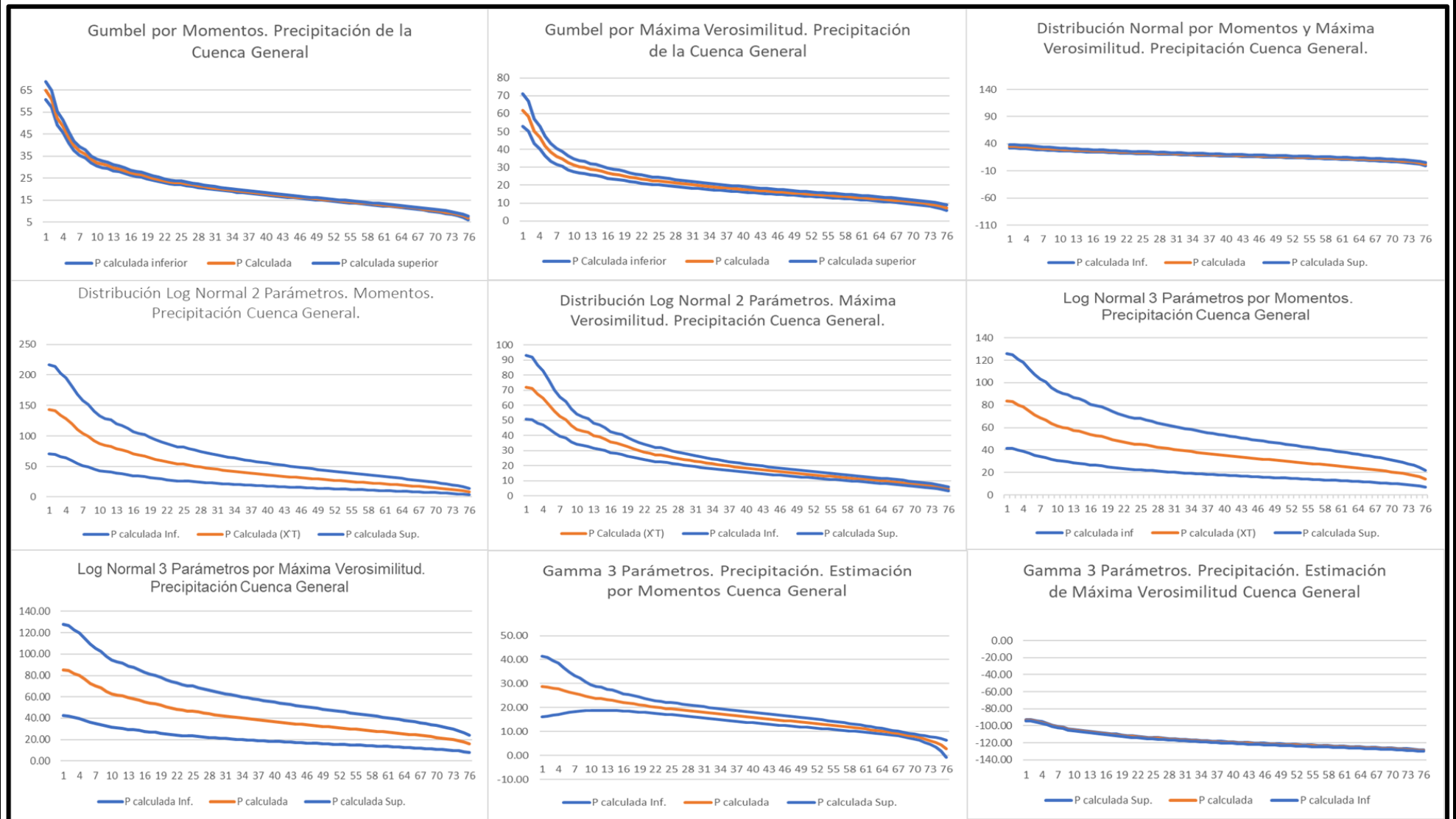


Figura 50. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Cuenca General.

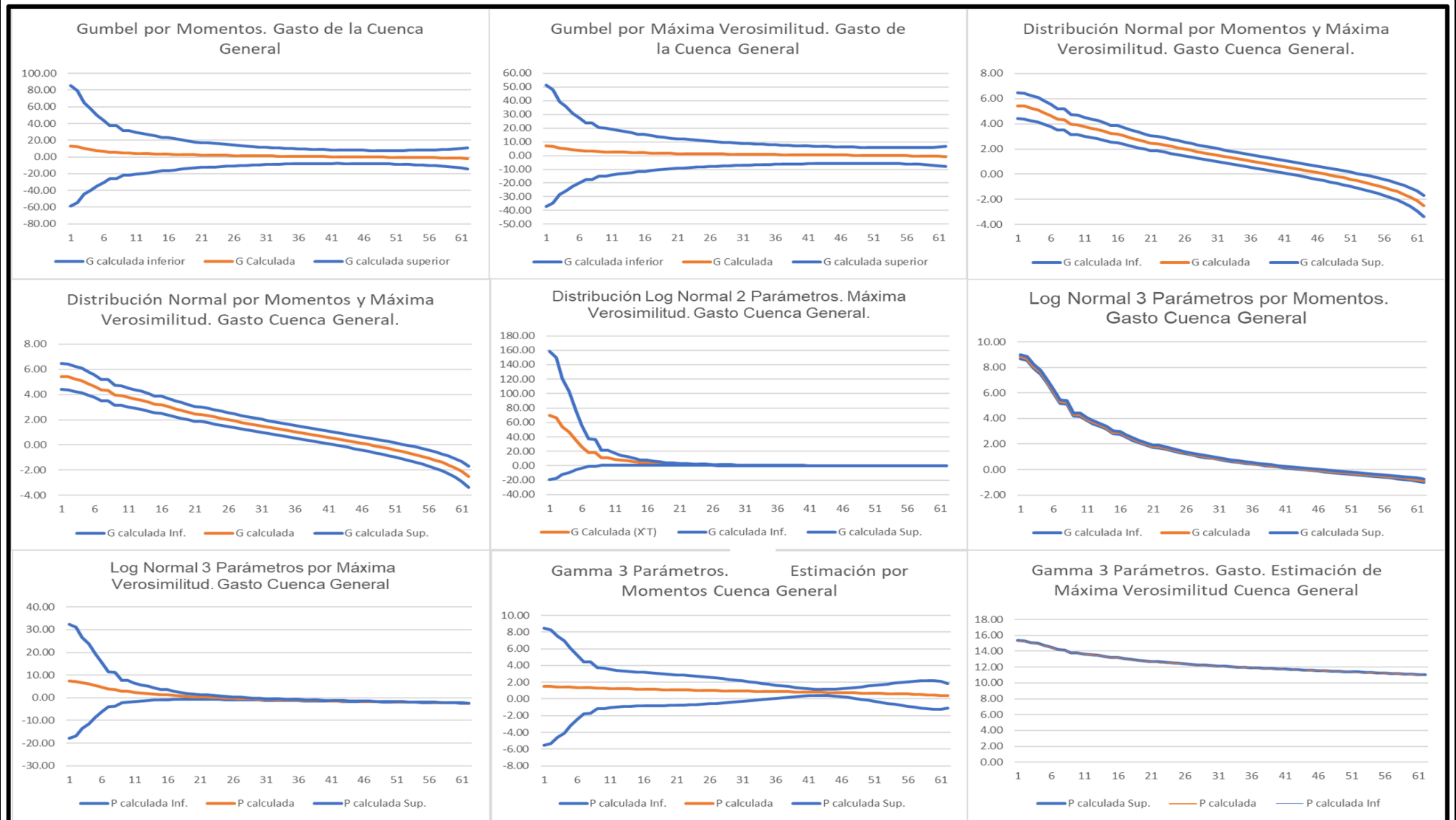


Figura 51. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Cuenca General en mm.

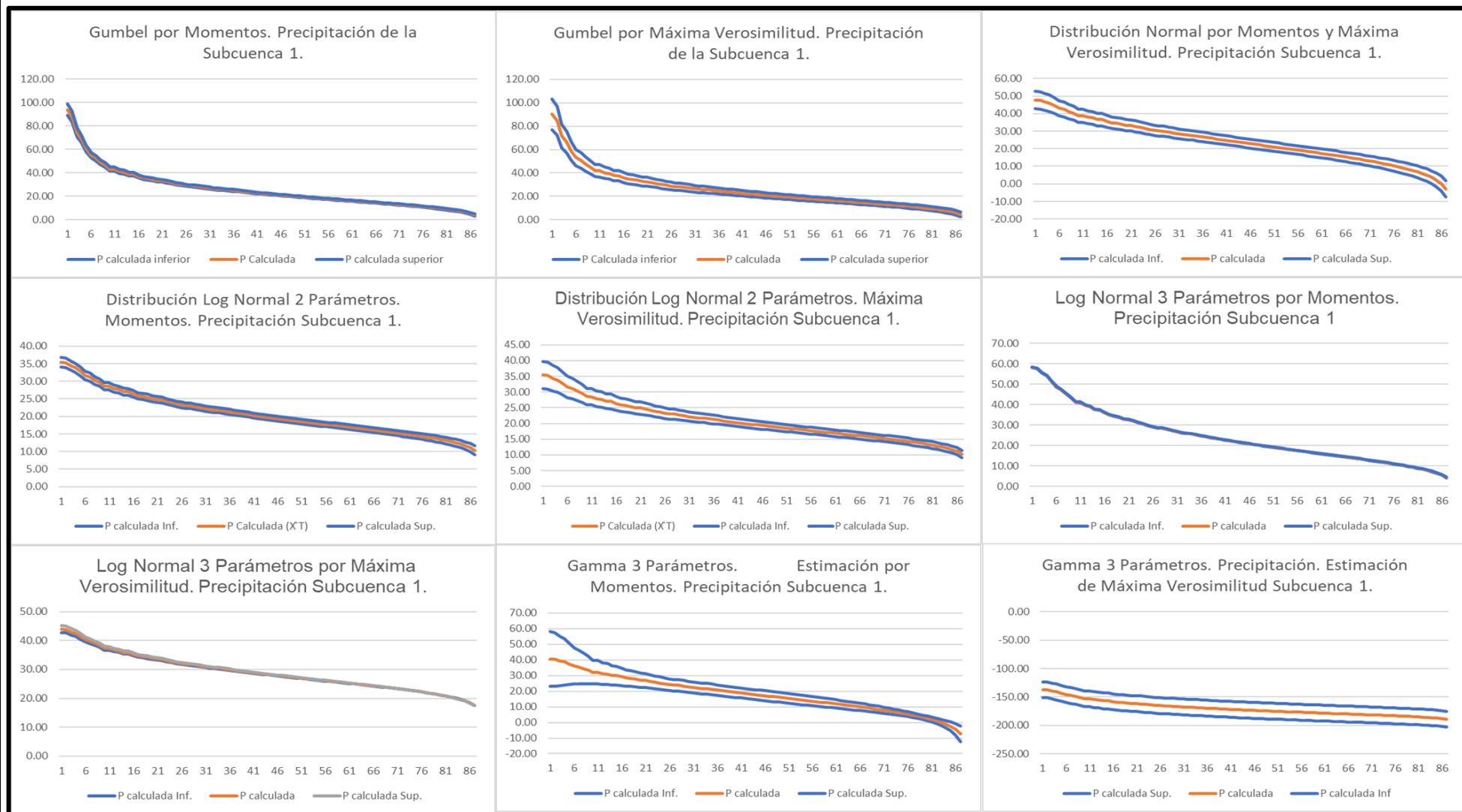


Figura 52. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 1 en mm.

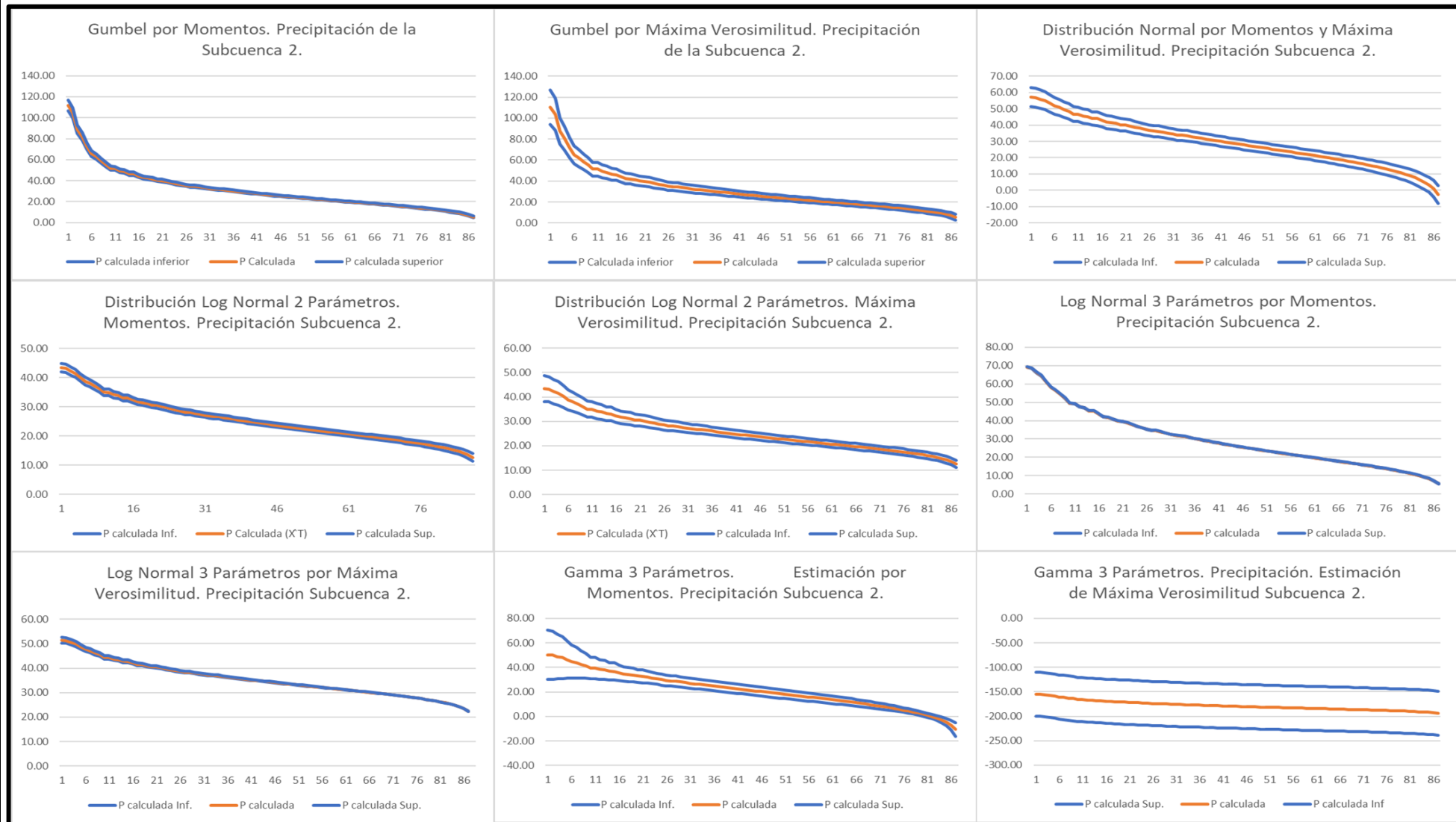


Figura 53. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 2 en mm.

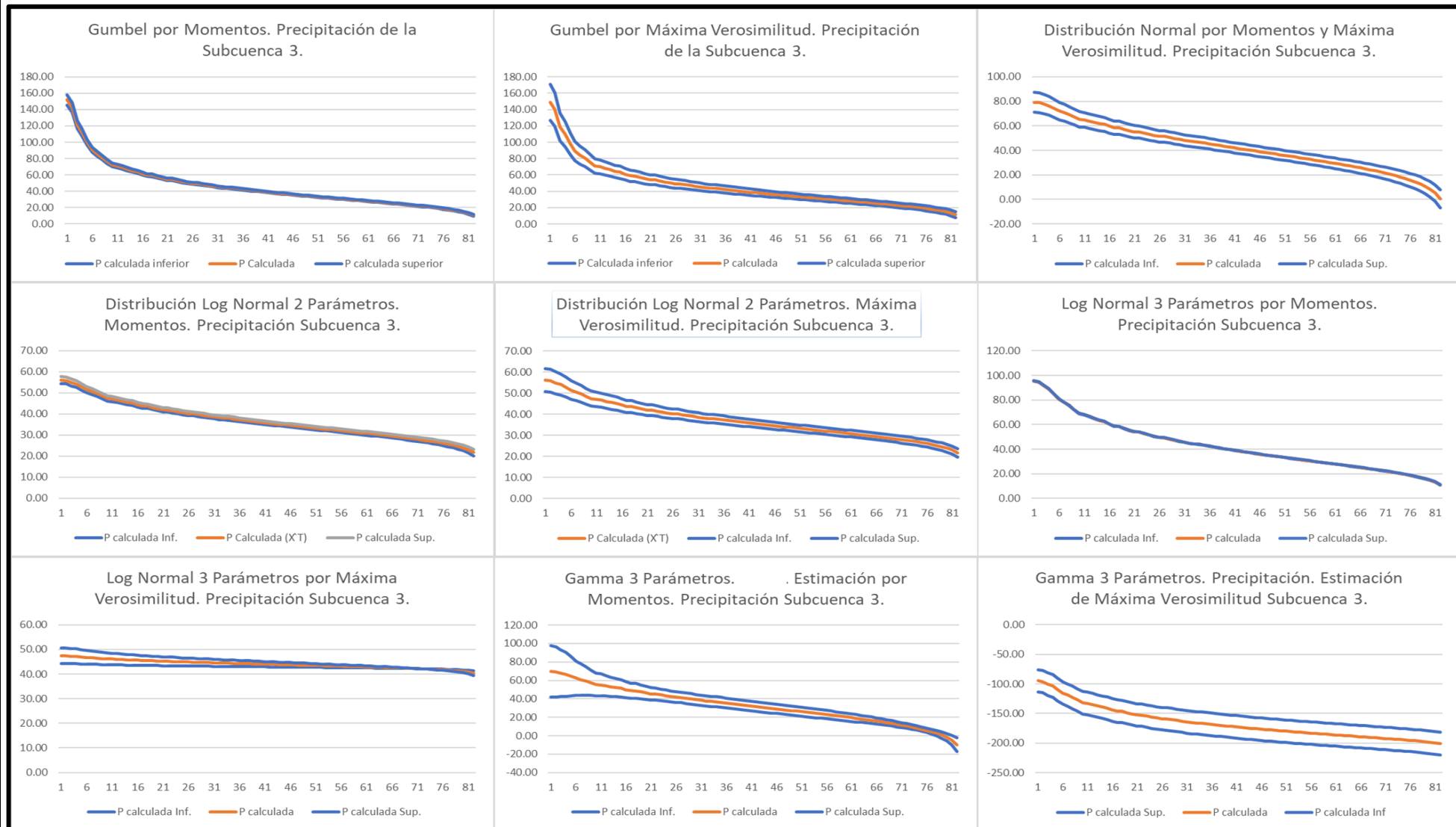


Figura 54. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 3 en mm.

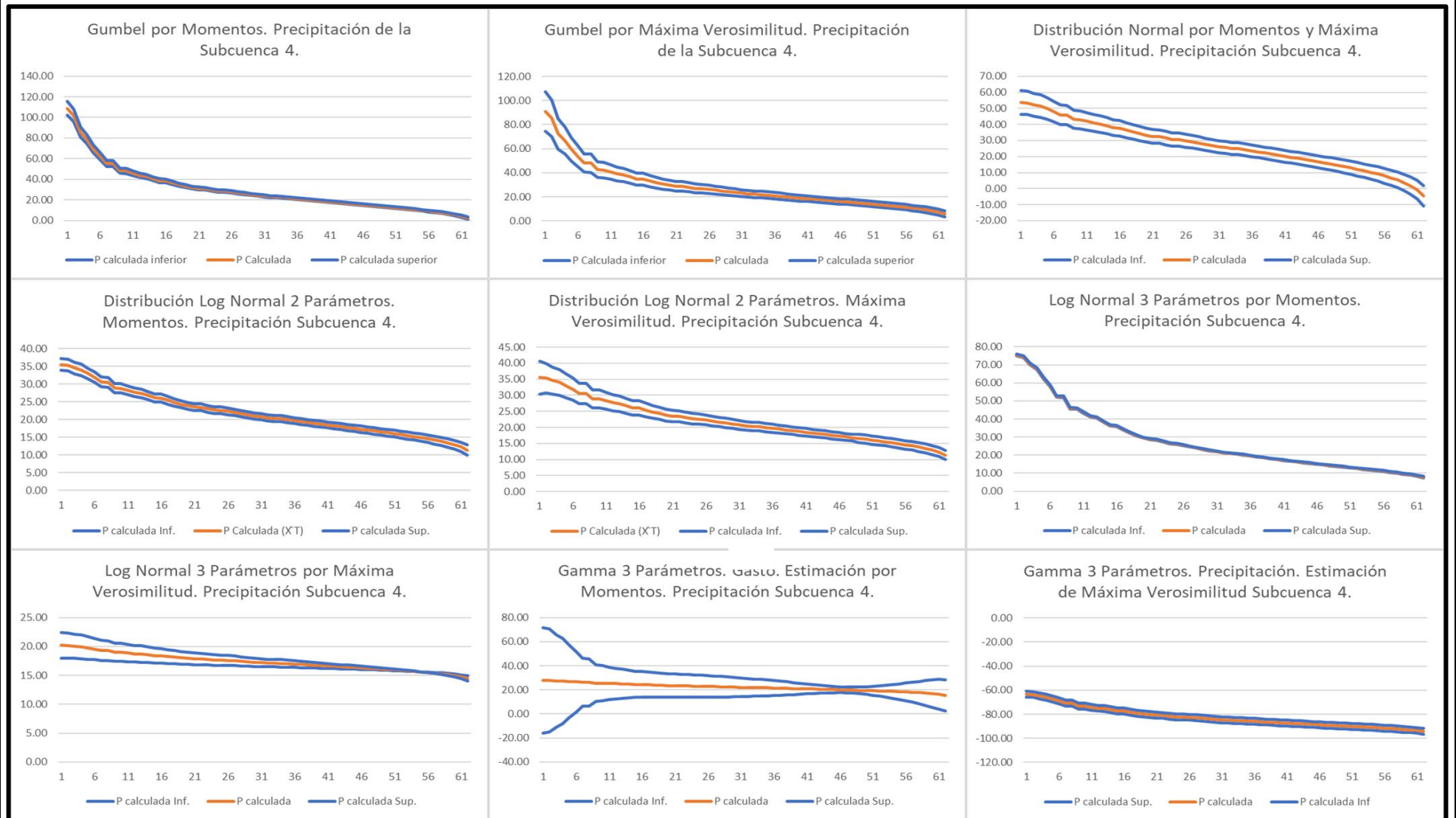


Figura 55. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 4 en mm.

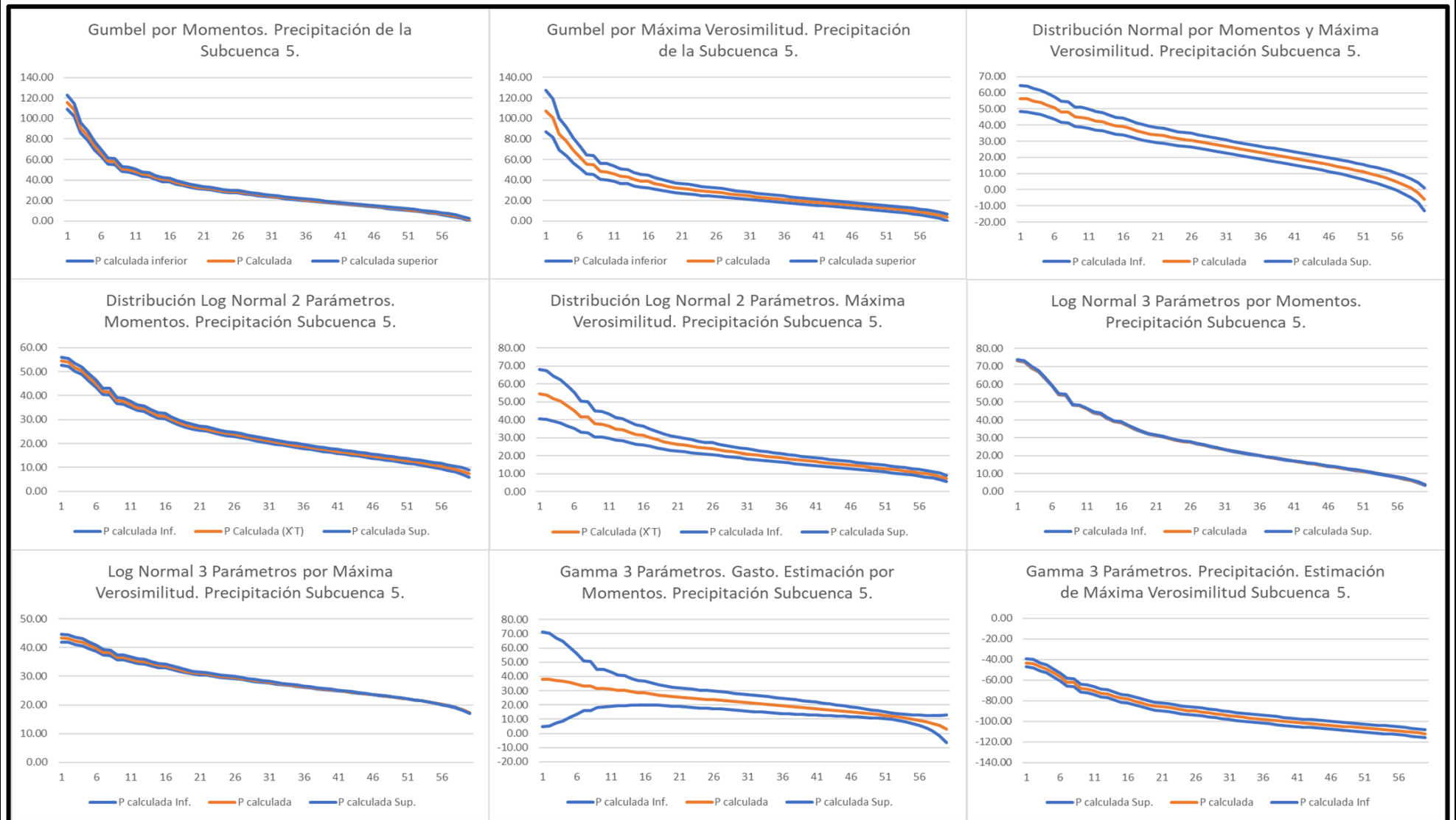


Figura 56. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para precipitación en la Subcuenca 5 en mm.

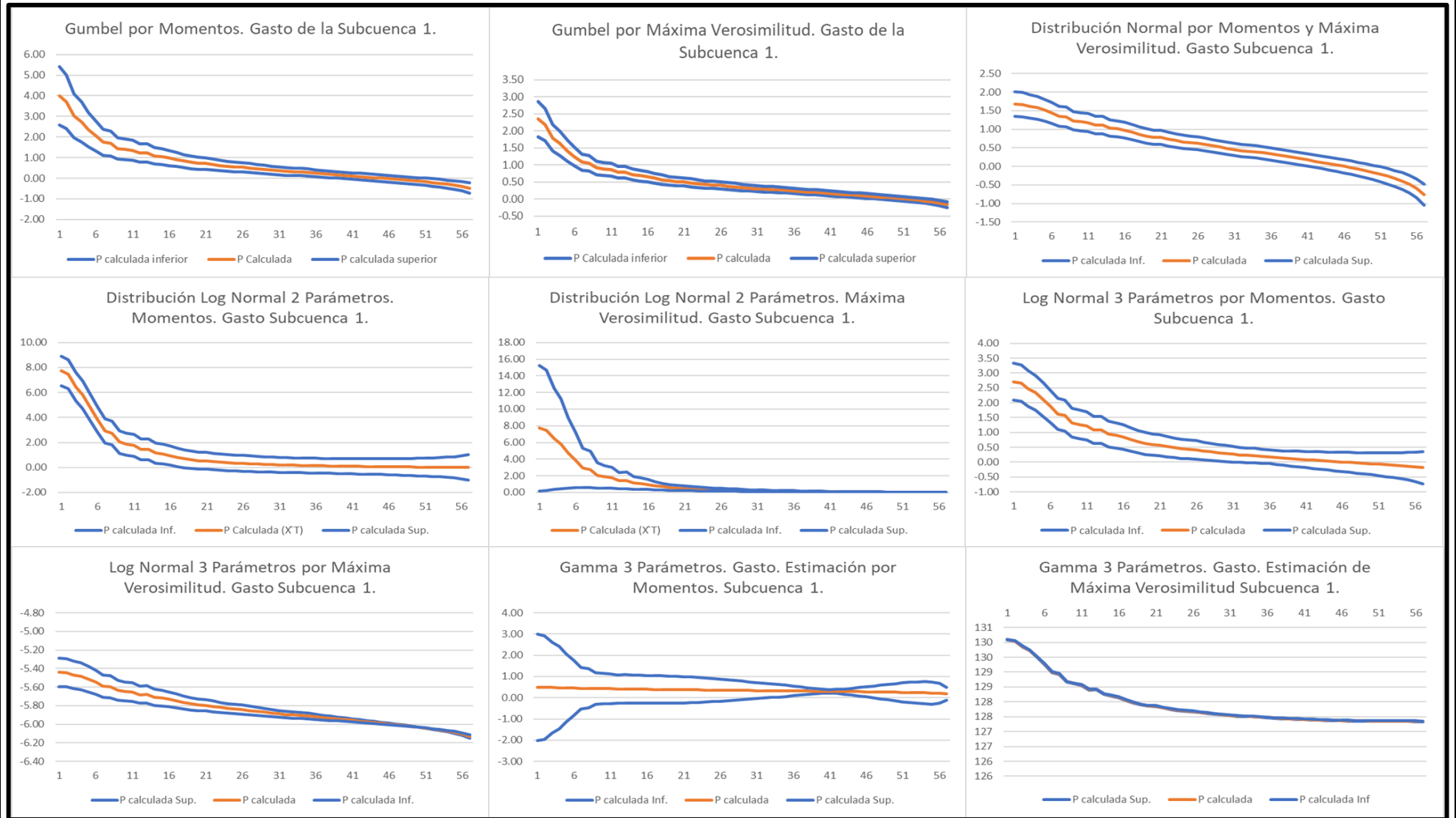


Figura 57. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 1 en m^3/s .

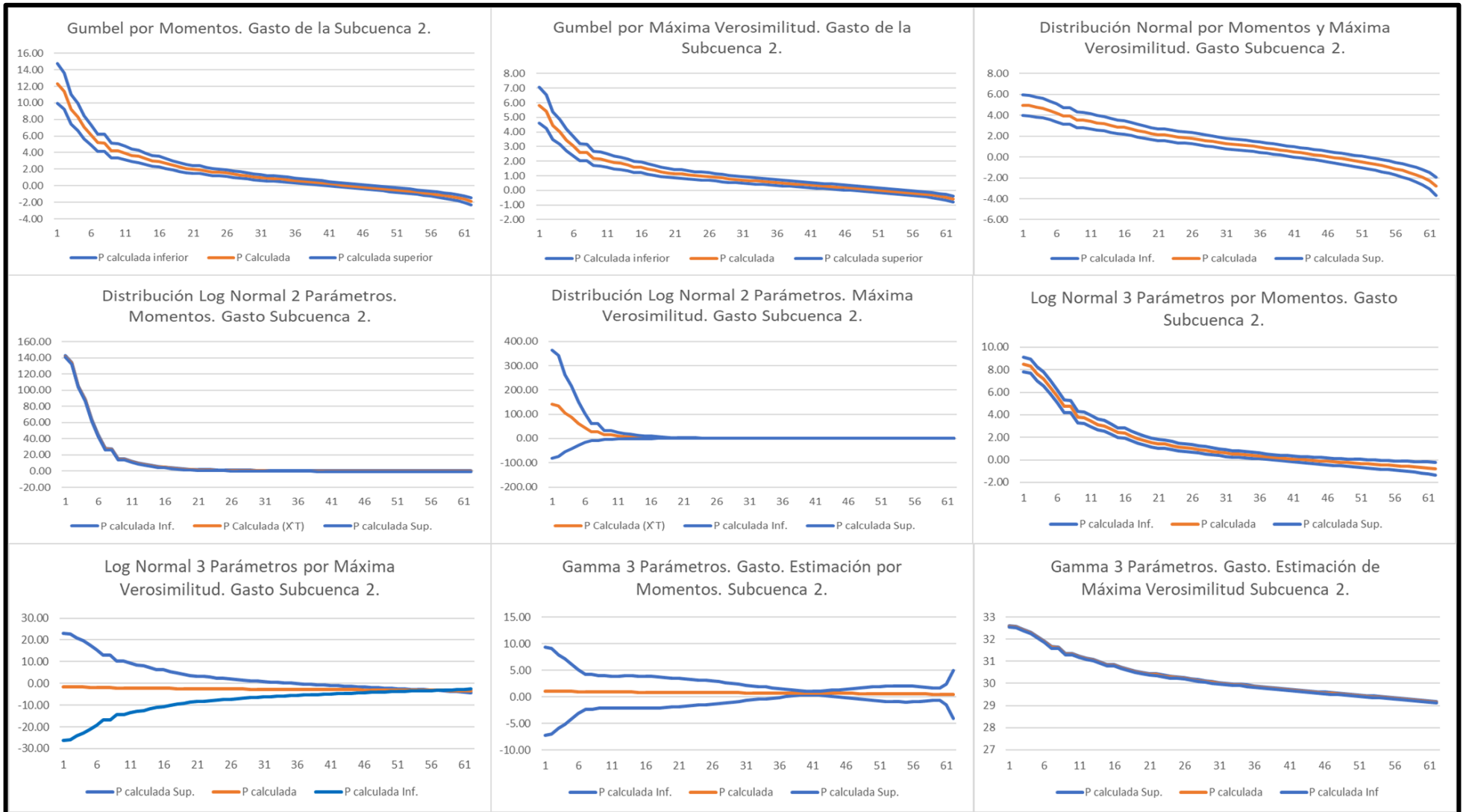


Figura 58. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 2 en m^3/s .

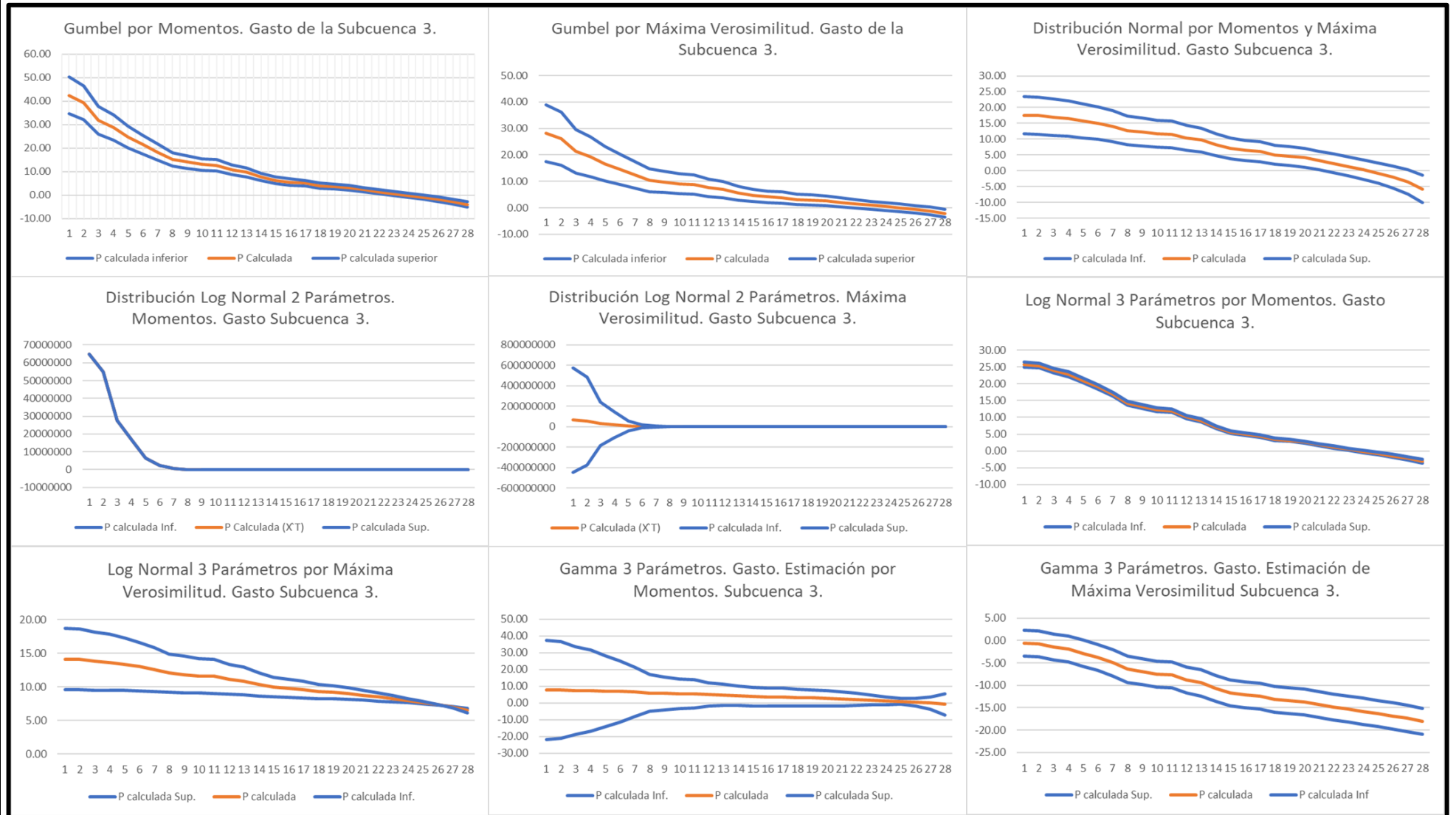


Figura 59. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 3 en m^3/s .

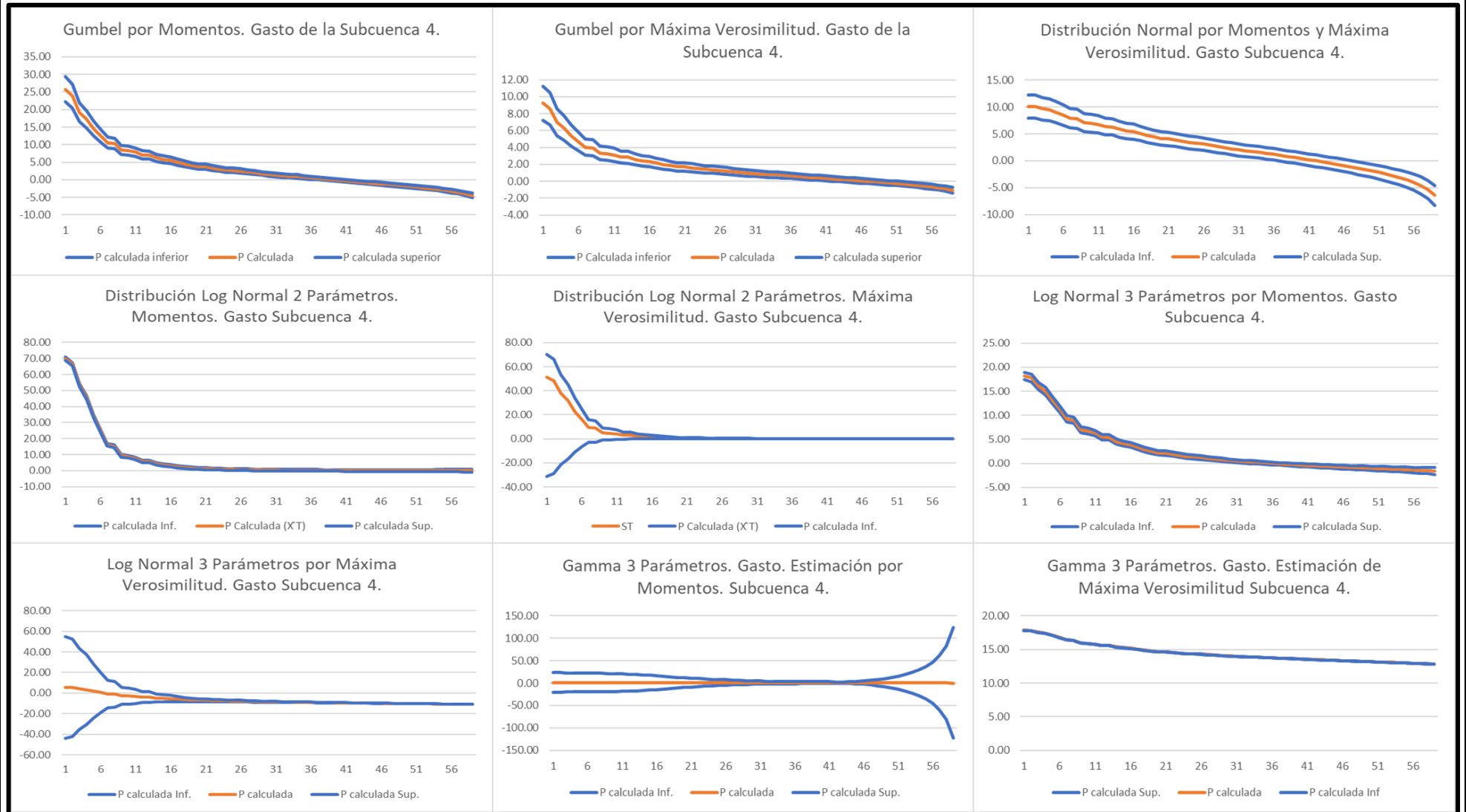


Figura 60. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 4 en m^3/s .

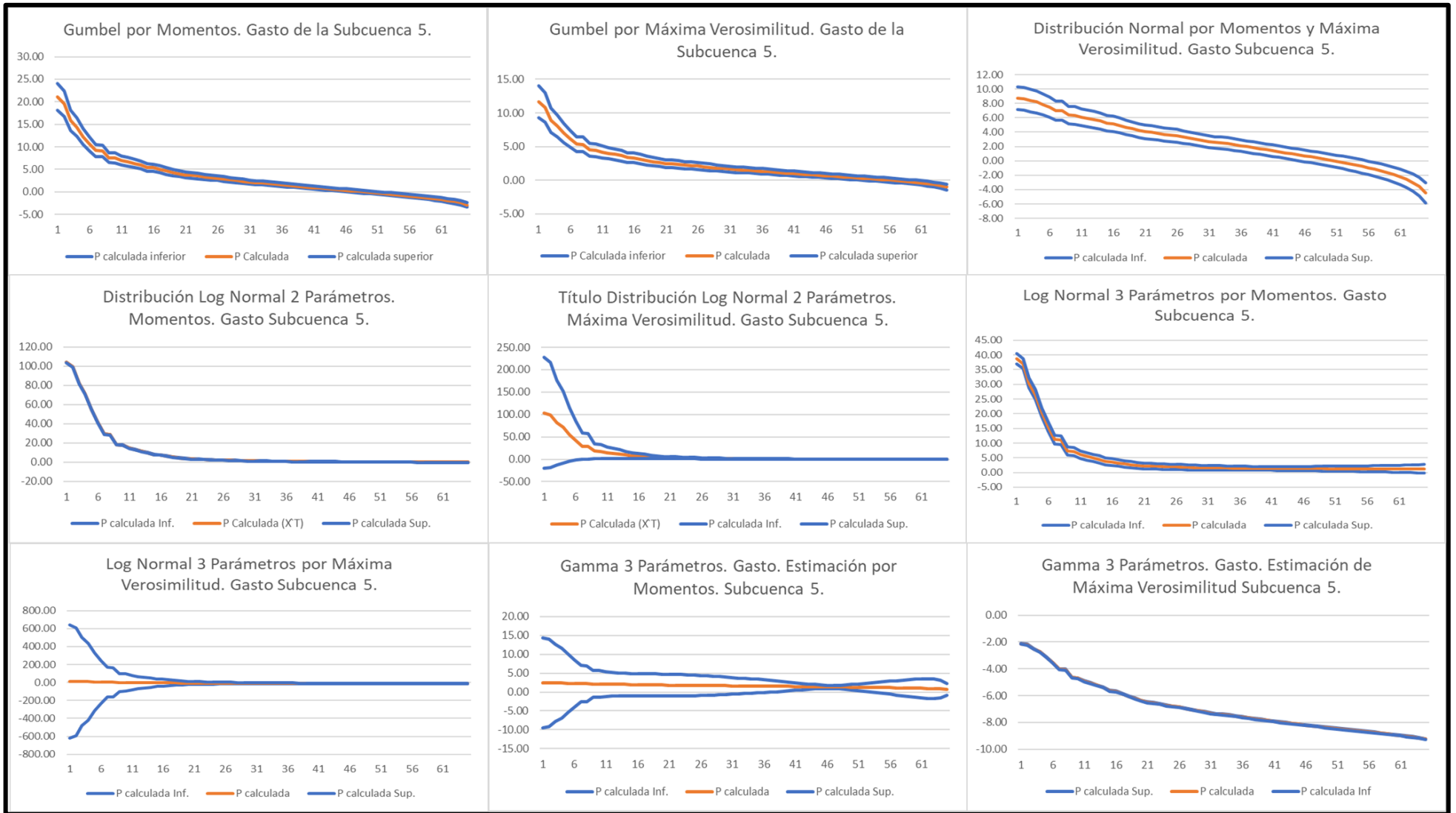


Figura 61. Gráficas de los límites de confianza de las distribuciones de frecuencia para gasto en la Subcuenca 5 en m^3/s .

CAPÍTULO 6. ESTRUCTURA DE LOS MODELOS PARA ESTIMAR SEQUÍA-CRECIDAS: GR2M y GR1A.

Para el presente trabajo se utilizaron el modelo mensual de precipitación-gasto GR2M y el modelo anual de precipitación-gasto GR1A (Mouelhi, 2003; (Mouelhi, *et al.*, 2006).

6.1 Modelo GR2M

El modelo GR2M permite simular caudales o gastos mensuales, utilizando series temporales de precipitación (P en mm), evapotranspiración potencial (E en mm) y el caudal observado (Q en mm), siendo la precipitación el promedio espacial de la cuenca. El modelo calcula a su vez los estados internos, los niveles de los depósitos o reservorios en la cuenca (Figura 62). A partir de una precipitación P se determina el nivel del depósito S (x_1) en el suelo y después de considerar la evapotranspiración E , se tiene una lluvia excedente P_1 y una percolación P_2 que definen la precipitación total P_3 que llega al depósito del río R en donde se considera un intercambio de agua I (x_2) para calcular Q .

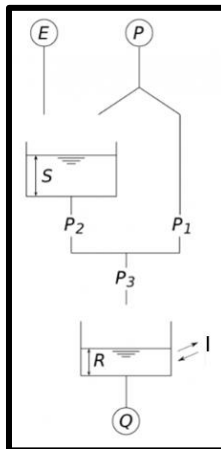


Figura 62. Esquema del modelo GR2M.

También se evalúan cuatro métricas:

1. Nash-Sutcliffe Q (caudales brutos).
2. Nash-Sutcliffe \sqrt{Q} (raíces cuadradas de caudales).
3. Nash-Sutcliffe $\ln(Q)$ (logaritmos de caudales).

4. Balance hídrico.

A su vez con este modelo se determinaron cuatro gráficos:

1. "S": Evolución del depósito de producción.
2. "R": Evolución del almacenamiento de tránsito en el río.
3. "Hidrogramas": Comparación de caudales observados vs. simulados.
4. "Caudal XY": Diagrama de dispersión (caudales observados vs. simulados).

6.1.1 Cuenca general

En la cuenca general se presentan los siguientes datos en la Tabla 55, en la cual se muestran los parámetros que utiliza el modelo. Los criterios de eficiencia son indicadores estadísticos que evalúan el ajuste de los datos de las simulaciones. Se tienen criterios de eficiencia como los de Nash (Q) con un valor de 7.1, el de Nash (\sqrt{Q}) con 19.4, Nash ($\ln(Q)$) de -29.0 y el balance hídrico de 27.2.

Tabla 55. Resultados generales del modelo GR2M para la Cuenca del Río Colorado.

Nombre de la cuenca: Cuenca del Río Colorado		
Superficie de cuenca (km ²)		43325.17
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	6.48	650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325.35
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		570
Duración del período de prueba (meses)		285
Fecha de inicio		ene-57
Fecha de fin		mar-07
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		18.0
Promedio de ETP observada (mm/mes)		71.1
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.9
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.6
Promedio del logaritmo del caudal observado		-1.7
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		7.1
Nash(VQ)		19.4
Nash(ln(Q))		-29.0
Balance Hídrico		27.2

Como resultado de este modelo, se obtuvo el Nivel S del depósito de producción, el cual representa el nivel de la humedad del suelo o el nivel del agua en el río que se usa para ajustar los caudales y atenuar fluctuaciones como las crecidas o los estiajes. El Nivel R de regulación también puede interpretarse como la capacidad de almacenamiento en el río, asociándose algunas veces a reglas operativas específicas como mantener un caudal ecológico o evitar desbordamiento.

La variación del depósito de producción en la cuenca general se presenta en la Figura 63. El nivel del depósito de regulación se presenta en la Figura 64. En la Figura 65 se muestra el hidrograma resultante del modelo. En esta Figura se observan los picos de precipitación, gasto observado y gasto simulado.

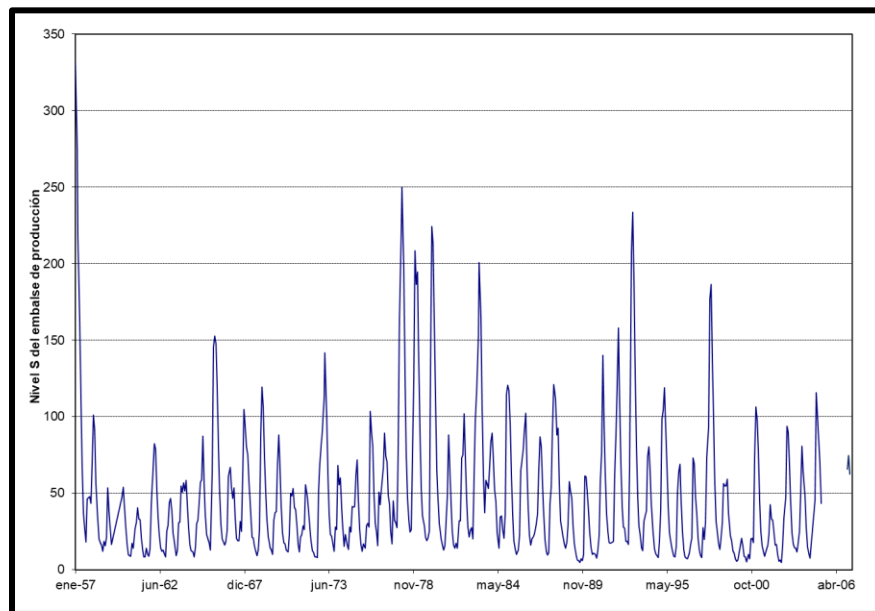


Figura 63. Nivel S del embalse de producción de la Cuenca General m^3 .

En la Figura 63 se muestra el nivel S del almacenamiento del suelo para la Cuenca General. Este presenta sus picos más altos en los años 1976, 1978, 1983, así como en los noventa. Sin embargo, también se muestra que los picos fueron decreciendo paulatinamente, y para 2007 el Nivel S de producción era muy bajo. Esto puede significar una gran escasez de agua en la zona.

Como se muestra en la Figura 64, los picos del Nivel R de regulación son coincidentes con los del Nivel S de producción mostrados en la Figura 65, mostrando un decrecimiento y un estrés hídrico. Los picos altos se interpretan como una época de lluvias intensas o crecidas,

a la vez de que existía una menor demanda del recurso a finales de los años setenta y a inicios de los ochenta.

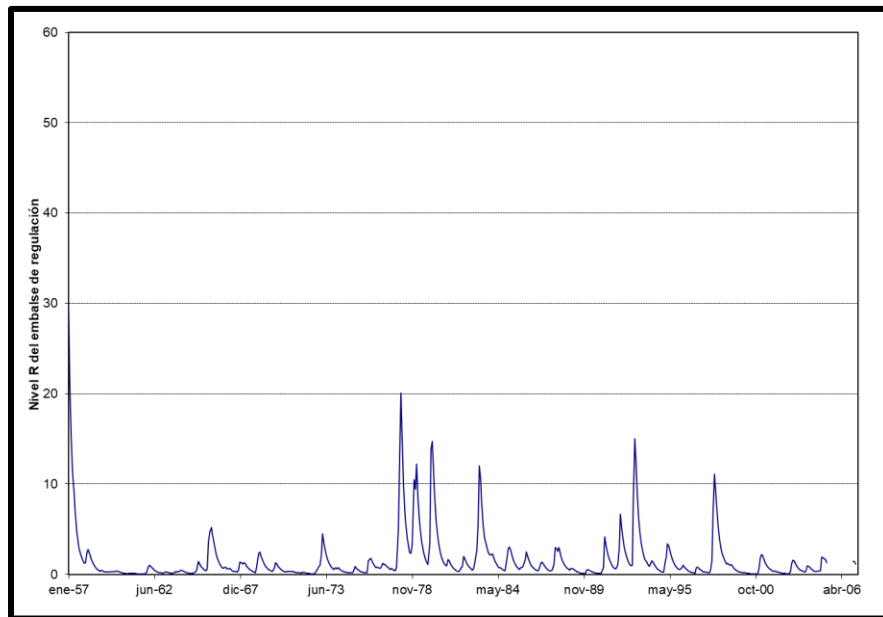


Figura 64. Nivel R de regulación de la Cuenca General m.

La disminución de estos picos presuntamente indica una sequía prolongada, y, los picos únicos de los noventa podrían interpretarse como años excepcionalmente húmedos. Sin embargo, se muestra también un agotamiento progresivo de la disponibilidad de agua, posiblemente por el aumento de la demanda, uso insostenible del agua y por efectos del cambio climático.

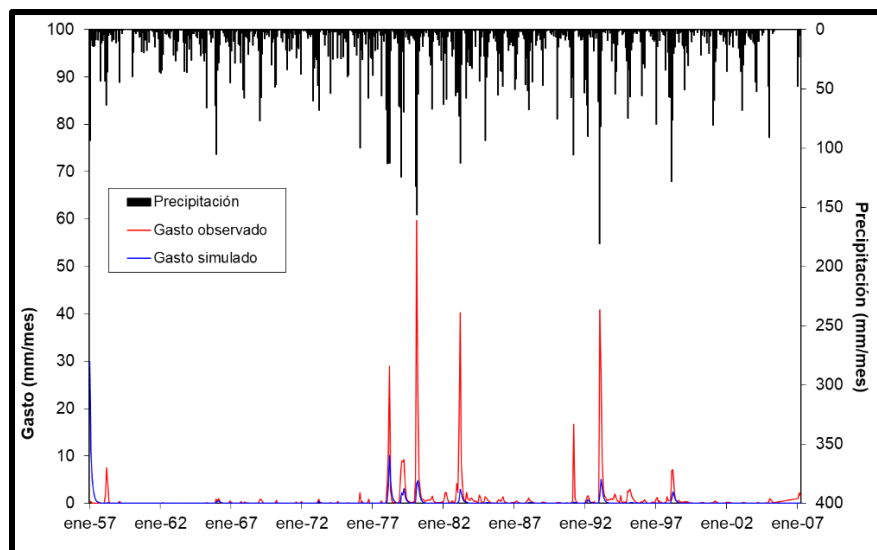


Figura 65. Hidrograma del modelo GR2M de la Cuenca General en mm y m³/s.

En la Figura 66 se tienen los datos de precipitación, de gasto observado y de gasto simulado, comparándose estas variables entre sí. El gasto simulado si bien coincide con sus picos más altos, con el gasto observado, el modelo no reproduce del todo a esta variable indicando que en la cuenca existe algo que el modelo no está captando. Algunos factores que influyen en esto podrían ser la creación de canales artificiales que desvíen el agua, la urbanización de la cuenca existe infiltración del agua (siendo factible por el tipo de geología que hay en el área). Además de esto, se observa que la precipitación y el gasto observado coinciden, confirmando que la lluvia es la causa principal de las crecidas en la cuenca.

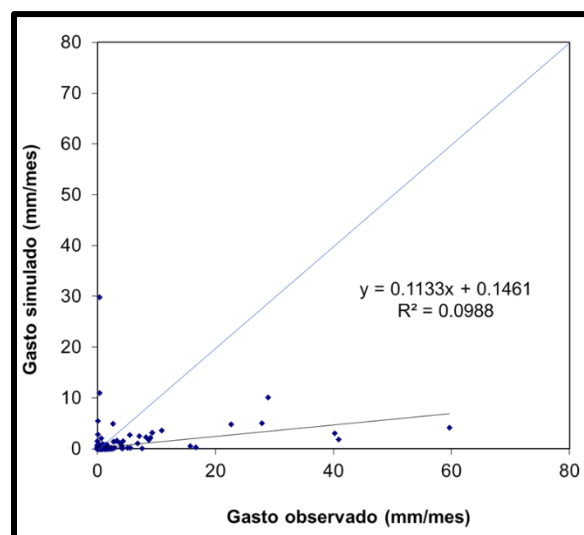


Figura 66. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Cuenca General.

La línea azul se conoce como la línea de perfección, si todos los puntos cayeran sobre ella, significaría que el modelo está simulando exactamente lo observado. Los puntos arriba de esta línea sobreestiman los datos, simulando caudales mayores a los reales, los puntos que están debajo significan que son datos que están siendo subestimados. La ecuación de la pendiente y, indica que, por cada aumento en el gasto observado, el modelo solo aumenta 11.33% su simulación, lo cual es muy bajo. El valor de R es muy bajo, ya que significa que solo el 9.88% de la variación del gasto simulado se explica por el observado.

6.1.2 Subcuenca 1

Tabla 56. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 1.

Nombre de la Cuenca: Subcuenca 1		
Superficie de cuenca (km ²)		730.28
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	6.48	650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325.35
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		474
Duración del período de prueba (meses)		237
Fecha de inicio		sep-61
Fecha de fin		may-25
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		23.3
Promedio de ETP observada (mm/mes)		87.9
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.3
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.4
Promedio del logaritmo del caudal observado		-2.2
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		-1142.9
Nash(VQ)		-137.6
Nash(ln(Q))		-27.2
Balance Hídrico		354.6

En la Tabla 56 se muestran los datos que son utilizados como base para la ejecución del modelo que se aplica a la subcuenca 1. Los criterios de eficiencia mostrados son extremadamente altos y negativos.

La Figura 67 es del Nivel S de producción (en mm) para la misma subcuenca, en donde coincidentemente con los datos de la subcuenca general, los picos más altos se muestran entre los años 78 y 83, así como un ligero repunte en los años 90, mostrando un comportamiento cíclico de crecidas y decrecidas. Esto también está sujeto a la disponibilidad de datos y al ajuste que se le esté dando.

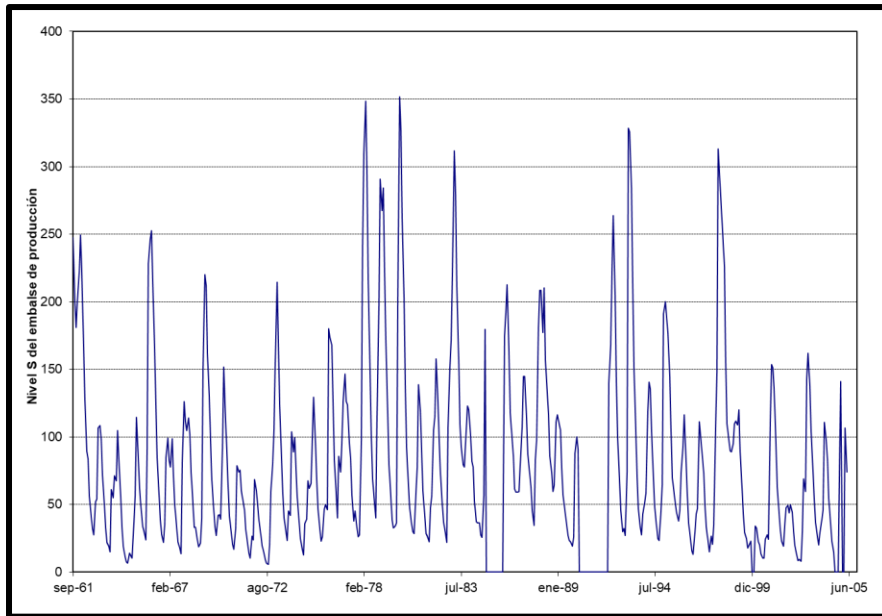


Figura 67. Nivel S (en mm) del embalse de producción de la Subcuenca 1 en m^3 .

En la Figura 68 es observado el nivel R del depósito de regulación para la subcuenca 1, siendo los picos más altos coincidentes con los del Nivel S del almacenamiento de producción de la Figura 69. Estos picos muestran los meses más altos para los años que se tienen como datos de entrada, siendo a finales de los 70, el año de 1983, y a inicios y finales de los 90 como los años más húmedos, siendo los años más recientes (hasta 2005), los más secos.

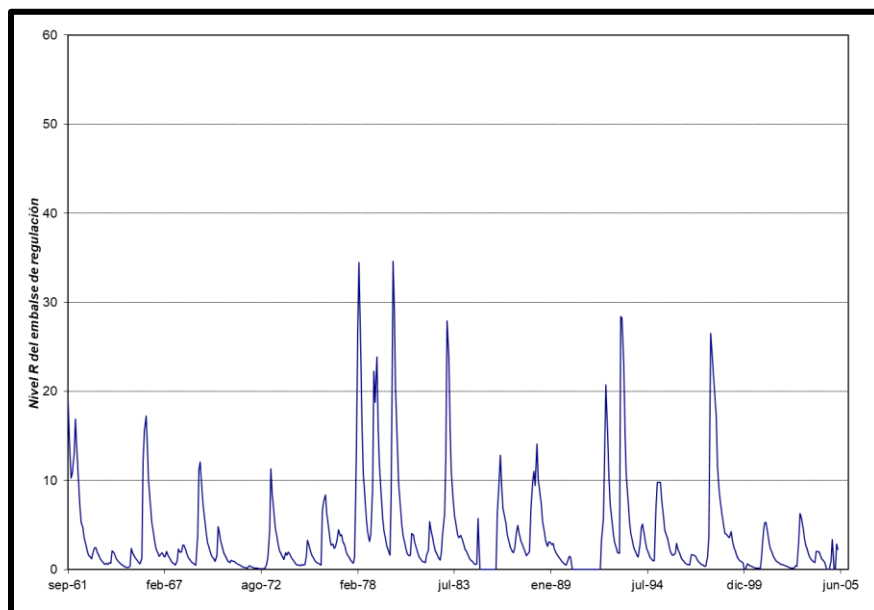


Figura 68. Nivel R (en mm) de regulación de la Subcuenca 1.

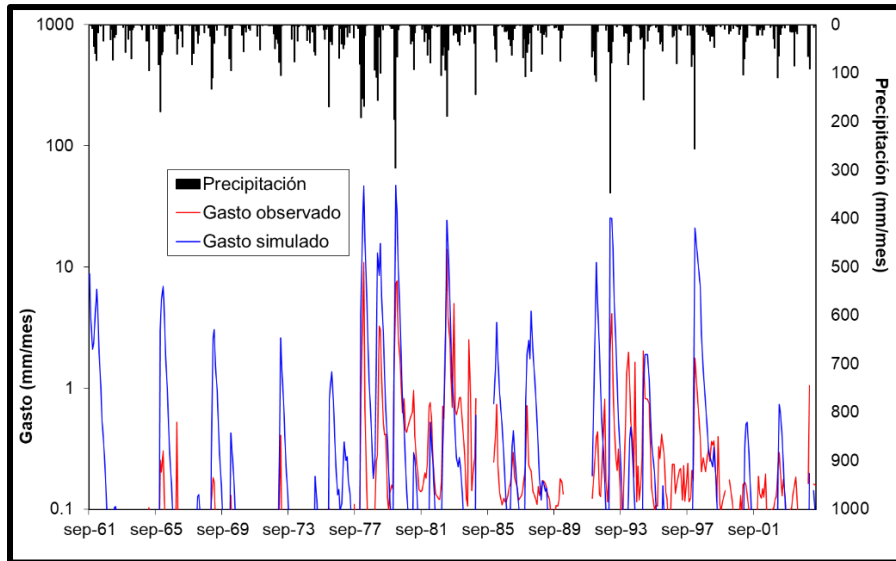


Figura 69. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 1 en mm y m³/s.

El hidrograma mostrado en la Figura 69, muestra una sobreestimación de los datos del gasto simulado con respecto del gasto observado, ya que los picos marcados en color azul (gasto simulado), son más altos que los de color rojo (gasto observado).

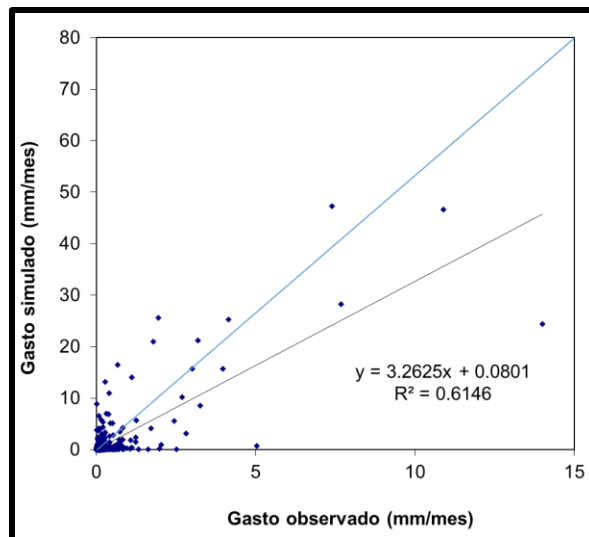


Figura 70. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 1.

La pendiente de la función y de 3.2625, indica que el modelo sobreestima los caudales. Por cada m³/s observado, el modelo simula 3.26 m³/s. Esto explica el problema del gasto simulado mayor al observado que se muestra en el hidrograma. R² de 0.6146 explica un 61.46 % de la variabilidad de los caudales observados, y, aunque la relación no es mala, se distorsiona un poco la precisión del modelo (Figura 70).

6.1.3 Subcuenca 2

Tabla 57. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 2.

Nombre de la Cuenca: Subcuenca 2		
Superficie de cuenca (km ²)		1592.94
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	6.48	650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325.35
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		438
Duración del período de prueba (meses)		219
Fecha de inicio		ene-57
Fecha de fin		dic-99
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		29.0
Promedio de ETP observada (mm/mes)		115.1
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.8
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.5
Promedio del logaritmo del caudal observado		-2.3
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		30.5
Nash(\sqrt{Q})		38.7
Nash(ln(Q))		33.4
Balance Hídrico		177.2

Los criterios de eficiencia de la Tabla 57, la cual corresponde a la Subcuenca 2, son Nash (Q) = 30.5; Nash (\sqrt{Q}) = 38.7; Nash (ln(Q)) = 33.4 y; Balance Hídrico =177.2.

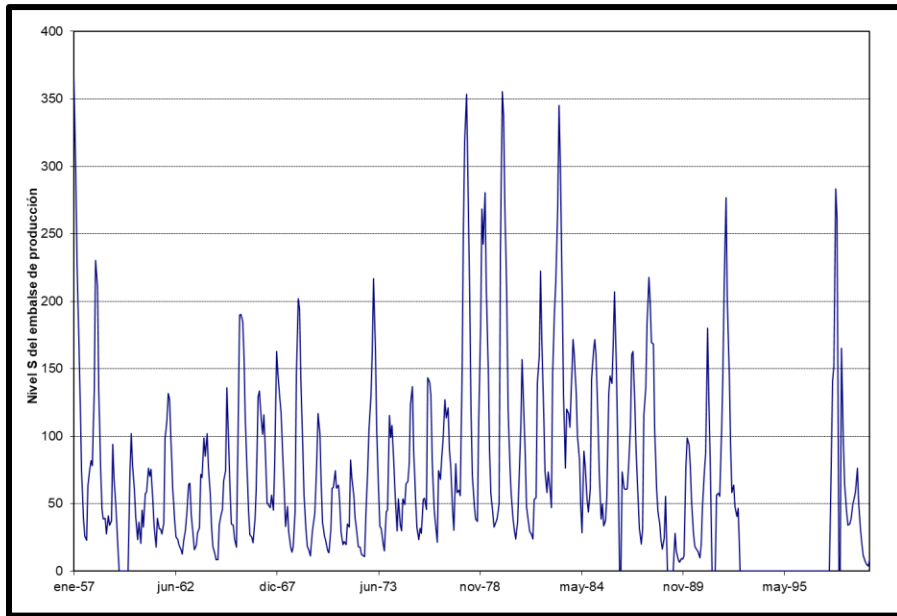


Figura 71. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 2 en m³.

El nivel S de producción para la subcuenca 2, se muestra en la Figura 71. Los picos de los años 78-83 coinciden con los de la cuenca general y la subcuenca 2. A inicios de los 90 también se muestra un pico, y luego se tiene una ausencia de datos, teniéndose otro pico alto a finales de los años 90.

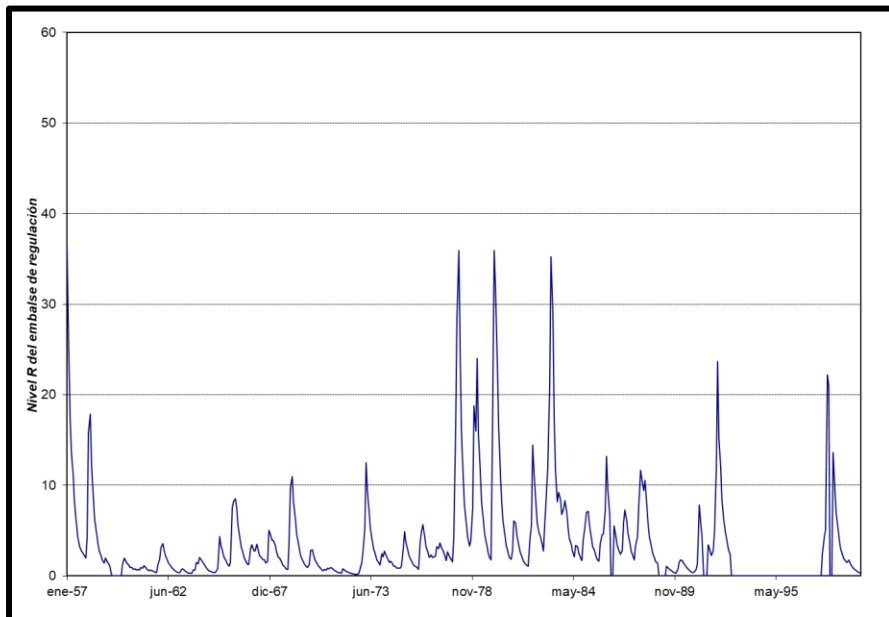


Figura 72. Nivel R de regulación de la Subcuenca 2 en mm.

Los datos de la Figura 72 del nivel R de regulación de la subcuenca 2 son coincidentes con los de la Figura 71 del nivel S de producción.

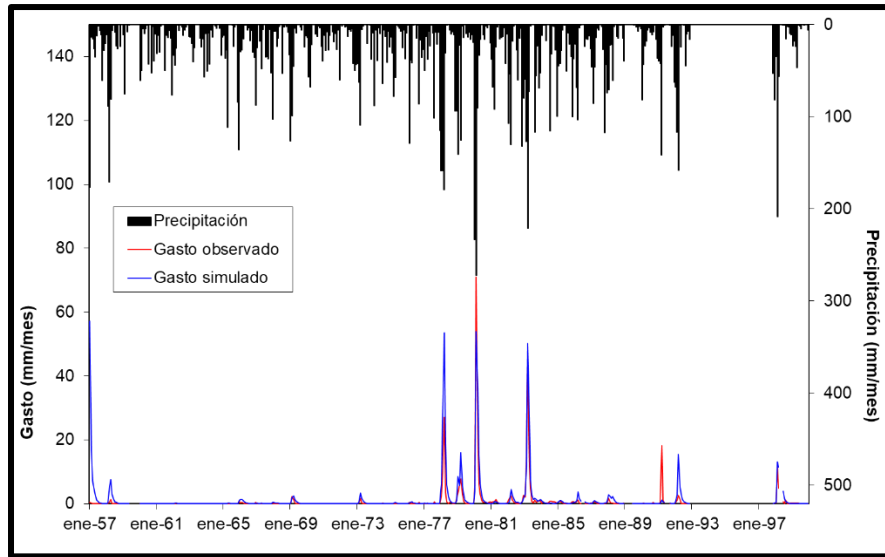


Figura 73. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 2 en mm y m³/s.

En la Figura 73 se muestra que en algunos datos se sobreestima el gasto simulado, y también que en otras se subestima. En general el gasto observado coincide con la precipitación.

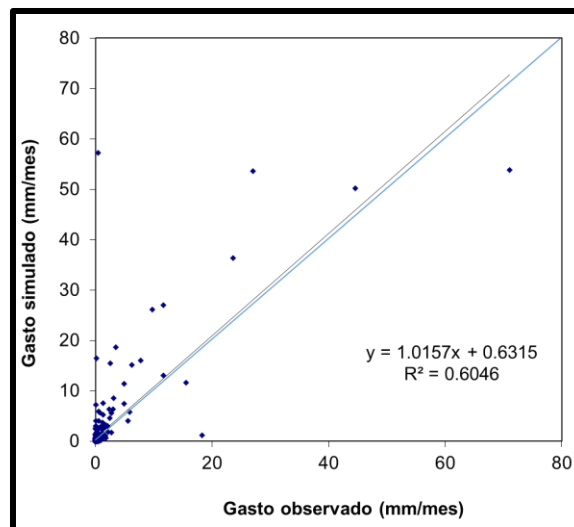


Figura 74. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 2.

La Figura 74 muestra que la pendiente de 1.0157 es muy cercana a 1, lo que indica que el modelo no distorsiona la magnitud de los caudales de una manera grave. Con R² de 0.6046, el modelo explica un 60.46% de la variabilidad de los caudales observados, lo cual es aceptable.

6.1.4 Subcuenca 3

Tabla 58. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 3.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 3		
Superficie de cuenca (km ²)		795.10
Parámetros del modelo		
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	Transf. 6.48	Valor real 650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80255	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30.00
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		66
Duración del período de prueba (meses)		feb-00
Fecha de inicio		ene-62
Fecha de fin		31168.00
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		56.7
Promedio de ETP observada (mm/mes)		68.8
Promedio de débits observado (mm/mes)		4.5
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		1.1
Promedio del logaritmo del caudal observado		-0.6
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		-123.9
Nash(\sqrt{Q})		-104.2
Nash(ln(Q))		-125.8
Balance Hídrico		420.06

Los criterios de eficiencia para la subcuenca 3, y que se muestran en la Tabla 58, son demasiado altos (Nash (Q) = -123.9; Nash (\sqrt{Q}) = -104.2, Nash ($\ln(Q)$) = -125.8 y el Balance Hídrico de 420.06). Esto posiblemente a la falta de datos disponibles en la serie. Los datos simulados están alejados de la realidad. Por este motivo, la subcuenca 3 solamente se utilizará como ejemplificación (Figuras 75, 76, 77, y 78).

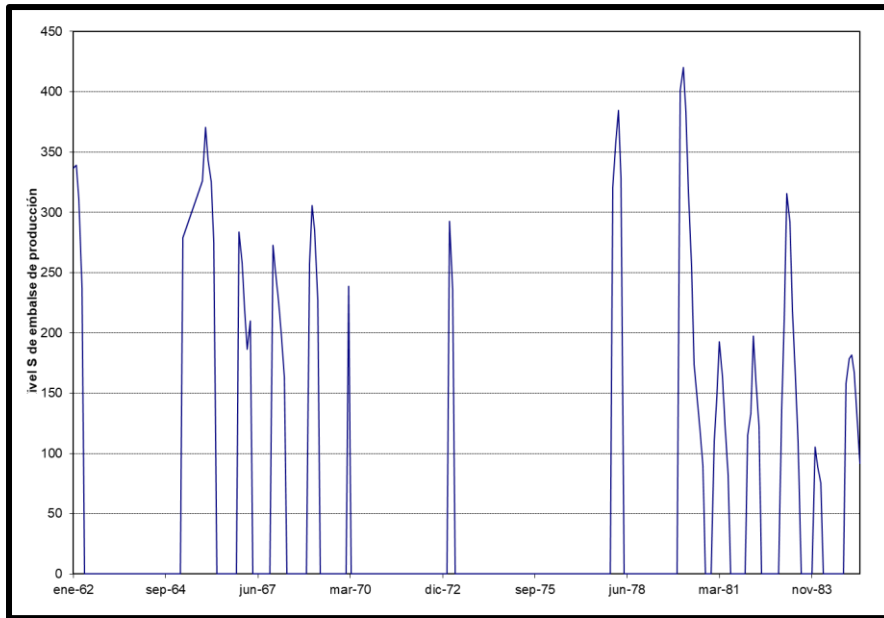


Figura 75. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 3 en m³.

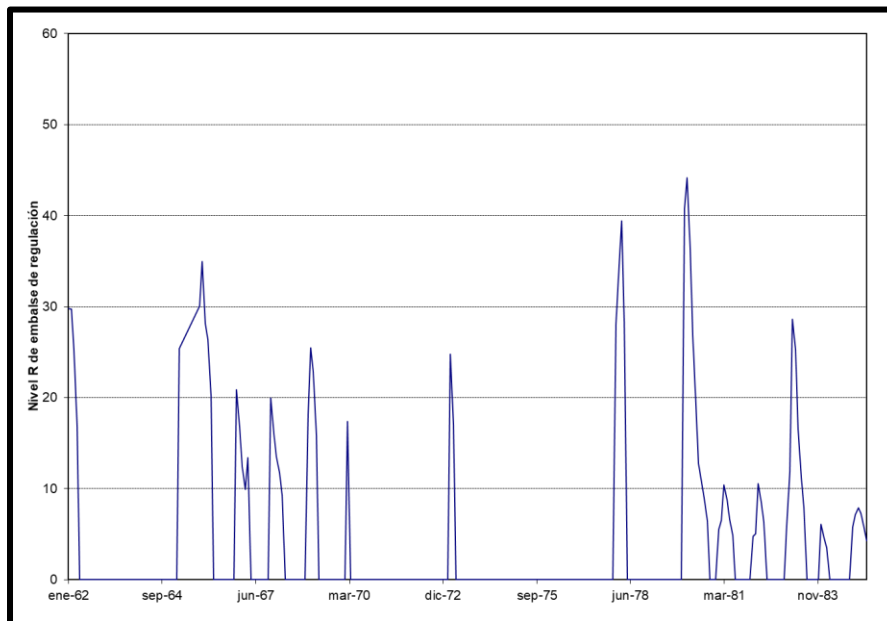


Figura 76. Nivel R de regulación de la Subcuenca 3 en m.

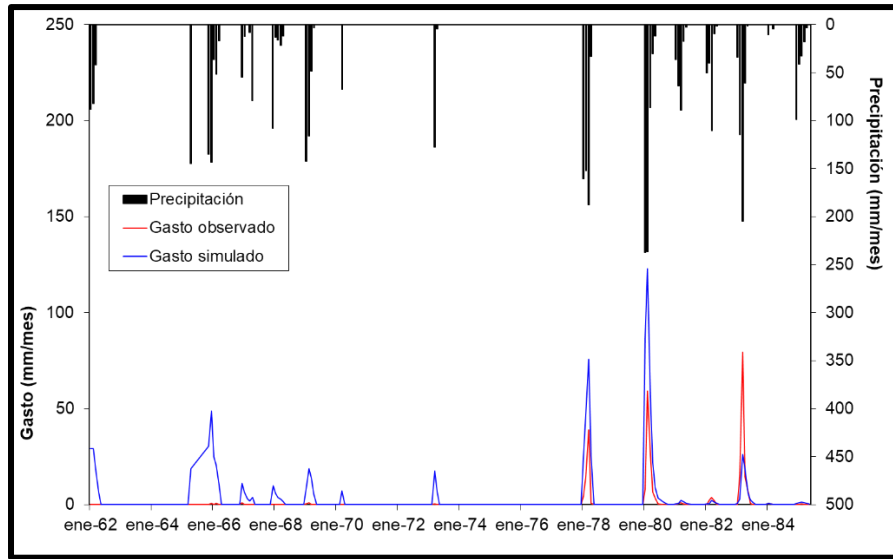


Figura 77. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 3 en mm y m³/s.

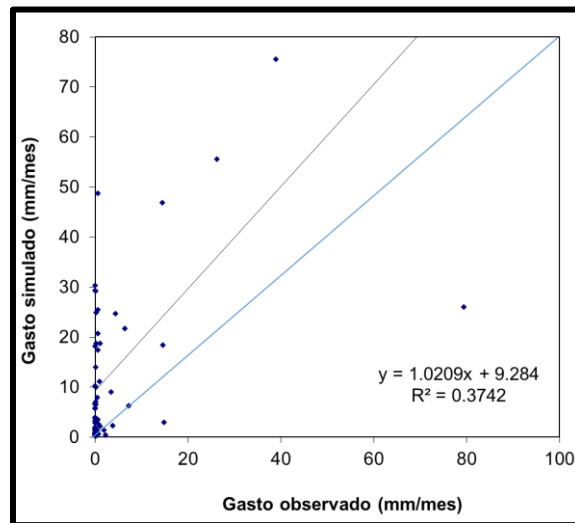


Figura 78. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 3.

6.1.5 Subcuenca 4

Tabla 59. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 4.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 4		
Superficie de cuenca (km ²)		1305.39
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	6.48	650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325.35
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		372
Duración del período de prueba (meses)		186
Fecha de inicio		mar-60
Fecha de fin		nov-92
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		21.6
Promedio de ETP observada (mm/mes)		117.1
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.6
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.4
Promedio del logaritmo del caudal observado		-2.1
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		-3.1
Nash(VQ)		-7.9
Nash(ln(Q))		-27.8
Balance Hídrico		43.8

Los criterios de eficiencia de la subcuenca 4 (Tabla 59), son: Nash (Q) = -3.1; Nash (\sqrt{Q}) = -7.9; Nash ($\ln(Q)$) = -27.8; Balance Hídrico = 43.8.

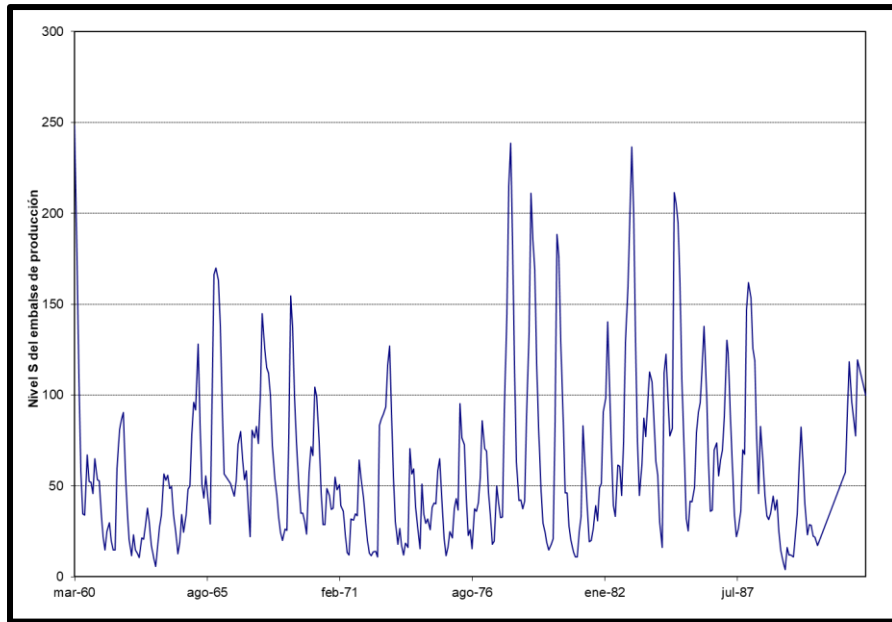


Figura 79. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 4 en m^3 .

El nivel S del embalse de producción (Figura 79) muestra los picos más altos en los meses de los años de 1977, 1978 y 1983, coincidiendo con el resto de las subcuencas. Igualmente se muestran picos más bajos a inicios de los años 60 y a inicios de los 70, así como en el año de 1988.

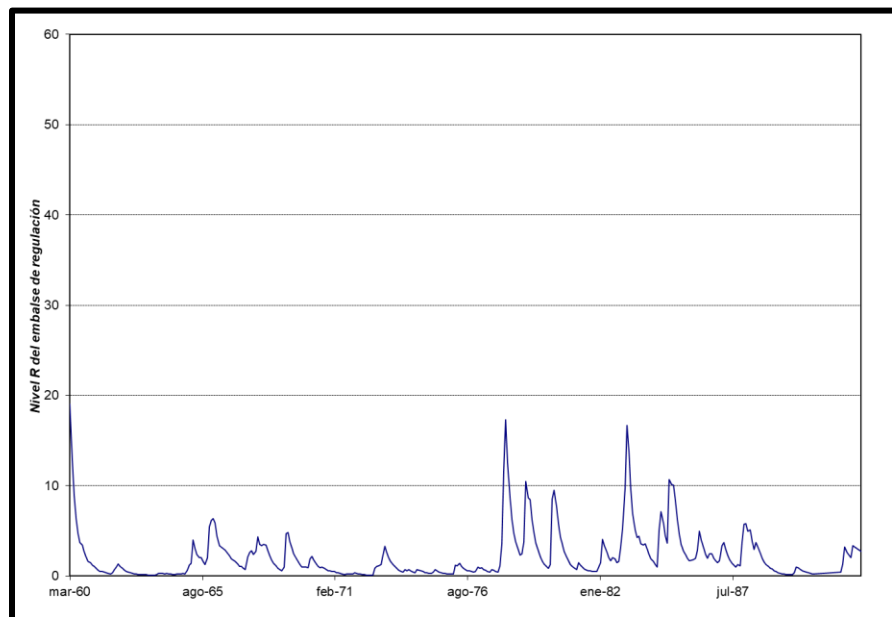


Figura 80. Nivel R de regulación de la Subcuenca 4 en m.

El nivel R de regulación mostrado en la Figura 80 también es coincidente con el nivel S de producción de la Figura 81.

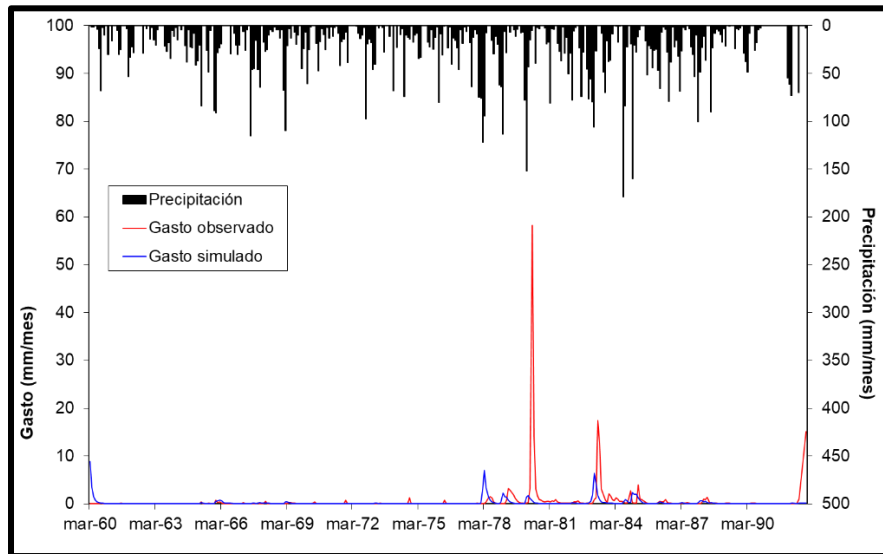


Figura 81. Nivel R de regulación de la Subcuenca 4 en mm y m³/s.

El hidrograma que se muestra en la Figura 81 subestima los datos del gasto simulado con respecto a los del gasto observado. La precipitación es notablemente más grande que el gasto, esto pudiéndose deberse a diversos factores que van desde una gran infiltración, aumento de evapotranspiración o la creación de canales artificiales que desvíen el agua.

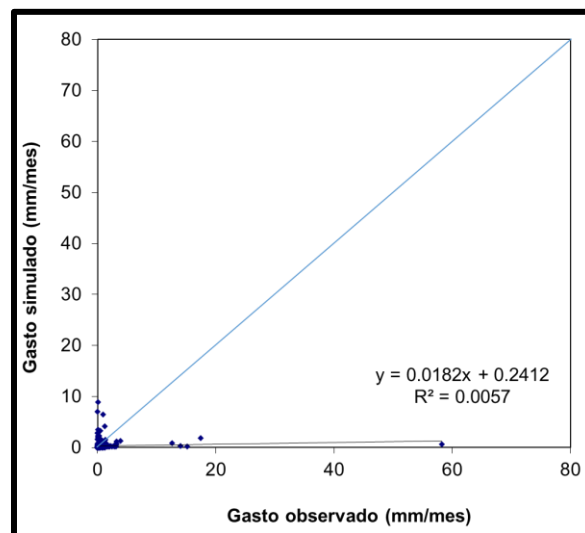


Figura 82. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 4.

En la Figura 82 se muestra que la pendiente (y), de 0.0182 es muy baja, pudiendo señalar que no hay una relación lineal entre los caudales observados y simulados, habiendo una

subestimación de los datos bastante significativa. La R^2 tan baja significa que el modelo explica solo el 0.57% de la variabilidad observada.

6.1.6 Subcuenca 5

Tabla 60. Datos generales del modelo GR2M para la Subcuenca 5.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 5		
Superficie de cuenca (km ²)		1158.40
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x1: Capacidad del reservorio de producción (mm)	6.48	650.70
x2: Parámetro de intercambio (mm)	0.80	0.80
Valores iniciales		
Nivel de llenado inicial S0 (máx.: x1 mm)		325.35
Nivel de llenado inicial R0 (máx.: 60 mm)		30
Período de Simulación		
Duración del período de calibración (meses)		315
Duración del período de prueba (meses)		158
Fecha de inicio		ene-60
Fecha de fin		may-02
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		30.6
Promedio de ETP observada (mm/mes)		97.0
Promedio de débits observado (mm/mes)		2.1
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.9
Promedio del logaritmo del caudal observado		-0.8
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		60.3
Nash(\sqrt{Q})		49.2
Nash(ln(Q))		1.3
Balance Hídrico		89.8

Para los criterios de eficiencia de la subcuenca 5 (Tabla 60), se tiene que: Nash (Q) = 60.3; Nash (\sqrt{Q}) = 49.2; Nash (ln(Q)) = 1.3; Balance Hídrico = 89.8.

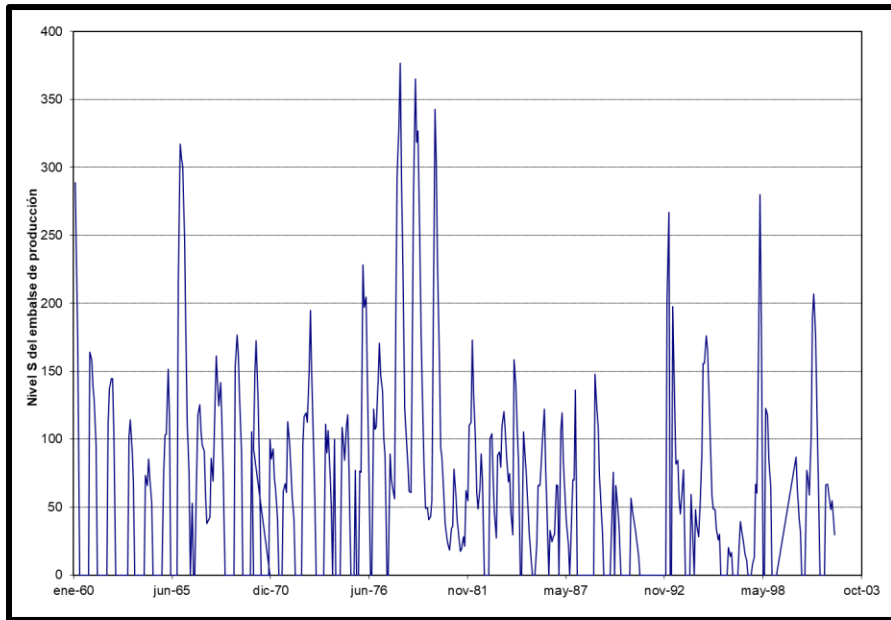


Figura 83. Nivel S del embalse de producción de la Subcuenca 5 en m³.

Los picos más altos del nivel S de producción (Figura 83) se observan en los años del 65, 77 y 78, coincidiendo parcialmente con los de las demás subcuencas.

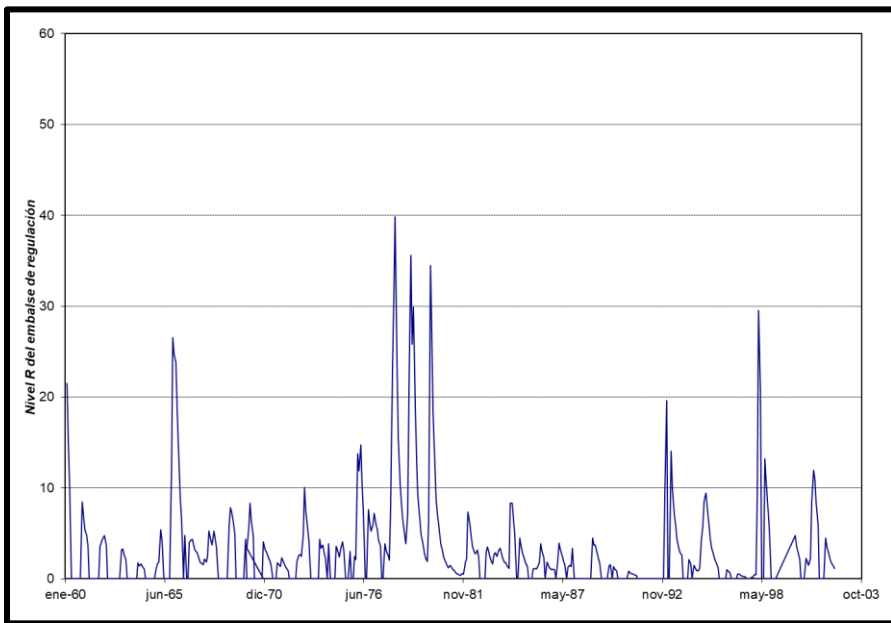


Figura 84. Nivel R de regulación de la Subcuenca 5 en m.

En la Figura 84 se muestra el nivel R de regulación de la subcuenca 5, cuyos picos coinciden con los de la Figura 85, siendo los años de 65, 77 y 78 los que presentan un mayor nivel de agua acumulada.

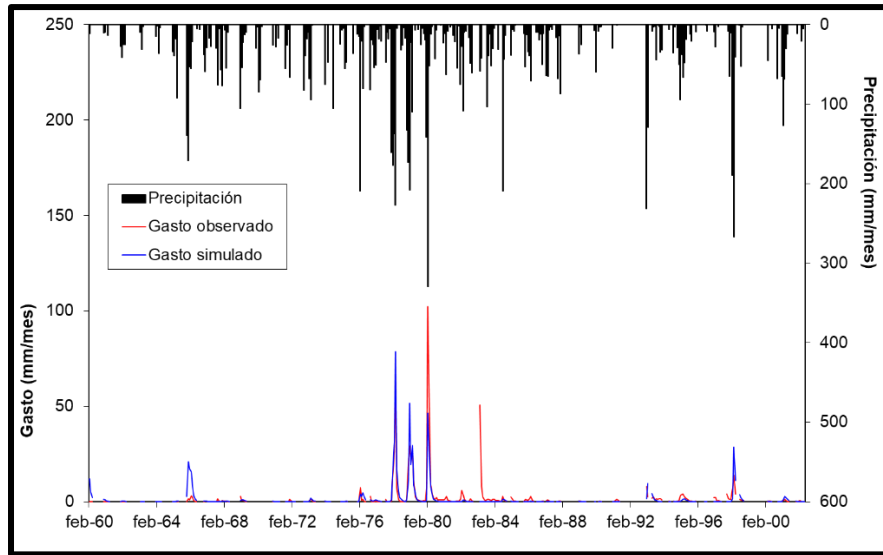


Figura 85. Hidrograma del modelo GR2M de la Subcuenca 5 en mm y m^3/s .

El hidrograma de la Figura 85 presenta algunas sobreestimaciones y subestimaciones del gasto simulado con respecto al gasto observado. Lo llamativo también es que menos de la mitad del agua que precipita se convierte en el caudal, por lo que hay una pérdida enorme del recurso.

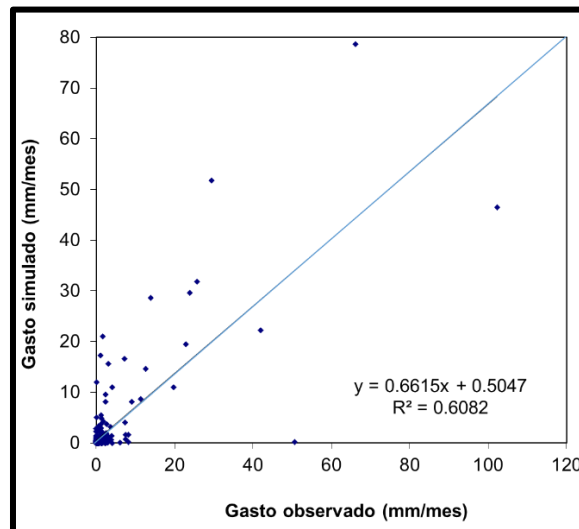


Figura 86. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 5.

Hay una subestimación en el modelo. La pendiente (0.6615), indica que por cada 1 m^3/s observado, el modelo simula cerca de 66 m^3/s , y evidencia un error de 34%. Igualmente, se tiene que $R^2 = 60.82\%$, siendo una precisión moderada (Figura 86).

6.2 Modelo GR1A

El modelo GR1A, al igual que el modelo GR2M, permite simular caudales, pero de manera anual (Mouelhi *et al.*, 2006). Utiliza también datos de entrada como la precipitación anual P (mm), la evapotranspiración potencial E (mm) y el caudal observado Q (mm). Igualmente, la precipitación debe de ser el promedio espacial en la cuenca. Los criterios de eficiencia son los mismos que el modelo GR2M y se tienen dos gráficos como resultados, que son los hidrogramas y un diagrama de dispersión del caudal. El modelo GR1A es más sencillo que el GR2M, pues solo utiliza los datos anuales de precipitación, evapotranspiración y gasto. Esta simplicidad es la que lo hace ideal para estimaciones rápidas en cuencas pequeñas o con datos limitados, aunque debido a esto, quita precisión en algunas zonas donde la interacción del suelo con el agua es crítica.

Mientras que el GR1A convierte directamente la lluvia en caudal (los resultados son directamente el hidrograma y el gráfico de dispersión), el modelo GR2M modela los almacenamientos intermedios, lo cual exige más información y calibración.

6.2.1 Cuenca general

En la Tabla 61, se observan los datos del modelo GR1A para la cuenca general.

Tabla 61. Datos generales del modelo GR1A para la Cuenca General.

Nombre de la cuenca: Cuenca del Río Colorado		
Superficie de cuenca (km ²)		43325.17
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		17.78
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		50
Fecha de inicio		1957
Fecha de fin		2007
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		17.8
Promedio de ETP observada (mm/mes)		124.8
Promedio de débits observado (mm/mes)		1.1
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.8
Promedio del logaritmo del caudal observado		-1.0
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		-2.2
Nash(VQ)		6.9
Nash(ln(Q))		3.4
Balance Hídrico		15.5

Los criterios de eficiencia para la cuenca general son los de Nash (Q) con -2.2, Nash (\sqrt{Q}) con 6.9, Nash ($\ln(Q)$) con 3.4 y un Balance Hídrico de 15.5. Los cuales son valores aceptables para la simulación de los datos en este caso.

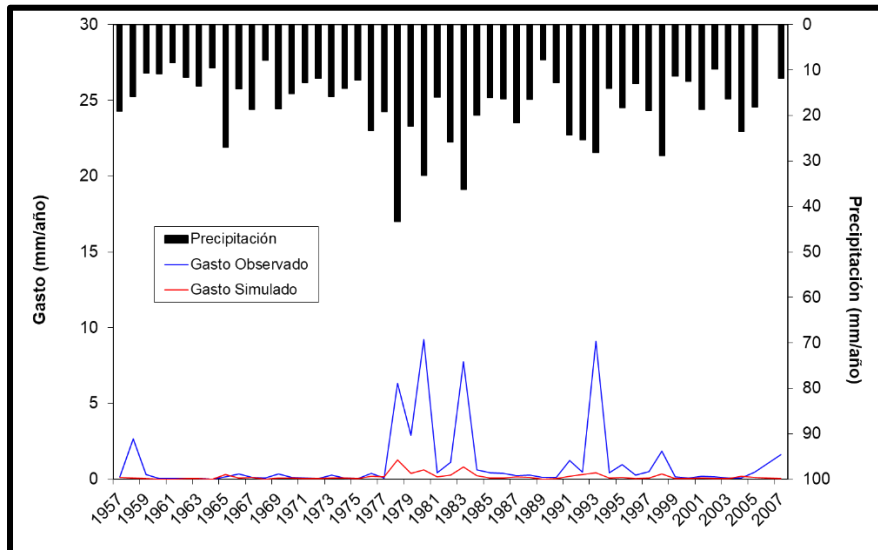


Figura 87. Hidrograma del modelo GR1A de la Cuenca General en mm y m^3/s .

En este hidrograma (Figura 87) se subestima bastante el gasto simulado (color rojo) con respecto al gasto observado (color azul), el cual es claramente mayor. El gasto observado parece coincidir ligeramente con la precipitación en una relación de 1:3, esto indica que se pierden dos terceras partes del agua precipitada. Los factores que podrían influir en esto van desde la toma clandestina de agua, canales artificiales, una gran evaporación del recurso, una alta tasa de infiltración o falta de datos disponibles de la medición del caudal.

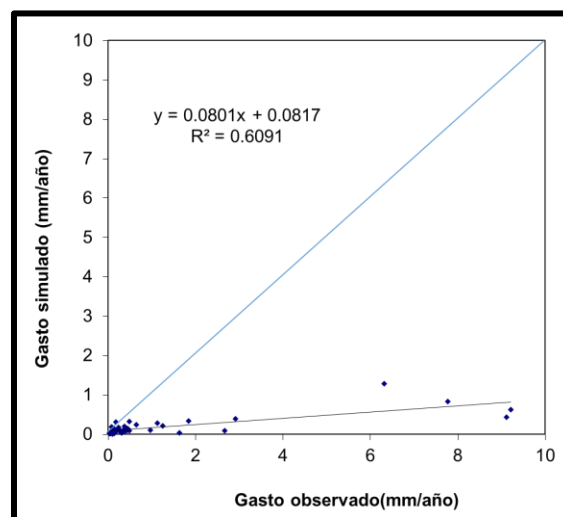


Figura 88. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Cuenca General.

La pendiente de 0.0801 como muestra la Figura 88, solo simula cerca del 0.08 m³/s, siendo una subestimación demasiado alta. Esto puede deberse a varios factores como una sobreestimación de flujos base inexistentes (como la infiltración del agua), parámetros de almacenamiento demasiado altos (que retienen demasiada agua), algún error en las unidades o la misma falta de datos disponibles. El coeficiente de determinación $R^2 = 0.6091$ es aceptable,

6.2.2 Subcuenca 1

Tabla 62. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 1.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 1		
Superficie de cuenca (km ²)		730.28
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		23.01
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		39
Fecha de inicio		1961
Fecha de fin		2001
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		23.0
Promedio de ETP observada (mm/mes)		125.5
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.4
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.5
Promedio del logaritmo del caudal observado		-1.8
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		23.4
Nash(\sqrt{Q})		38.8
Nash(ln(Q))		36.3
Balance Hídrico		105.8

En la Tabla 62 se muestran los criterios de eficiencia de la subcuenca 1, siendo Nash (Q) de 23.4, Nash (\sqrt{Q}) con 38.8, Nash (ln(Q)) con 36.3 y un Balance Hídrico de 105.8.

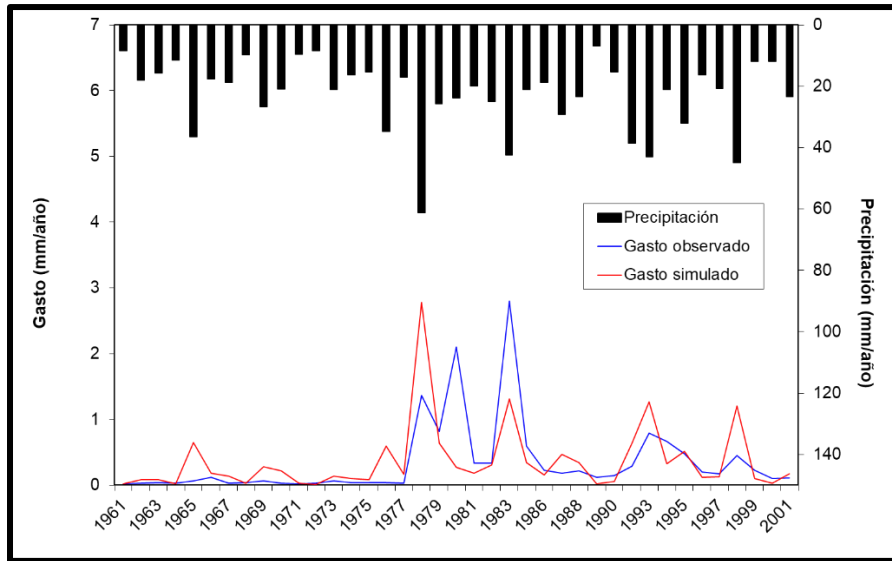


Figura 89. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 1 en mm y m³/s.

La Figura 89 del hidrograma del modelo de la subcuenca 1 muestra que el gasto simulado se sobreestima y subestima en algunos años con respecto al gasto observado. Igualmente es importante señalar que la cantidad de gasto o caudal anual es demasiado menor con respecto de la precipitación.

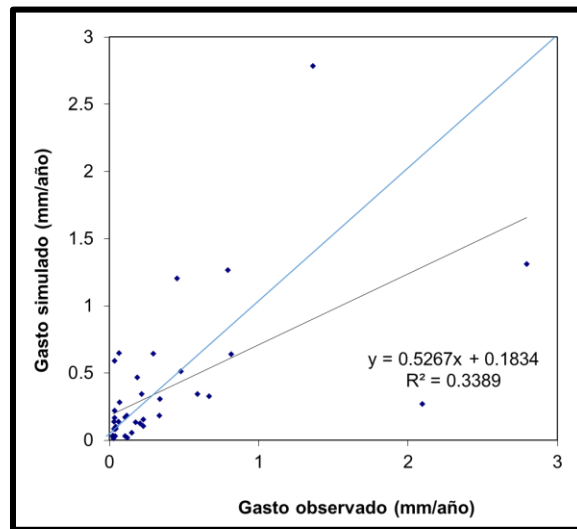


Figura 90. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 1.

El gráfico de dispersión observado en la Figura 90, relaciona los caudales observados con los simulados mediante la ecuación $y = 0.5267x + 0.1834$, con $R^2 = 0.3389$, revelando que el modelo subestima los caudales reales, ya que puede interpretarse que por cada 1 m³/s observado solo se simula aproximadamente 0.53 m³/s (un error de casi 47%). La R^2 sugiere que el modelo explica apenas el 33.9% de variabilidad de los datos.

6.2.3 Subcuenca 2

Tabla 63. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 2.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 2		
Superficie de cuenca (km ²)		1592.94
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		29.10
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		39
Fecha de inicio		1958
Fecha de fin		1999
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		29.1
Promedio de ETP observada (mm/mes)		116.4
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.8
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.6
Promedio del logaritmo del caudal observado		-1.6
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		65.0
Nash(VQ)		61.2
Nash(ln(Q))		28.2
Balance Hídrico		106.8

En la Tabla 63 se muestran los criterios de eficiencia para la subcuenca 2, así como el resto de sus parámetros de entrada. Los criterios de eficiencia son altos, con Nash (Q) de 65, Nash (\sqrt{Q}) de 61.2, Nash ($\ln(Q)$) de 28.2 y un Balance Hídrico de 106.8.

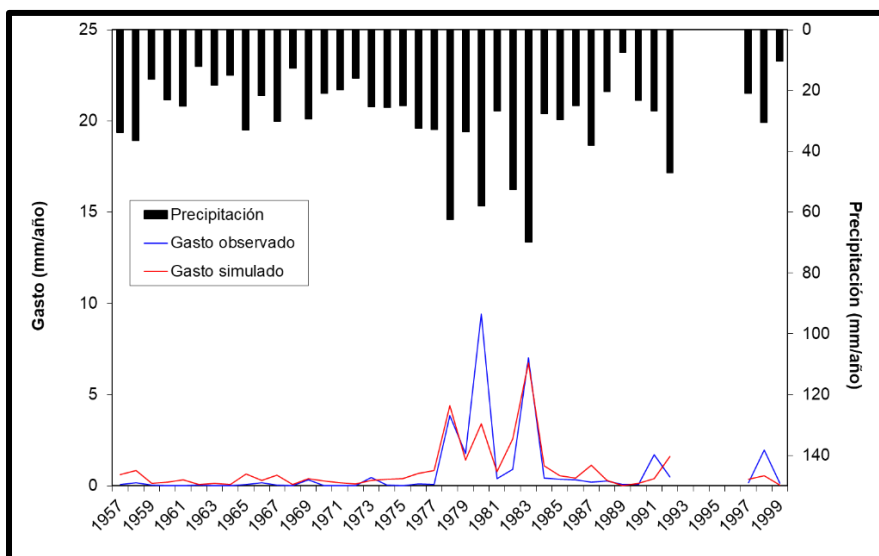


Figura 91. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 2 en mm y m³/s.

En este hidrograma correspondiente a la subcuenca 2 (Figura 91), se muestra que el gasto simulado concuerda mayormente con el gasto observado, con excepción de un año en particular que es el de 1980, en donde se subestima notoriamente, en un par de años más parece sobreestimarse, pero no es tan marcado como en este año en particular. El gasto simulado parece ir más acorde a la precipitación anual que el propio gasto observado. Se sigue recalcando que la relación de gasto con precipitación es mucho menor.

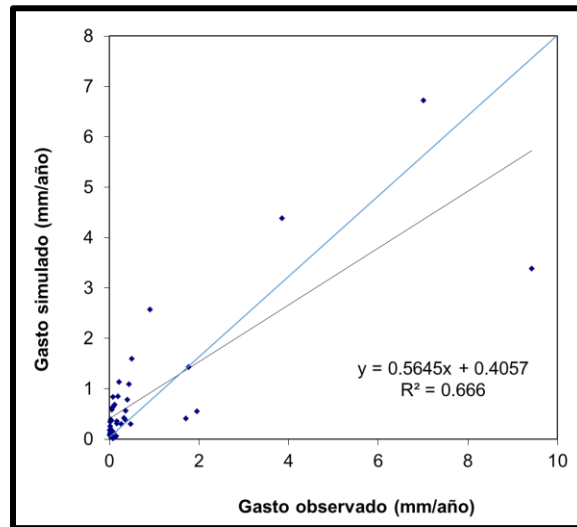


Figura 92. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 2.

En la Figura 92 se muestra el gráfico de dispersión de la subcuenca 2, en donde se tiene una pendiente $y = 0.56$ m³/s, lo cual denota un error del 44%. La R^2 del 66.6% demuestra que el modelo captura parte significativa de la variabilidad observada del gasto, existiendo algunos sesgos en la simulación debido posiblemente a limitaciones en la estructura del modelo, datos limitados o una mala calibración de los parámetros. Esto no permite representar idóneamente a los procesos hidrológicos en condiciones de bajos caudales como en este caso.

6.2.4 Subcuenca 3

Tabla 64. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 3.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 3		
Superficie de cuenca (km ²)		795.10
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		37.52
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		15
Fecha de inicio		1962
Fecha de fin		1985
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		37.5
Promedio de ETP observada (mm/mes)		84.5
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.2
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.4
Promedio del logaritmo del caudal observado		-2.2
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		50.3
Nash(\sqrt{Q})		37.7
Nash(ln(Q))		-10.7
Balance Hídrico		131.8

Los criterios de eficiencia de la Tabla 64, son los de Nash (Q) de 50.3, Nash (\sqrt{Q}) de 37.7, Nash ($\ln(Q)$) de -10.7 y el Balance Hídrico de 131.8. Esto sugiere una grave inconsistencia en la validación del modelo. El balance hídrico genera 31.8% más agua que el reportado en el gasto observado. Existe un fallo sistemático para esta subcuenca, por lo que solo se utilizará como ejemplo al igual que en el modelo GR2M (Figuras 93 y 94).

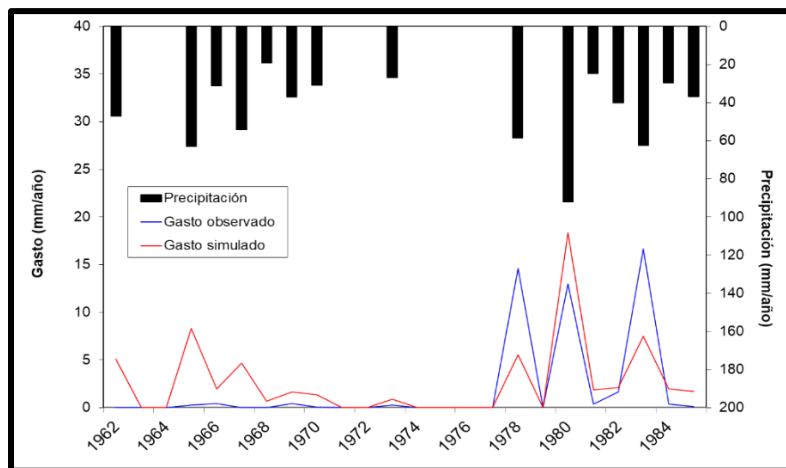


Figura 93. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 3 en mm y m³/s.

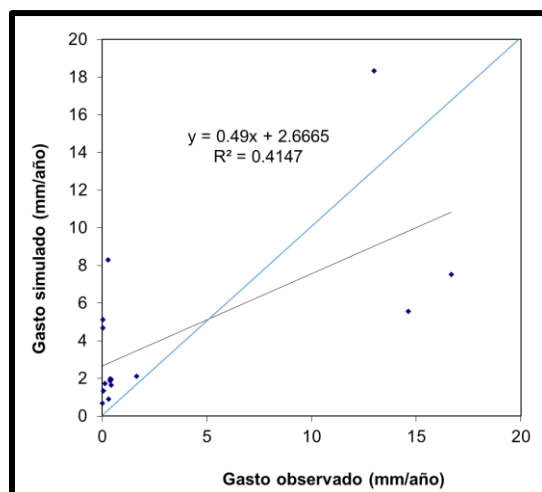


Figura 94. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 3.

6.2.5 Subcuenca 4

Tabla 65. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 4.

Nombre de la cuenca: Cuenca del Río Colorado		
Superficie de cuenca (km²)		1305.39
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		21.66
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		33
Fecha de inicio		1961
Fecha de fin		1992
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		21.7
Promedio de ETP observada (mm/mes)		117.6
Promedio de débits observado (mm/mes)		0.5
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		0.5
Promedio del logaritmo del caudal observado		-1.8
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		3.9
Nash(\sqrt{Q})		21.6
Nash(ln(Q))		41.5
Balance Hídrico		68.6

En la Tabla 65 se muestran los criterios de eficiencia para la subcuenca 4, que son los de Nash (Q) de 3.9, Nash (\sqrt{Q}) de 21.6, Nash ($\ln(Q)$) de 41.5 y el Balance Hídrico de 68.6. Para fines del presente trabajo, estos datos son aceptables, aunque el balance hídrico de 68.6% revela una discrepancia volumétrica donde solo eso es lo que se produce como agua disponible.

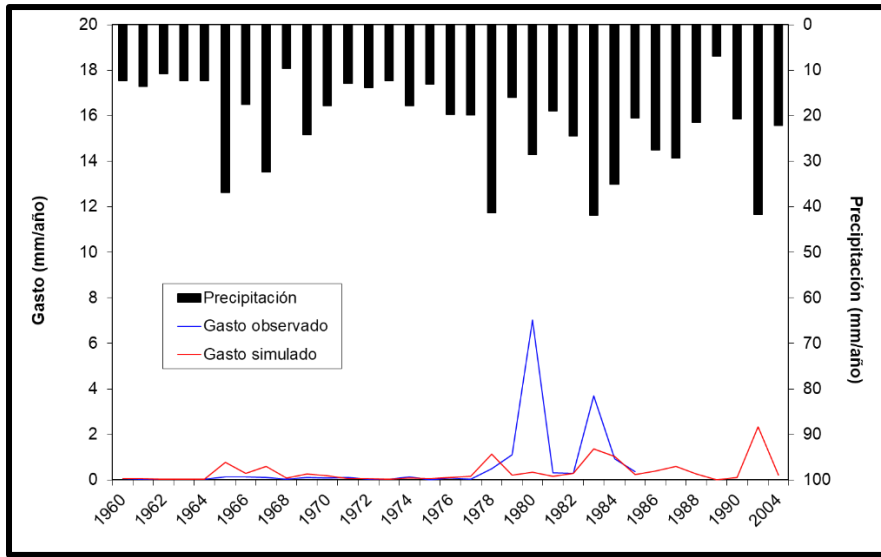


Figura 95. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 4 en mm y m³/s.

Las discrepancias anteriormente mencionadas del balance hídrico se ven reflejado en el gasto simulado marcado en rojo, con respecto al gasto observado en azul (Figura 95). Claramente se están subestimando los datos para los años de 1980 y 1984, además de una sobreestimación de los datos en 2003. La relación con la precipitación es 1:5 y no parece haber una relación directa, aunque esto igualmente se explicaría por los factores o problemáticas anteriormente mencionadas, en especial en esta zona donde escasea tanto el agua y que es usada para diversas actividades.

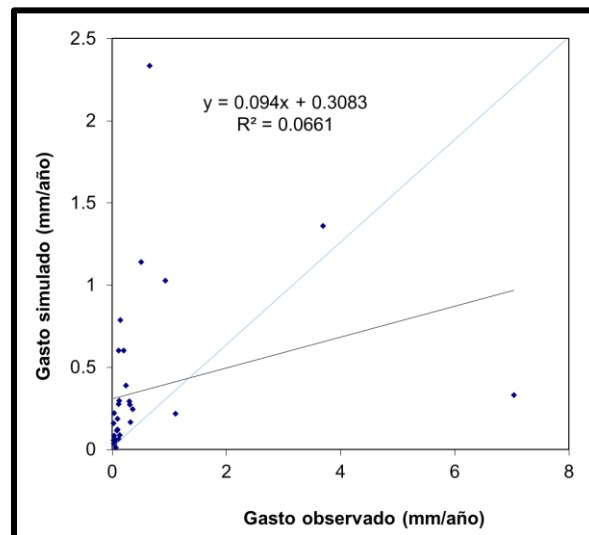


Figura 96. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 4.

En la Figura 96 se presenta la gráfica de dispersión para la subcuenca 4, en donde se relacionan los caudales observados y simulados, que por el valor de la pendiente (y), se

revela un pobre desempeño del modelo. La pendiente indica una grave subestimación de los datos, donde por cada 1 mm³/año observado, solo se simula 0.094 mm³/año (un error de -90.6%). La R² de 0.0661 demuestra que el modelo explica apenas el 6.61% de la variabilidad observada, lo que se interpreta como una desconexión entre las simulaciones y lo observado. Este error se debe presuntamente por problemas como la calidad de los datos de entrada, la estructura del modelo, entre otros anteriormente mencionados.

6.2.6 Subcuenca 5

Tabla 66. Datos generales del modelo GR1A para la Subcuenca 5.

Nombre de la cuenca: Subcuenca 5		
Superficie de cuenca (km ²)		1158.40
Parámetros del modelo	Transf.	Valor real
x: Coeficiente de correlación de la ETP (mm)	0.23	1.26
Valor inicial de la precipitación		
Pk-1		22.74
Periodo		
Duración del periodo de prueba(meses)		41
Fecha de inicio		1959
Fecha de fin		2002
Promedio de las lluvias observadas (mm/mes)		22.7
Promedio de ETP observada (mm/mes)		102.5
Promedio de débits observado (mm/mes)		1.7
Promedio de la raíz cuadrada del caudal observada		1.0
Promedio del logaritmo del caudal observado		-0.5
Criterios de eficiencia (%)		
Nash(Q)		22.4
Nash(\sqrt{Q})		28.2
Nash(ln(Q))		13.8
Balance Hídrico		39.8

Para la subcuenca 5, se tienen en la Tabla 66 los criterios de eficiencia, que son los de Nash (Q) de 22.4, Nash (\sqrt{Q}) de 28.2, Nash (ln(Q)) de 13.8 y el Balance Hídrico de 39.8. Si bien los valores de Nash son altos, lo realmente llamativo es el Balance Hídrico del modelo, el cual solo simula 39.8% del caudal real medido.

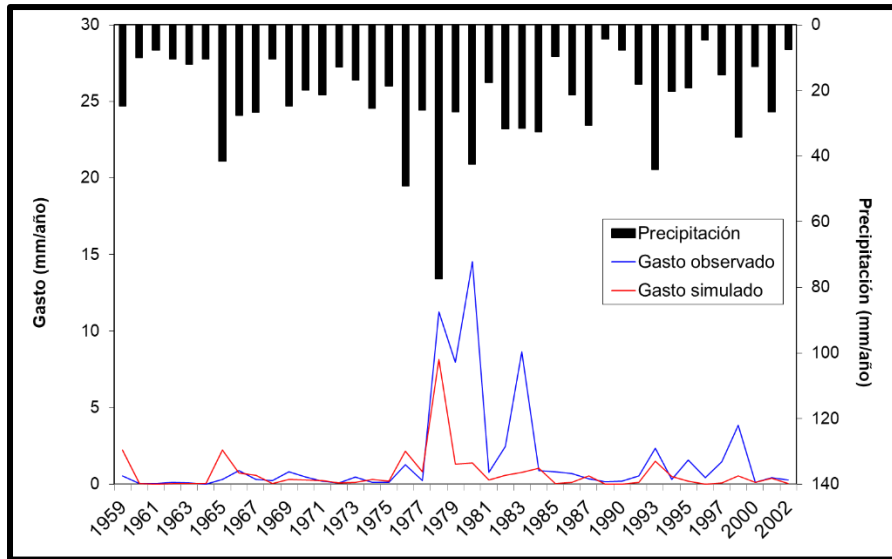


Figura 97. Hidrograma del modelo GR1A de la Subcuenca 5 en mm y m³/s.

Como se mencionó anteriormente, el caudal simulado es menos de la mitad que el observado. Esto se muestra en la Figura 97 del hidrograma de la subcuenca 5, en donde se muestra que el modelo subestima el gasto. Igualmente, no se tiene una relación clara entre gasto y precipitación.

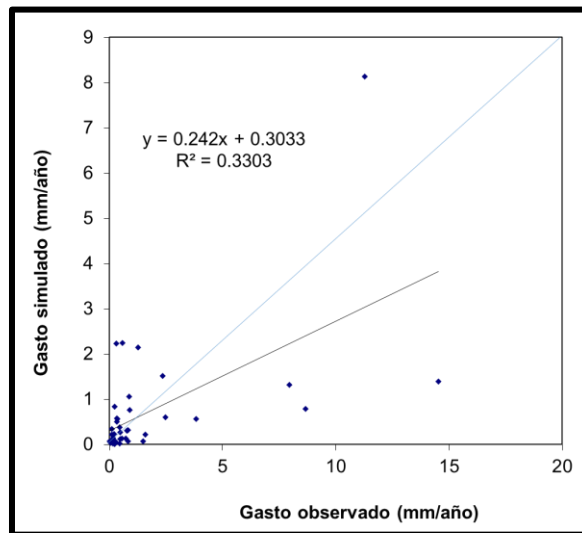


Figura 98. Gráfica de dispersión del gasto observado y el gasto simulado de la Subcuenca 5.

En la Figura 98 se muestra la gráfica de dispersión de la subcuenca 5 entre el gasto observado y el gasto simulado. La pendiente de 0.242 indica una subestimación crítica, donde por cada unidad de caudal observado el modelo solo reproduce el 24.2%. El bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 0.3303$) muestra que el modelo apenas explica el 33% de la variabilidad observada.

CAPÍTULO 7. ÍNDICES DE SEQUÍA HIDROLÓGICA Y METEOROLÓGICA

Como se mencionó en la introducción del presente trabajo, la sequía, es caracterizada por la falta de agua durante un período determinado, representa un riesgo natural con consecuencias negativas para los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y los servicios ecosistémicos, como la captura de carbono. CONAGUA-SMN (2023) define a la sequía de tres formas: 1) Como la situación climatológica normal que se da por la falta de precipitación en una zona, durante un período de tiempo prolongado; 2) como la ausencia prolongada, deficiencia marcada o pobre distribución de precipitación; y 3) al período anormal de tiempo seco suficientemente prolongado, en el que la falta de precipitación causa un grave desequilibrio hidrológico. Esta definición se refiere a la sequía meteorológica.

La sequía hidrológica corresponde a un déficit en el caudal de los ríos, los niveles bajos de los acuíferos o los embalses, durante un periodo o un año en el que los caudales son muy inferiores a la media. Se presta especial atención a la frecuencia y la duración de los periodos de sequía (sin caudal), así como a la intermitencia de los ríos.

7.1 Distribución de Frecuencia Acumulada

La distribución de frecuencia acumulada (DFA) es una técnica estadística fundamental en hidrología para evaluar la probabilidad de eventos extremos, como inundaciones o sequías. Este método analiza series históricas de datos hidrológicos, ordenados de mayor a menor, para establecer relaciones entre la magnitud de los eventos y su frecuencia de ocurrencia (Haan, 2002; U.S. Geological Survey (USGS), 2021). En la ecuación 120 se muestra la fórmula de Weibull, utilizada para determinar esta distribución, la cual se encuentra en el Anexo 6.

Se utilizó un intervalo entre los percentiles 5 y 95 que contiene el rango central de confiabilidad en estimaciones de frecuencia. En la Tabla 68 se muestra la DFA de la variable de precipitación. Los datos muestran la distribución de frecuencias acumuladas para la cuenca general y las cinco subcuencas, con valores de precipitación anual ordenados de menor a mayor. La DFA varía desde cero (0.00%) hasta 1.00 (100%), representando la probabilidad de que un valor de precipitación no sea superado. En la Figura 99 se muestran también todos los gráficos correspondientes a las subcuencas y a la cuenca general para esta variable.

Para la cuenca general, los datos muestran que los años con presunta sequía ($P < 5\%$) se concentran entre 1989 y 1961, con precipitaciones entre 7.66 y 8.33 mm, siendo 1989 el año más crítico (7.66 mm, $P = 0.02$). Por su parte, para las precipitaciones más grandes ($P > 95\%$), se tiene que los eventos más intensos ocurrieron entre 2010 y 1978, destacando 1978 con 43.29 mm ($P = 1.00$). Esta dispersión entre valores extremos (7.66 vs 43.29 mm) indica una alta variabilidad interanual en la cuenca principal.

La subcuenca 1, presenta un comportamiento similar a la cuenca general, pero con valores ligeramente más bajos en sus extremos de estiaje (6.93 mm en 1989, $P = 0.03$). El rango húmedo extremo ($> 95\%$) muestra valores notablemente altos en 1978 (61.28 mm, $P = 1.00$), superando incluso a la cuenca general (recordar que la precipitación de la cuenca general se obtuvo con base a los promedios de todas las estaciones, por eso es más bajo el valor). Esto sugiere una mayor susceptibilidad a eventos lluviosos intensos en esta zona. Para la subcuenca 2, se muestra una transición interesante, con su valor seco extremo en 1989 (7.39 mm, $P = 0.03$) siendo similar a las otras subcuencas, pero su evento de precipitación máxima en 1983 (69.88 mm, $P = 1.00$) resulta algo anómalo. La rápida transición entre percentiles indica respuestas pluviométricas más abruptas en esta área.

La subcuenca 3, se destaca radicalmente con los valores más altos en todo el análisis. Su "evento seco" extremo (1968, 19.25 mm, $P = 0.07$) supera los valores húmedos de otras áreas y no cumple con el criterio $< 5\%$ (quizás por la falta de datos), mientras que 1980 registra 92.02 mm ($P = 1.00$). Esta subcuenca claramente tiene un régimen pluviométrico único, ya que, en primera, no se cuentan con todos los datos deseables, probablemente ocurran efectos orográficos y otras características geográficas específicas. La subcuenca 4, muestra un comportamiento intermedio, con su extremo seco en 1989 (6.88 mm, $P = 0.03$) similar a otras áreas, pero eventos de precipitación que alcanzan 41.88 mm en 1983 ($P = 1.00$). La distribución parece más equilibrada que en las subcuencas vecinas, sin valores extremadamente altos. La subcuenca 5, registra los valores más bajos del estudio, siendo el año de 1989 el que marca 4.21 mm ($P = 0.02$) como mínimo histórico. Sus eventos de precipitación máxima, aunque significativos (77.49 mm en 1978, $P = 1.00$), no alcanzan los máximos de la Subcuenca 3. Esta zona parece particularmente vulnerable a sequías intensas.

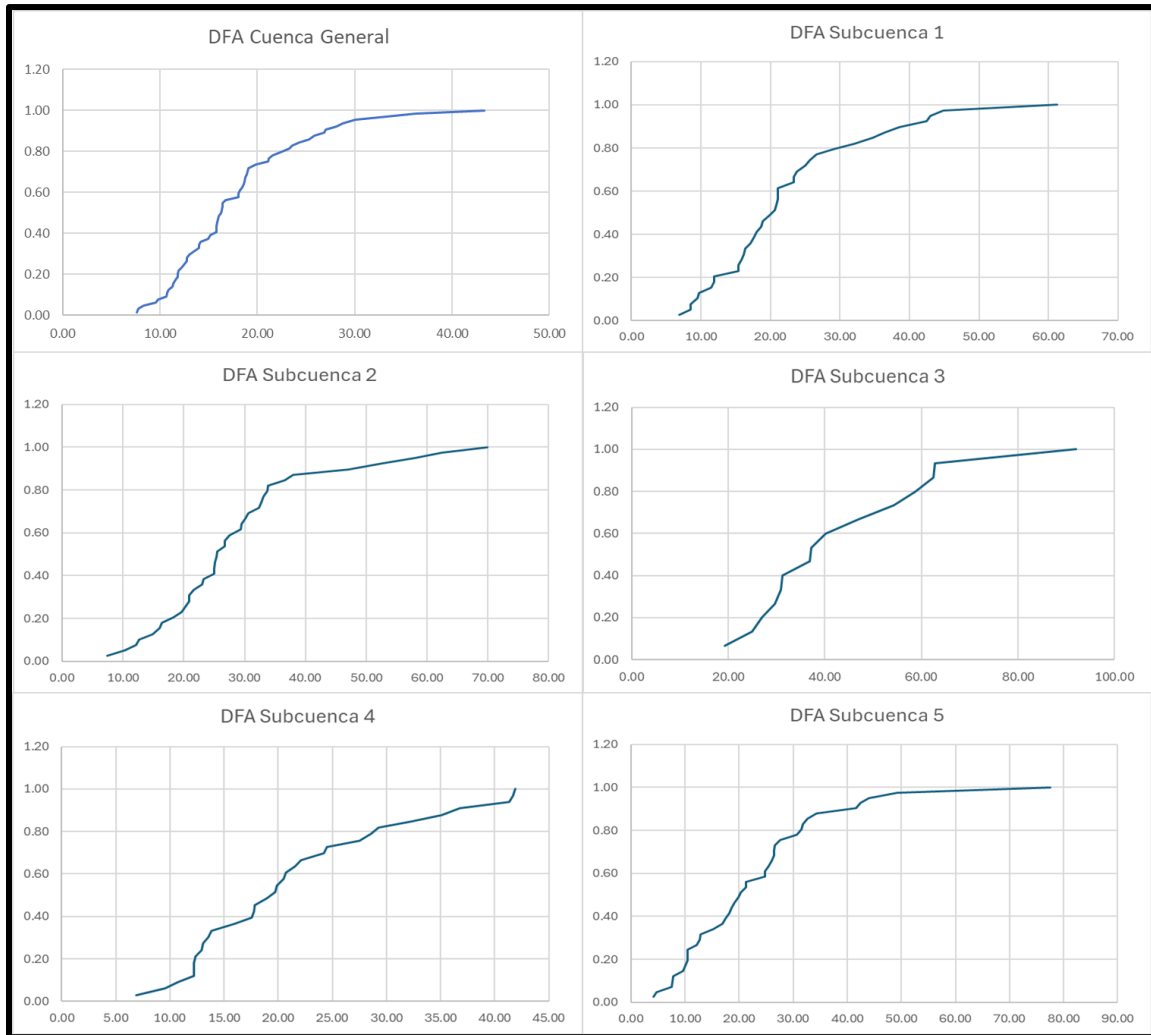


Figura 99. Gráficos de DFA de precipitación para la cuenca general y las subcuencas.

Para la variable de gasto también se realizó un análisis de la distribución de frecuencia acumulada. En la Figura 100 se muestran los gráficos correspondientes a la variable de gasto para la cuenca y la subcuenca, mientras que en la Tabla 68 se observa la Tabla de DFA para la misma variable.

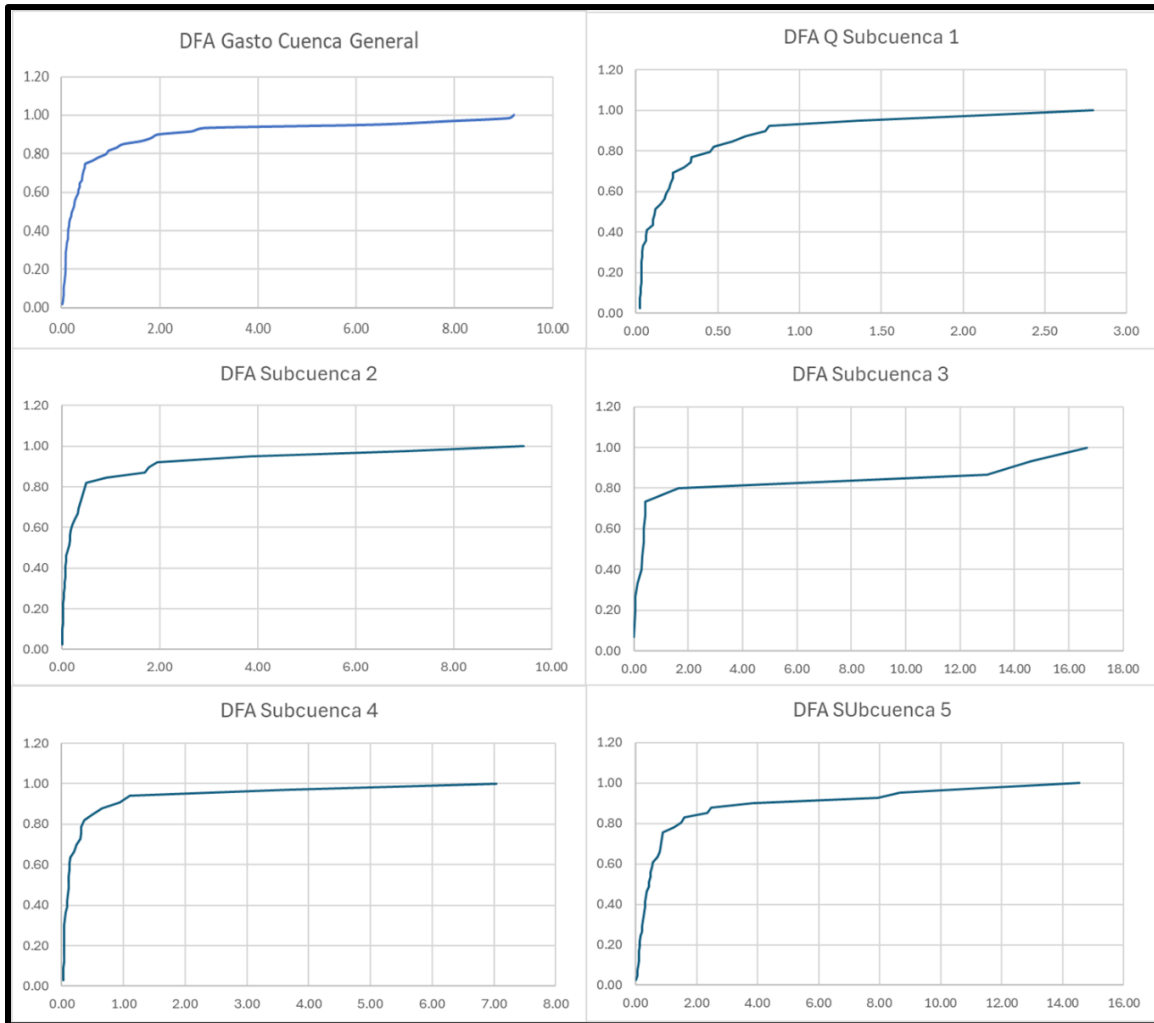


Figura 100. Gráficos de DFA de gasto para la cuenca general y las subcuencas.

La cuenca general presenta un comportamiento hidrológico con gastos mínimos extremos (<5%) entre 0.02 m³/s (1964) y 0.04 m³/s (1963), mostrando años de severa escasez hídrica. Para los máximos históricos (>95%) se alcanzan valores grandes para la zona de 6.32 m³/s (1978) hasta 9.22 m³/s (1980), lo que revela una amplia variabilidad entre años. El año de 1980, marca el punto crítico con el gasto máximo registrado. Por su parte, la subcuenca 1 mantiene gastos mínimos similares a la cuenca principal (0.02 m³/s en 1971), pero sus valores máximos superan los 2.80 m³/s (1983), mostrando una menor amplitud en sus extremos con mayor gasto, comparada con la cuenca general. Los años 1980-1983 concentran los eventos más significativos de gasto elevado.

En la subcuenca 2 se observan los gastos mínimos más bajos del estudio (0.01 m³/s en 1971), indicando alta vulnerabilidad a sequías. Sorprende su rápido incremento a valores extremos de 9.43 m³/s (1973), demostrando una respuesta hidrológica particularmente

abrupta ante los eventos lluviosos intensos. La subcuenca 3 destaca dramáticamente con el rango más amplio: desde 0.00 m³/s (registrado en 1968) hasta 16.67 m³/s (1983). Esta extraordinaria variación sugiere fuertes desequilibrios en su régimen hidrológico, posiblemente asociados a características geomorfológicas únicas, a intensos procesos de escorrentía concentrada y a la evidente ausencia de datos.

La subcuenca 4 muestra una transición más gradual entre sus valores extremos de gasto mínimos y máximos, siendo los mínimos de 0.02 m³/s (1975) y máximos de 7.04 m³/s (1980). Este comportamiento relativamente equilibrado contrasta con las subcuencas vecinas, indicando posiblemente mejores condiciones de regulación natural del gasto. De la subcuenca 5 se puede interpretar que presenta algunas particularidades interesantes, ya que mientras sus valores mínimos (0.02 m³/s en 1964) son comparables a otras áreas, los máximos alcanzan 14.54 m³/s (1980), superando incluso el promedio de la cuenca general. Este patrón sugiere procesos de concentración de flujos especialmente intensos en esta zona durante eventos extremos.

El análisis comparativo entre la cuenca y las subcuencas revela que 1971 aparece consistentemente como año crítico de bajos gastos, mientras que el periodo de 1978-1983 concentra los máximos históricos en casi todas las áreas estudiadas. La subcuenca 3 emerge como la más extrema en su comportamiento, mientras que la subcuenca 4 muestra el régimen más estable. Estas diferencias probablemente responden a factores como la ausencia de los datos de las estaciones, las pendientes, la cobertura vegetal y las características geológicas particulares de cada zona, destacando la necesidad de enfoques diferenciados para la gestión del riesgo hídrico en cada subcuenca, y en la cuenca general.

De las series de tiempo mensuales, en la Tabla 67 y Figura 101 se presentan las distribuciones de frecuencias acumuladas (DFA) para las series de Precipitación (P), Evapotranspiración Potencial (ETP), E-ETP y P/ETP. Los rangos de 0-30% y 70-100% se seleccionaron para definir que regionalmente, considerando la climatología, las subcuencas 1 y 4 (S1 y S4) son homogéneas a la cuenca del río Colorado. Particularmente, la S4 es la que presenta mayor homogeneidad en relación a los parámetros estadísticos de climatología. Por lo que más adelante el análisis de duración e intensidad de las sequías y periodos húmedos se realizara comparando la cuenca del río Colorado con la Subcuenca S4.

Tabla 67. Características estadísticas en milímetros de Precipitación (P) en mm, Evapotranspiración Potencial (ETP), E-ETP y P/ETP de las cuencas. S1, S2, S3, S4, y S5 son las subcuencas 1, 2, 3, 4 y 5. Respectivamente; DFA es la distribución de frecuencia acumulada.

Cuenca	mediana P	DFA	Cuenca	media P	DFA	Cuenca	desv. Estándar P	DFA
S1	5.10	0.18	Río Colorado	17.96	0.18	Río Colorado	24.94	0.10
Río Colorado	7.98	0.27	S4	21.64	0.26	S4	28.16	0.16
S5	11.00	0.38	S1	23.07	0.30	S2	40.20	0.48
S4	11.94	0.41	S2	29.01	0.47	S1	40.97	0.51
S2	13.50	0.48	S5	30.60	0.52	S5	47.74	0.71
S3	34.97	0.98	S3	56.74	0.98	S3	62.57	0.96
media	14.08		media	29.84		media	40.77	
desv. Estándar	9.73		desv. Estándar	12.77		desv. Estándar	12.48	
Cuenca	mediana ETP	DFA	Cuenca	media ETP	DFA	Cuenca	desv. estándar ETP	DFA
S2	13.50	0.03	S2	29.01	0.03	S3	30.20	0.07
S3	60.13	0.28	S3	68.83	0.29	S1	36.08	0.23
S1	86.94	0.57	S1	84.61	0.47	S2	40.20	0.42
S5	92.37	0.63	S5	96.97	0.62	S5	41.74	0.50
S4	108.52	0.78	S4	117.12	0.83	Río Colorado	48.78	0.81
Río Colorado	122.47	0.88	Río Colorado	124.33	0.88	S4	54.01	0.94
media	80.66		media	86.81		media	41.84	
desv. Estándar	35.67		desv. Estándar	31.88		desv. Estándar	7.83	
Cuenca	mediana (P-ETP)	DFA	Cuenca	media (P-ETP)	DFA	Cuenca	desv. estándar (P-ETP)	DFA
Río Colorado	-110.05	0.14	Río Colorado	-106.36	0.13	Río Colorado	64.68	0.20
S2	-93.31	0.30	S4	-95.48	0.21	S5	65.13	0.21
S4	-92.51	0.31	S2	-86.12	0.31	S1	66.52	0.27
S1	-78.35	0.50	S1	-63.87	0.59	S4	66.94	0.29
S5	-76.86	0.52	S5	-61.87	0.62	S2	79.49	0.88
S3	-17.36	0.98	S3	-12.09	0.97	S3	82.95	0.95
media	-78.07		media	-70.97		media	70.95	
desv. Estándar	29.30		desv. Estándar	30.78		desv. Estándar	7.37	
Cuenca	mediana (P/ETP)	DFA	Cuenca	media (P/ETP)	DFA	Cuenca	desv. estándar (P/ETP)	DFA
S1	0.06	0.27	Río Colorado	0.23	0.19	Río Colorado	0.41	0.12
Río Colorado	0.07	0.28	S4	0.29	0.24	S4	0.50	0.17
S4	0.11	0.35	S2	0.43	0.40	S2	0.74	0.39
S2	0.13	0.38	S1	0.46	0.43	S5	0.88	0.55
S5	0.14	0.38	S5	0.48	0.46	S1	0.96	0.64
S3	0.72	0.99	S3	1.22	0.98	S3	1.50	0.97
media	0.20		media	0.52		media	0.83	
desv. Estándar	0.23		desv. Estándar	0.33		desv. Estándar	0.36	

En la Figura 101, en color verde se remarcó el rango de 0-30% de los percentiles de las DFA y en azul el rango de 70-100%.

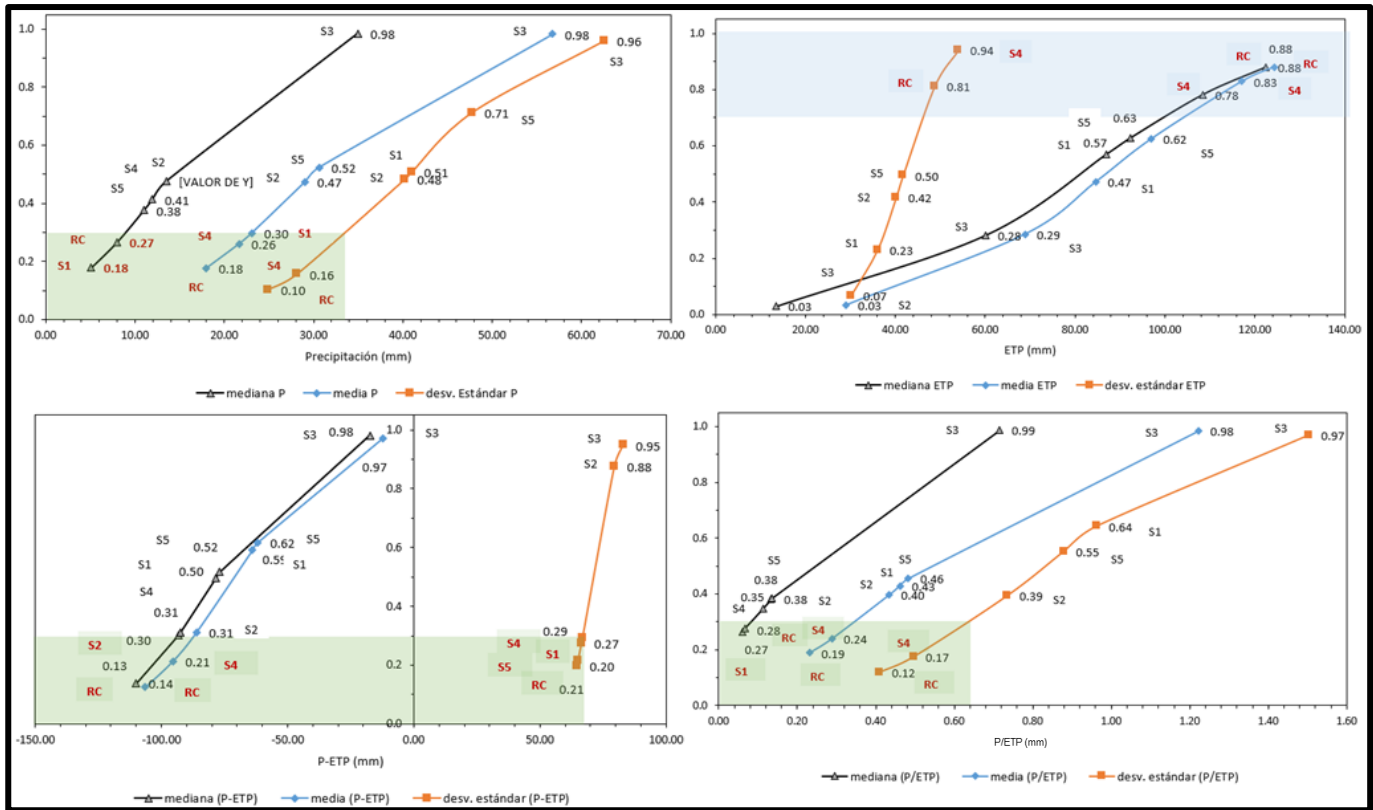


Figura 101. Ubicación de las cuencas homogéneas en los percentiles 0-30% y 70-100%, a partir de parámetros estadísticos de las series climáticas de Precipitación y ETP. RC (Río Colorado), S1 (Subcuenca 1), S2 (Subcuenca 2), S3 (Subcuenca 3), S4 (Subcuenca 4), S5 (Subcuenca 5).

7.2 Índices sequía-crecidas

Los índices de sequía-crecidas en el presente trabajo utilizan a la distribución de frecuencia acumulada como la base de este, ya que representa la probabilidad de que una de las variables (gasto y precipitación), sean de menor o igual a un valor específico. Se realizó un índice con los datos de precipitación, gasto y periodos de retorno para la cuenca general y las subcuencas. Estos índices se obtienen a partir de las Tablas 68-73.

Tabla 68. Índice de sequía y crecidas de la cuenca general.

Cuenca General						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1989	7.66	1.02	1964	0.02	1.02	0.02
1968	7.82	1.04	1961	0.04	1.04	0.04
1961	8.33	1.06	1963	0.04	1.06	0.06
1964	9.56	1.09	1972	0.05	1.09	0.08
2002	9.78	1.11	1975	0.05	1.11	0.10
1959	10.66	1.13	1960	0.05	1.13	0.12
1960	10.77	1.16	1962	0.06	1.16	0.14
1999	11.37	1.19	1968	0.07	1.19	0.16
1962	11.59	1.21	2004	0.07	1.21	0.18
1972	11.81	1.24	1974	0.08	1.24	0.20
2007	11.86	1.28	1971	0.09	1.28	0.22
1975	12.26	1.31	2003	0.09	1.31	0.24
2000	12.52	1.34	1977	0.09	1.34	0.26
1971	12.74	1.38	2000	0.09	1.38	0.28
1990	12.75	1.42	1989	0.10	1.42	0.30
1996	13.01	1.46	1967	0.11	1.46	0.32
1963	13.56	1.50	1990	0.14	1.50	0.34
1994	14.02	1.55	1970	0.14	1.55	0.36
1974	14.05	1.59	2002	0.14	1.59	0.38
1966	14.14	1.65	1957	0.14	1.65	0.40
1970	15.22	1.70	1999	0.16	1.70	0.42
1958	15.78	1.76	1965	0.18	1.76	0.44
1973	15.81	1.82	2001	0.20	1.82	0.46
1981	15.97	1.89	1987	0.24	1.89	0.48
1985	16.03	1.96	1988	0.26	1.96	0.50
2003	16.29	2.04	1973	0.27	2.04	0.52
1986	16.37	2.13	1996	0.28	2.13	0.54
1988	16.45	2.22	1959	0.31	2.22	0.56
2005	18.11	2.32	1966	0.35	2.32	0.58
1995	18.24	2.43	1969	0.35	2.43	0.60
1969	18.45	2.55	1986	0.38	2.55	0.62
2001	18.65	2.68	1976	0.38	2.68	0.64
1967	18.69	2.83	1985	0.42	2.83	0.66
1997	18.94	3.00	1994	0.43	3.00	0.68
1957	19.03	3.19	1981	0.44	3.19	0.70
1977	19.12	3.40	2005	0.46	3.40	0.72
1984	19.90	3.64	1992	0.48	3.64	0.74
1987	21.57	3.92	1997	0.49	3.92	0.76
1979	22.37	4.25	1984	0.64	4.25	0.78
1976	23.31	4.64	1995	0.96	4.64	0.80
2004	23.57	5.10	1982	1.13	5.10	0.82
1991	24.28	5.67	1991	1.25	5.67	0.84
1992	25.35	6.38	2007	1.63	6.38	0.86
1982	25.85	7.29	1998	1.84	7.29	0.88
1965	27.02	8.50	1958	2.67	8.50	0.90
1993	28.10	10.20	1979	2.91	10.20	0.92
1998	28.77	12.75	1978	6.32	12.75	0.94
1980	33.22	17.00	1983	7.77	17.00	0.96
1983	36.22	25.50	1993	9.11	25.50	0.98
1978	43.29	51.00	1980	9.22	51.00	1.00

En la Tabla 68 se muestra el índice para la cuenca general de sequía y crecidas. Se les llamó crecidas debido a que, por el tipo de clima y el volumen de lluvia y caudal, no se les puede llamar inundaciones porque es muy bajo, además de no disponer de información de declaratorias de inundación en el periodo de datos disponible. En color amarillo se muestran los valores que tienen una distribución de frecuencia acumulada menor al 5% (<0.05), que es el percentil que se utilizó para determinar las sequías. También del mismo color, se

marcan los valores que presentan crecidas en la parte inferior de la tabla, para lo que se utilizó un valor mayor al percentil del 95% (>0.95).

Se tiene que los años donde se presentó sequía meteorológica de acuerdo con los valores de DFA (Distribución de Frecuencia Acumulada) fueron los de 1989 y 1968 para precipitación promedio anual, con valores de 7.66 y 7.88 mm/año respectivamente, y, con un período de retorno de 1.02 y 1.04 años. Para el gasto, los años que presentan sequía hidrológica son los de 1964 y 1961, con valores promedio de 0.02 y 0.04 mm/año, y con el mismo período de retorno que la sequía meteorológica. Si bien parecen no coincidir los años de menor precipitación con los de menor gasto, también se puede notar que en los años de 1961 y 1964, se tuvo muy baja precipitación (son los siguientes valores mínimos), dando relación a estos valores. Igualmente se debe notar que los valores de gasto son muy bajos en general, pudiendo incluso inferirse que es una zona con una sequía continua (valores de 0.02 a 0.96), siendo los valores extremos los de las crecidas.

De las crecidas hay una aparente relación directa, pues se tienen los años de 1978 (43.29 mm), 1983 (36.22 mm) y 1980 (33.22 mm) para precipitación, y, 1980 (9.22 mm), 1993 (9.11 mms) y 1983 (7.77 mms). Los períodos de retorno para los valores máximos de ambos tipos de sequía son de 51, 25.5 y 17 años. Coinciden los años de 1983 y 1980, y si se ajusta un poco se pueden relacionar los años de 1978 y 1993 para la precipitación con el gasto.

Los datos de crecidas de precipitación son coincidentes con los de gasto en medida de que son los valores mayores en los mismos años, sin embargo, dado que se tienen las mismas unidades de mm para ambas variables, también se nota que se pierde más de tres cuartas partes del recurso hídrico, siendo la relación de gasto-precipitación de 1:4. Esto incluso crece con los valores de la sequía, pues si bien la precipitación es muy baja, los valores de gasto no alcanzan ni siquiera a completar el milímetro la mayor parte de los años, teniéndose una situación crítica de pérdida del recurso. Se sabe que, en esta zona del estado de Baja California, se tienen actividades que demandan demasiada agua. Se cuenta con un clima semiárido en donde no se tienen tantas precipitaciones, el gasto a su vez es (en la parte de la Cuenca del Río Colorado) el remanente de lo que dejan pasar las presas de Estados Unidos, también la mala gestión de los recursos ha influido en la situación de gasto, y, por si fuera poco, también se denota el impacto que ha tenido el cambio climático en el clima, haciéndolo cada vez más extremo.

Tabla 69. Índice de sequía y crecidas de la subcuenca 1.

Estación 1026						
Subcuenca 1						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1989	6.93	1.0	1971	0.02	1.0	0.03
1972	8.48	1.1	1961	0.03	1.1	0.05
1961	8.52	1.1	1972	0.03	1.1	0.08
1971	9.54	1.1	1964	0.03	1.1	0.10
1968	9.76	1.1	1967	0.03	1.1	0.13
1964	11.43	1.2	1962	0.03	1.2	0.15
1999	11.92	1.2	1970	0.03	1.2	0.18
2000	11.96	1.3	1977	0.03	1.3	0.21
1990	15.39	1.3	1975	0.03	1.3	0.23
1975	15.43	1.3	1976	0.04	1.3	0.26
1963	15.82	1.4	1968	0.04	1.4	0.28
1974	16.22	1.4	1974	0.04	1.4	0.31
1996	16.36	1.5	1963	0.04	1.5	0.33
1977	17.16	1.5	1973	0.06	1.5	0.36
1966	17.58	1.6	1965	0.06	1.6	0.38
1962	18.01	1.7	1969	0.07	1.7	0.41
1986	18.73	1.7	2000	0.11	1.7	0.44
1967	18.85	1.8	2001	0.11	1.8	0.46
1981	19.92	1.9	1966	0.12	1.9	0.49
1997	20.66	2.0	1989	0.12	2.0	0.51
1970	20.84	2.1	1990	0.15	2.1	0.54
1994	21.06	2.2	1997	0.17	2.2	0.56
1973	21.07	2.4	1987	0.19	2.4	0.59
1984	21.12	2.5	1996	0.20	2.5	0.62
2001	23.32	2.7	1988	0.21	2.7	0.64
1988	23.35	2.9	1999	0.23	2.9	0.67
1980	23.83	3.1	1986	0.23	3.1	0.69
1982	24.99	3.3	1992	0.29	3.3	0.72
1979	25.63	3.6	1981	0.33	3.6	0.74
1969	26.67	4.0	1982	0.34	4.0	0.77
1987	29.11	4.4	1998	0.45	4.4	0.79
1995	32.14	5.0	1995	0.48	5.0	0.82
1976	34.67	5.7	1984	0.59	5.7	0.85
1965	36.47	6.7	1994	0.67	6.7	0.87
1992	38.52	8.0	1993	0.79	8.0	0.90
1983	42.49	10.0	1979	0.82	10.0	0.92
1993	42.99	13.3	1978	1.36	13.3	0.95
1998	44.89	20.0	1980	2.10	20.0	0.97
1978	61.28	40.0	1983	2.80	40.0	1.00

En la Subcuenca 1 (Tabla 69), donde se encuentra la estación hidrométrica 1026, se observa el siguiente patrón meteorológico e hidrológico caracterizado por eventos extremos de sequía y crecidas. Los años 1989 y 1972 destacan como los periodos más críticos en términos de déficit hídrico, con precipitaciones de apenas 6.93 y 8.48 mm/año respectivamente, acompañados de periodos de retorno mínimos de 1.0 a 1.1 años. Estos valores, notablemente bajos, reflejan una severa reducción en la disponibilidad de agua, típica de ambientes semiáridos.

Por el lado del gasto, los años 1971 y 1961 presentan los valores más reducidos, con 0.02 y 0.03 mm/año respectivamente. Si bien estos años no coinciden exactamente con los de menor precipitación, su proximidad temporal a periodos de lluvias escasas (años 1961 y

1971) sugiere un efecto acumulativo en la disminución del caudal. Esta discrepancia podría atribuirse a factores como la capacidad de almacenamiento subterráneo o la intervención humana en la gestión del agua. Es particularmente llamativo que los valores de gasto se mantengan consistentemente bajos a lo largo del registro histórico, con la mayoría de los años sin superar 1 mm/año, lo que apunta a una condición crónica de estrés hídrico en la subcuenca.

En contraste, los eventos de crecida se manifiestan con mayor claridad en los años 1978, 1998 y 1983, donde se registraron precipitaciones excepcionales de 61.28, 44.89 y 42.49 mm, con periodos de retorno de 40, 20 y 13.3 años respectivamente. Estos episodios pluviales se correlacionan con aumentos significativos en el gasto, particularmente en 1983 (2.80 mm), 1980 (2.1 mm) y 1978 (1.36 mm). Sin embargo, la relación entre precipitación y gasto durante estas crecidas revela una pérdida considerable del recurso hídrico, ya que apenas una fracción del volumen de lluvia se traduce en escorrentía superficial. Este fenómeno podría explicarse por las características geomorfológicas de la cuenca, donde procesos de infiltración o evaporación estarían limitando la eficiencia en la conversión de lluvia a caudal.

El análisis comparativo entre ambos extremos hídricos muestra una dinámica compleja en el sistema de la subcuenca. Mientras las sequías parecen tener un efecto prolongado y acumulativo en el gasto, las crecidas responden de manera más inmediata pero menos eficiente en términos de aprovechamiento del recurso. Esta situación se agrava al considerar el contexto geográfico de la subcuenca, ubicada en una zona de clima semiárido donde la demanda de agua para actividades productivas supera frecuentemente la oferta natural. Los datos sugieren que, más allá de la variabilidad climática natural, existen factores antropogénicos que exacerban la escasez hídrica, particularmente en lo que respecta a la gestión de los recursos disponibles.

Tabla 70. Índice de sequía y crecidas de la subcuenca 2.

Estación 1023 Subcuenca 2						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1989	7.39	1.0	1971	0.01	1.0	0.03
1999	10.27	1.1	1964	0.01	1.1	0.05
1962	12.10	1.1	1968	0.02	1.1	0.08
1968	12.66	1.1	1963	0.02	1.1	0.10
1964	14.88	1.1	1961	0.02	1.1	0.13
1972	16.02	1.2	1970	0.02	1.2	0.15
1959	16.38	1.2	1972	0.02	1.2	0.18
1963	18.27	1.3	1960	0.02	1.3	0.21
1971	19.70	1.3	1975	0.02	1.3	0.23
1988	20.25	1.3	1962	0.04	1.3	0.26
1970	20.86	1.4	1974	0.04	1.4	0.28
1997	20.86	1.4	1967	0.06	1.4	0.31
1966	21.59	1.5	1959	0.06	1.5	0.33
1960	23.04	1.5	1957	0.07	1.5	0.36
1990	23.28	1.6	1977	0.08	1.6	0.38
1986	24.97	1.7	1989	0.08	1.7	0.41
1975	25.04	1.7	1965	0.09	1.7	0.44
1961	25.09	1.8	1990	0.09	1.8	0.46
1973	25.32	1.9	1976	0.11	1.9	0.49
1974	25.49	2.0	1999	0.15	2.0	0.51
1991	26.71	2.1	1966	0.17	2.1	0.54
1981	26.76	2.2	1997	0.17	2.2	0.56
1984	27.54	2.4	1958	0.19	2.4	0.59
1969	29.31	2.5	1987	0.21	2.5	0.62
1985	29.49	2.7	1988	0.26	2.7	0.64
1967	30.16	2.9	1986	0.32	2.9	0.67
1998	30.58	3.1	1969	0.34	3.1	0.69
1976	32.41	3.3	1985	0.36	3.3	0.72
1977	32.77	3.6	1981	0.40	3.6	0.74
1965	33.05	4.0	1984	0.44	4.0	0.77
1979	33.68	4.4	1973	0.47	4.4	0.79
1957	33.86	5.0	1992	0.49	5.0	0.82
1958	36.56	5.7	1982	0.90	5.7	0.85
1987	37.92	6.7	1991	1.70	6.7	0.87
1992	47.04	8.0	1979	1.77	8.0	0.90
1982	52.55	10.0	1998	1.95	10.0	0.92
1980	57.98	13.3	1978	3.85	13.3	0.95
1978	62.47	20.0	1983	7.01	20.0	0.97
1983	69.88	40.0	1980	9.43	40.0	1.00

El análisis de la DFA para la Subcuenca 2 (Tabla 70) revela un patrón hidroclimático marcado por eventos extremos, donde se identifican claramente periodos de estrés hídrico y episodios de relativa abundancia pluvial para la subcuenca. Los valores de DFA inferiores a 0.05, marcados en amarillo, señalan los años con condiciones de sequía más severas, siendo 1989 y 1999 los periodos más críticos con precipitaciones de apenas 7.39 y 10.27 mm respectivamente. Estos valores, asociados a periodos de retorno mínimos de 1.0 a 1.1 años, reflejan la alta recurrencia de eventos secos en esta subcuenca.

La relación entre precipitación y gasto muestra una dinámica particularmente interesante en esta subcuenca. Mientras que los años de menor precipitación no coinciden exactamente con los de mínimo gasto, se observa una correspondencia temporal cercana, destacando 1971 y 1964 como los años con el caudal más reducido (0.01 mm^3). Este desfase temporal podría explicarse por procesos de retardo en la respuesta hidrológica de la cuenca, donde factores como la capacidad de almacenamiento en acuíferos o la interceptación vegetal estarían amortiguando el impacto inmediato de la escasez pluvial. Es notable que los valores de gasto se mantengan consistentemente bajos, con más del 80% de los registros por debajo de 0.5 mm en promedio año, lo que sugiere una condición permanente de disponibilidad hídrica limitada en el sistema de la subcuenca.

Los eventos de crecida y máximas precipitaciones, identificados con DFA superior a 0.95, presentan su máxima expresión en años coincidentes. En 1980, 1983 y 1978, con precipitaciones extraordinarias de 69.88, 62.47 y 62.47 mm respectivamente, asociadas a periodos de retorno de 40, 20 y 13.3 años. Estos episodios pluviales extremos generaron respuestas significativas en el gasto, particularmente en 1980 (9.43 mm), 1983 (7.01 mm) y 1978 (3.85 mm). Sin embargo, el análisis detallado revela una eficiencia relativamente baja en la conversión de lluvia a caudal, donde apenas entre el 10% y 15% del volumen precipitado se transforma en caudal superficial. Esta relación sugiere la presencia de mecanismos de pérdida importantes, posiblemente asociados a procesos de infiltración profunda, a características geomorfológicas que favorecen la retención del agua en la cuenca, o a tomas de agua clandestinas.

El contraste entre los extremos hídricos en esta subcuenca evidencia un sistema altamente sensible a la variabilidad climática, donde pequeñas fluctuaciones en la precipitación generan cambios desproporcionados en la disponibilidad del recurso hídrico. La marcada diferencia entre los valores mínimos y máximos de precipitación (desde 7.39 hasta 69.88 mm/año) y su correspondiente impacto en el gasto (de 0.01 a $9.43 \text{ mm}^3/\text{año}$) subrayan la vulnerabilidad del sistema ante escenarios de cambio climático. Esta situación se agrava al considerar que los periodos de retorno para eventos extremos muestran una recurrencia relativamente alta, con sequías severas ocurriendo aproximadamente cada año y crecidas significativas cada dos décadas en promedio, lo que plantea importantes desafíos para la gestión sostenible del recurso hídrico en la región.

Tabla 71. Índice de sequía y crecidas de la subcuenca 3.

Estación 1027 Subcuenca 3						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1968	19.25	1.07	1968	0.00	1.07	0.07
1981	24.92	1.14	1967	0.03	1.14	0.13
1973	26.92	1.23	1962	0.04	1.23	0.20
1984	29.63	1.33	1970	0.06	1.33	0.27
1970	30.94	1.45	1985	0.13	1.45	0.33
1966	31.25	1.60	1965	0.28	1.60	0.40
1985	36.88	1.78	1973	0.30	1.78	0.47
1969	37.17	2.00	1984	0.36	2.00	0.53
1982	40.10	2.29	1981	0.37	2.29	0.60
1962	47.00	2.67	1969	0.41	2.67	0.67
1967	54.25	3.20	1966	0.43	3.20	0.73
1978	58.63	4.00	1982	1.63	4.00	0.80
1983	62.41	5.33	1980	12.99	5.33	0.87
1965	62.85	8.00	1978	14.61	8.00	0.93
1980	92.02	16.00	1983	16.67	16.00	1.00

Debido a la pobre disponibilidad de datos para gasto en esta subcuenca, los datos que se muestran en la Tabla 71 no representan de manera fiel a la situación de las variables hídricas, por lo que la interpretación de los datos presentados debe tomarse solo como un ejemplo. La Subcuenca 3 presenta un comportamiento hidrológico diferente en comparación con las demás, caracterizado por la ausencia de valores con Distribución de Frecuencia Acumulada (DFA) inferiores a 0.05, lo que impide definir periodos de sequía bajo los criterios convencionales. Sin embargo, los registros de gasto revelan una situación crítica, con valores mínimos extremos como 0.00 mm³ en 1968 y 0.03 mm³ en 1967, a pesar de que la precipitación en estos mismos años no fue particularmente baja (19.25 y 54.25 mm, respectivamente). Está marcada discrepancia entre la precipitación recibida y el gasto observado sugiere que, aunque la lluvia es considerable, el agua no se traduce en escurrimiento superficial, lo que plantea interrogantes sobre su destino final dentro del sistema.

La explicación a este fenómeno podría encontrarse en las particularidades fisiográficas y ecológicas de la subcuenca. La presencia de suelos altamente permeables o estructuras geológicas fracturadas podría favorecer una infiltración acelerada del agua hacia acuíferos profundos, limitando su contribución al caudal superficial. Otra opción puede ser una cobertura vegetal densa y adaptada a condiciones de alta demanda hídrica la cual podría estar interceptando y transpirando gran parte de la precipitación, reduciendo así la disponibilidad para el escurrimiento, pero evidentemente por el clima de la zona esto es imposible. También es plausible que existan procesos de evaporación intensificados por condiciones microclimáticas locales o que la morfología de la cuenca promueva la retención

del agua en depresiones o humedales temporales, sin conexión aparente con la red de drenaje principal.

Adicionalmente, la influencia antropogénica no puede descartarse. Prácticas como la extracción intensiva de aguas subterráneas o la modificación de los cauces naturales podrían estar alterando los patrones tradicionales de escurrimiento, aunque esto requeriría un análisis más detallado de las actividades desarrolladas en la zona. Lo que resulta evidente es que, a pesar de recibir volúmenes apreciables de lluvia—con máximos que superan los 90 mm/año—, la subcuenca muestra una capacidad limitada para convertir esta precipitación en gasto superficial, lo que refleja una dinámica hidrológica dominada por pérdidas significativas en alguna fase del ciclo.

Este comportamiento tiene implicaciones importantes para la gestión del recurso hídrico en la región. La aparente abundancia de precipitación no se traduce en disponibilidad superficial del recurso hídrico, lo que podría generar una falsa percepción de seguridad hídrica. Por el contrario, los bajísimos valores de gasto indican que, aunque no se registren sequías meteorológicas tradicionales, la escasez efectiva de agua en los cauces es una condición casi permanente. Esto subraya la necesidad de estudiar con mayor detalle los procesos internos de la cuenca—incluyendo flujos subterráneos, uso de agua por la vegetación y posibles alteraciones antrópicas—para entender dónde y cómo se está perdiendo el recurso, y así diseñar estrategias de manejo adaptadas a esta peculiaridad hidrológica.

Tabla 72. Índice de sequía y crecidas de la subcuenca 4.

Estación 1025 Subcuenca 4						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1989	6.88	1.03	1975	0.02	1.03	0.03
1968	9.58	1.06	1977	0.03	1.06	0.06
1962	10.76	1.10	1963	0.03	1.10	0.09
1960	12.22	1.13	1962	0.03	1.13	0.12
1973	12.25	1.17	1968	0.03	1.17	0.15
1963	12.25	1.21	2004	0.04	1.21	0.18
1964	12.33	1.26	1972	0.04	1.26	0.21
1971	12.91	1.31	1964	0.04	1.31	0.24
1975	13.06	1.36	1973	0.04	1.36	0.27
1961	13.53	1.42	1961	0.04	1.42	0.30
1972	13.80	1.48	1960	0.05	1.48	0.33
1979	15.95	1.55	1989	0.07	1.55	0.36
1966	17.56	1.62	1990	0.08	1.62	0.39
1974	17.75	1.70	1976	0.09	1.70	0.42
1970	17.80	1.79	1970	0.10	1.79	0.45
1981	18.96	1.89	1971	0.11	1.89	0.48
1976	19.72	2.00	1967	0.11	2.00	0.52
1977	19.87	2.13	1969	0.11	2.13	0.55
1985	20.53	2.27	1966	0.12	2.27	0.58
1990	20.68	2.43	1974	0.13	2.43	0.61
1988	21.53	2.62	1965	0.14	2.62	0.64
2004	22.10	2.83	1987	0.20	2.83	0.67
1969	24.24	3.09	1986	0.24	3.09	0.70
1982	24.48	3.40	1982	0.30	3.40	0.73
1986	27.54	3.78	1988	0.31	3.78	0.76
1980	28.55	4.25	1981	0.32	4.25	0.79
1987	29.24	4.86	1985	0.36	4.86	0.82
1967	32.33	5.67	1978	0.51	5.67	0.85
1984	35.10	6.80	1992	0.66	6.80	0.88
1965	36.79	8.50	1984	0.94	8.50	0.91
1978	41.36	11.33	1979	1.11	11.33	0.94
1992	41.69	17.00	1983	3.69	17.00	0.97
1983	41.88	34.00	1980	7.04	34.00	1.00

La Subcuenca 4 (Tabla 72) presenta un régimen hidrológico marcado por una clara dualidad entre eventos secos y húmedos, donde los valores de DFA permiten identificar condiciones extremas. Los años 1989 y 1968 emergen como los periodos más críticos de sequía, con precipitaciones de apenas 6.88 y 9.58 mm respectivamente, y valores que se sitúan en el umbral inferior de la serie histórica (DFA <0.06 para este caso). Estos déficits pluviométricos, asociados a periodos de retorno mínimos de 1.03 a 1.06 años, reflejan la alta recurrencia de episodios secos en esta subcuenca, característica representativa de las subcuencas.

El análisis del gasto revela una situación particularmente preocupante, con valores que apenas superan los 0.05 mm³/año durante los años de sequía más intensa (1975, 1977, 1963, y realmente todos los años con excepción de 1979, 1983 y 1980). Lo llamativo es que estos caudales mínimos no siempre coinciden temporalmente con los años de menor precipitación, mostrando un desfase que podría explicarse por procesos de retardo en la respuesta hidrológica o porque la DFA no considera que prácticamente todos los años se

tiene sequía. La presencia de valores persistentemente bajos a lo largo del registro histórico—con más del 70% de los datos por debajo de $0.15 \text{ mm}^3/\text{año}$ —sugiere una condición crónica de escasez hídrica, donde incluso años con precipitaciones moderadas (12-15 mm) generan caudales insignificantes. Esta situación apunta a posibles pérdidas sistemáticas, ya sea por infiltración profunda, evaporación intensiva o extracción antrópica no contabilizada como se ha mencionado anteriormente.

En el extremo opuesto, los eventos de crecida ($\text{DFA} > 0.95$) se manifiestan con mayor claridad en los años 1983 y 1980, con precipitaciones máximas de 41.88 y 28.55 mm/año respectivamente. Sin embargo, la relación entre precipitación y gasto durante estos episodios muestra una eficiencia notablemente baja en la conversión hídrica. Mientras que la lluvia aumenta hasta seis veces respecto a los valores mínimos, el gasto apenas incrementa en un factor de tres, evidenciando pérdidas proporcionalmente mayores durante los eventos extremos. Este comportamiento podría deberse a características fisiográficas particulares de la subcuenca, como suelos de alta porosidad y permeabilidad, o pendientes pronunciadas que favorecen la infiltración del agua antes de su incorporación a los cauces principales.

El contraste entre los valores extremos resulta especialmente revelador: mientras las sequías muestran una reducción del 85% en precipitación respecto a los máximos históricos, el gasto disminuye hasta un 99.7%, evidenciando una sensibilidad desproporcionada del sistema frente a déficits pluviométricos. Esta extrema vulnerabilidad ante condiciones secas sugiere que la subcuenca opera permanentemente cerca del umbral crítico de disponibilidad hídrica, donde pequeñas variaciones en la precipitación generan impactos catastróficos en los caudales, por eso la complejidad de realizar los modelos de esta zona.

Los periodos de retorno relativamente cortos para eventos extremos (34 años para máximos de precipitación) indican una alta probabilidad de recurrencia de crisis hídricas, situación que se agrava ante la aparente incapacidad del sistema para almacenar y regular los excedentes pluviométricos durante los años húmedos. Esta combinación de factores (alta variabilidad climática, baja eficiencia en la conversión lluvia-caudal y valores base extremadamente reducidos) configura un escenario de riesgo hídrico permanente, que requiere atención prioritaria en los planes sociales de gestión del recurso agua.

Tabla 73. Índice de sequía y crecidas de la subcuenca 5.

Estación 1024 Subcuenca 5						
Año	P	T (años)	Año	Q	T (años)	DFA
1989	4.21	0.02	1964	0.02	0.02	0.02
1996	4.73	0.05	1961	0.06	0.05	0.05
2002	7.46	0.07	1960	0.07	0.07	0.07
1990	7.61	0.10	1963	0.08	0.10	0.10
1961	7.75	0.12	1972	0.11	0.12	0.12
1985	9.63	0.15	1974	0.12	0.15	0.15
1960	10.04	0.17	1975	0.12	0.17	0.17
1962	10.45	0.20	1962	0.15	0.20	0.20
1964	10.46	0.22	2000	0.15	0.22	0.22
1968	10.47	0.24	1989	0.15	0.24	0.24
1963	12.08	0.27	1971	0.20	0.27	0.27
2000	12.68	0.29	1990	0.22	0.29	0.29
1972	12.83	0.32	1977	0.24	0.32	0.32
1997	15.27	0.34	1968	0.25	0.34	0.34
1973	16.92	0.37	2002	0.29	0.37	0.37
1981	17.51	0.39	1965	0.32	0.39	0.39
1991	18.14	0.41	1967	0.32	0.41	0.41
1975	18.62	0.44	1994	0.33	0.44	0.44
1995	19.15	0.46	1987	0.36	0.46	0.46
1970	19.88	0.49	2001	0.45	0.49	0.49
1994	20.33	0.51	1996	0.45	0.51	0.51
1986	21.25	0.54	1973	0.48	0.54	0.54
1971	21.28	0.56	1970	0.49	0.56	0.56
1959	24.75	0.59	1991	0.55	0.59	0.59
1969	24.75	0.61	1959	0.57	0.61	0.61
1974	25.43	0.63	1986	0.71	0.63	0.63
1977	25.99	0.66	1981	0.78	0.66	0.66
1979	26.45	0.68	1969	0.81	0.68	0.68
2001	26.50	0.71	1985	0.83	0.71	0.71
1967	26.63	0.73	1984	0.88	0.73	0.73
1966	27.55	0.76	1966	0.89	0.76	0.76
1987	30.71	0.78	1976	1.27	0.78	0.78
1983	31.50	0.80	1997	1.49	0.80	0.80
1982	31.73	0.83	1995	1.60	0.83	0.83
1984	32.59	0.85	1993	2.36	0.85	0.85
1998	34.26	0.88	1982	2.47	0.88	0.88
1965	41.57	0.90	1998	3.84	0.90	0.90
1980	42.42	0.93	1979	7.95	0.93	0.93
1993	44.04	0.95	1983	8.67	0.95	0.95
1976	49.14	0.98	1978	11.27	0.98	0.98
1978	77.49	1.00	1980	14.54	1.00	1.00

La Subcuenca 5 (Tabla 73) presenta el régimen hidrológico más extremo entre todas las analizadas, con valores de precipitación que oscilan entre 4.21 mm/año (1989) y 77.49 mm/año (1978), lo que representa una variabilidad interanual superior al 1840%. Esta amplia gama de condiciones pluviométricas se refleja en los valores de DFA, donde los años 1989 y 1996 destacan como los periodos más secos, con precipitaciones inferiores a 5 mm y DFA <0.05. Estos valores, asociados a periodos de retorno mínimos (0.02 a 0.05 años), indican una recurrencia alarmantemente alta de eventos secos extremos, situación que se agrava al observar los correspondientes valores de gasto, que en estos mismos años del periodo de retorno apenas alcanzan 0.02 y 0.06 mm/año.

La relación entre precipitación y gasto en esta subcuenca revela un sistema hidrológico particularmente ineficiente. Mientras las precipitaciones muestran fluctuaciones dramáticas, los caudales se mantienen persistentemente bajos en la mayoría de los años, con más del 76% de los registros por debajo de 1.0 mm/año. Esta disociación se hace evidente al comparar años con precipitaciones similares, pero gastos notablemente distintos: por ejemplo, 1961 (7.75 mm/año, $Q=0.06$ mm³/año) *versus* 2000 (12.68 mm/año, $Q=0.15$ mm/año), donde un incremento del 63% en lluvia solo genera un aumento del 150% en caudal, demostrando una capacidad limitada para convertir la precipitación en caudal.

Los eventos de crecida (DFA >0.95) se concentran en los años 1983, 1978 y 1980, con precipitaciones máximas de 44.04, 49.14 y 42.42 mm respectivamente. Sin embargo, incluso en estas condiciones extremas, la relación precipitación-gasto muestra pérdidas hídricas significativas. El año 1978, con la precipitación más alta registrada, genera un gasto de apenas 11.27 mm, lo que representa solo el 14.5% del agua precipitada. Esta baja eficiencia de conversión sugiere la presencia de mecanismos de pérdida particularmente efectivos, posiblemente asociados a características geomorfológicas únicas de la subcuenca o a procesos intensivos de infiltración y evaporación.

Un análisis detallado de los percentiles extremos revela patrones preocupantes: mientras el 5% más seco de los años muestra precipitaciones inferiores a 5 mm/año, estos mismos periodos presentan caudales que apenas alcanzan el 0.04% del máximo histórico registrado. Esta desproporción evidencia la extrema vulnerabilidad del sistema ante condiciones de sequía, donde mínimas reducciones en la lluvia generan colapsos casi totales en la disponibilidad superficial de agua. Por el contrario, durante eventos extremadamente húmedos, la subcuenca es incapaz de aprovechar eficientemente los excedentes de lluvia.

La comparación temporal de los eventos extremos muestra otra particularidad interesante: los años de máxima precipitación (1976-1978) coinciden con el periodo donde comienzan a observarse los primeros gastos significativos (>10 mm³/año), sugiriendo la existencia de un umbral pluviométrico crítico alrededor de los 40 mm/año, por debajo del cual prácticamente no se genera escorrentía superficial apreciable. Este comportamiento podría explicarse por la combinación de factores como alta capacidad de almacenamiento edafológico, pendientes pronunciadas que favorecen la infiltración, o incluso extracción antrópica no contabilizada como es sabido pasa en todo el país.

7.3 Índices sequía-periodo húmedo propuestos

La aridez es una característica climática de una región y es una condición que persiste a lo largo del tiempo. La sequía es una condición temporal de falta de humedad ocasionada por precipitación insuficiente durante un periodo de semanas, meses o años.

Para definir los índices de sequía que se proponen a continuación, primero se analizó el grado de aridez de la región considerando la clasificación de las zonas secas definidas por la relación P/ETP presentada en la Tabla 74 (UNEP, 1992).

Tabla 74. Clasificación de zonas climáticas áridas y húmedas (UNEP, 1992).

Zona Climática	Relación P/PE
Húmeda	$0.65 \leq P/PE$
Subhúmeda Seca	$0.50 \leq P/PE < 0.65$
Semiárida	$0.20 \leq P/PE < 0.50$
Árida	$0.05 \leq P/PE < 0.20$
Hiperárida	$P/PE < 0.05$

Del análisis de aridez de la región del río Colorado y las 5 subcuencas, en la Tabla 75 se resumen los resultados de las Figuras 102-107, en donde se observa que la Subcuenca 4 continúa siendo la más homogénea a la región del río Colorado considerando los porcentajes de aridez y humedad, teniendo en promedio ambas cuencas para los periodos de tiempo analizados: 30.7% hiperárido, 14.5% árido, 25.5% semiárido, 15.3% húmedo y 13.8% semihúmedo. Los resultados permiten definir el umbral del percentil 30% para definir las sequías.

Tabla 75. Rango de percentiles de aridez y humedad en las cuencas (%).

Cuenca	rango de percentiles de aridez y humedad en las cuencas (%)				
	hiperárida	árida	semiárida	húmeda	semihúmeda
Río Colorado	0-31.2	31.3-47.2	47.3-74.8	74.9-89.9	90.0-100
S1	0-32.7	32.8-39.5	39.5-51.9	60.0-61.9	62.0-100
S2	0-29.2	29.2-37.6	37.7-53.9	54.0-66.8	66.9-100
S3	0-21.4	21.5-25.2	25.3-35.4	35.5-37.4	37.5-100
S4	0-30.2	30.3-43.0	43.1-66.8	66.9-82.5	82.5-100
S5	0-30.3	30.4-37.5	37.6-50.8	50.9-61.5	61.6-100

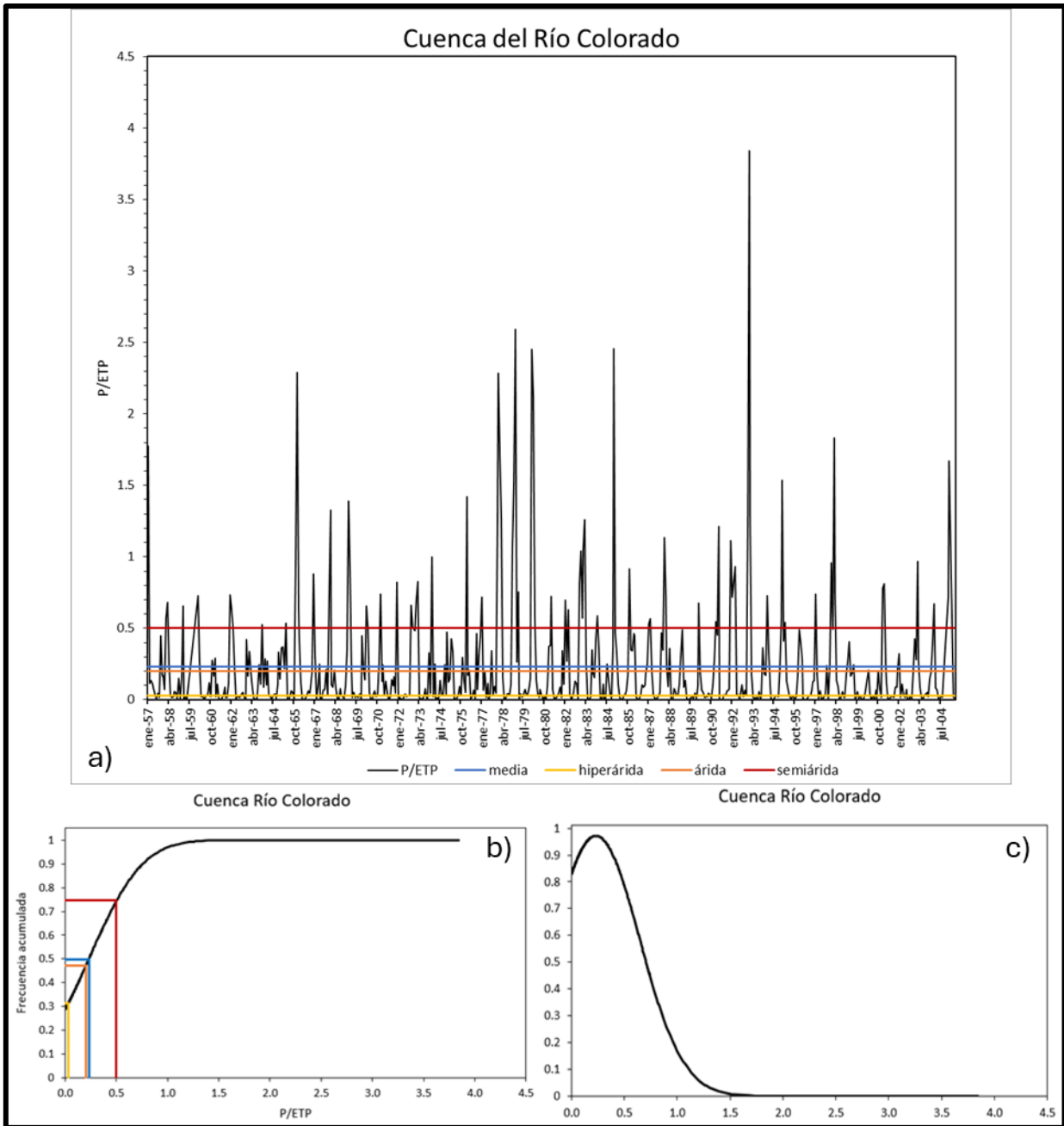


Figura 102. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la cuenca del río Colorado donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

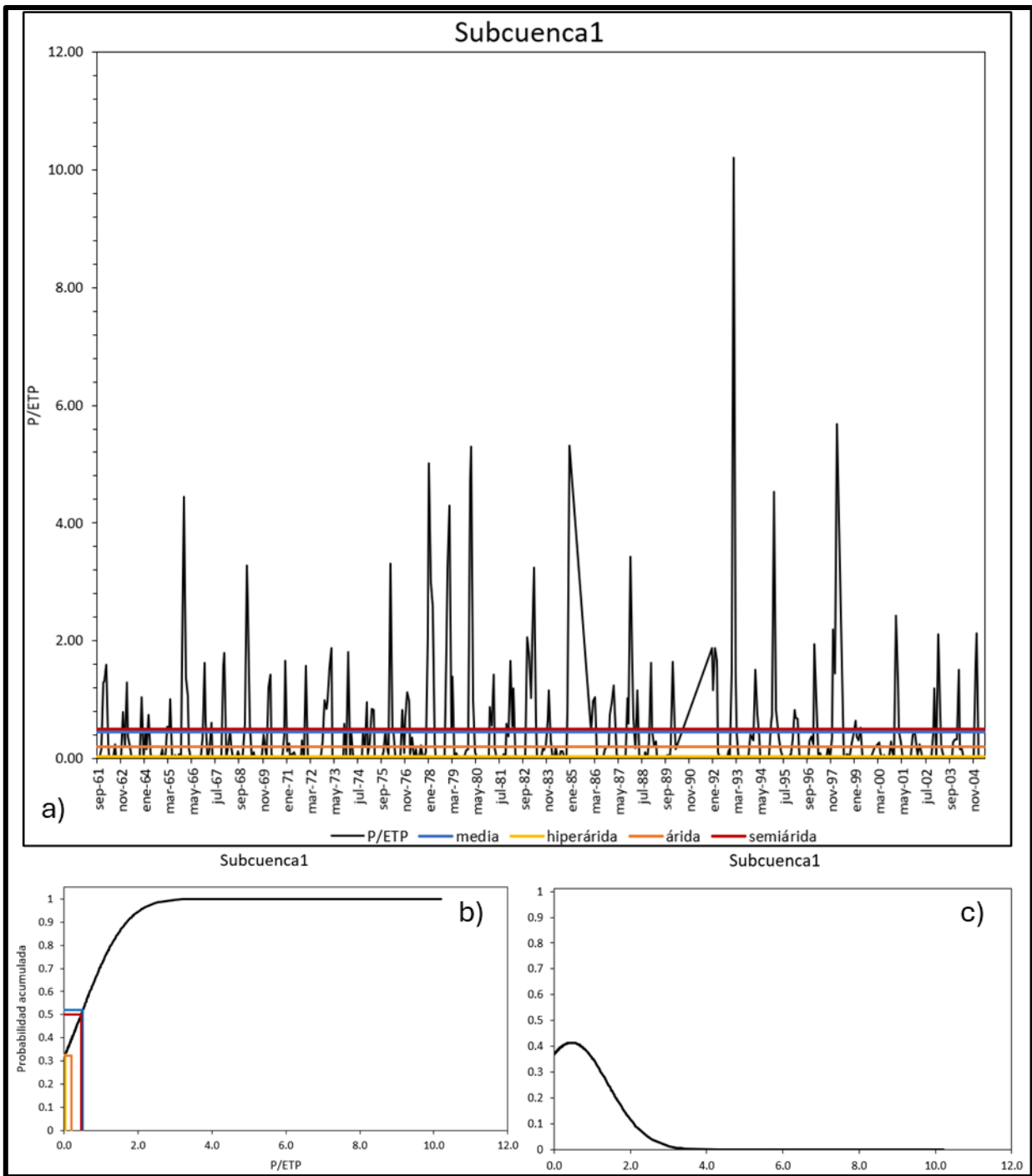


Figura 103. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 1 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

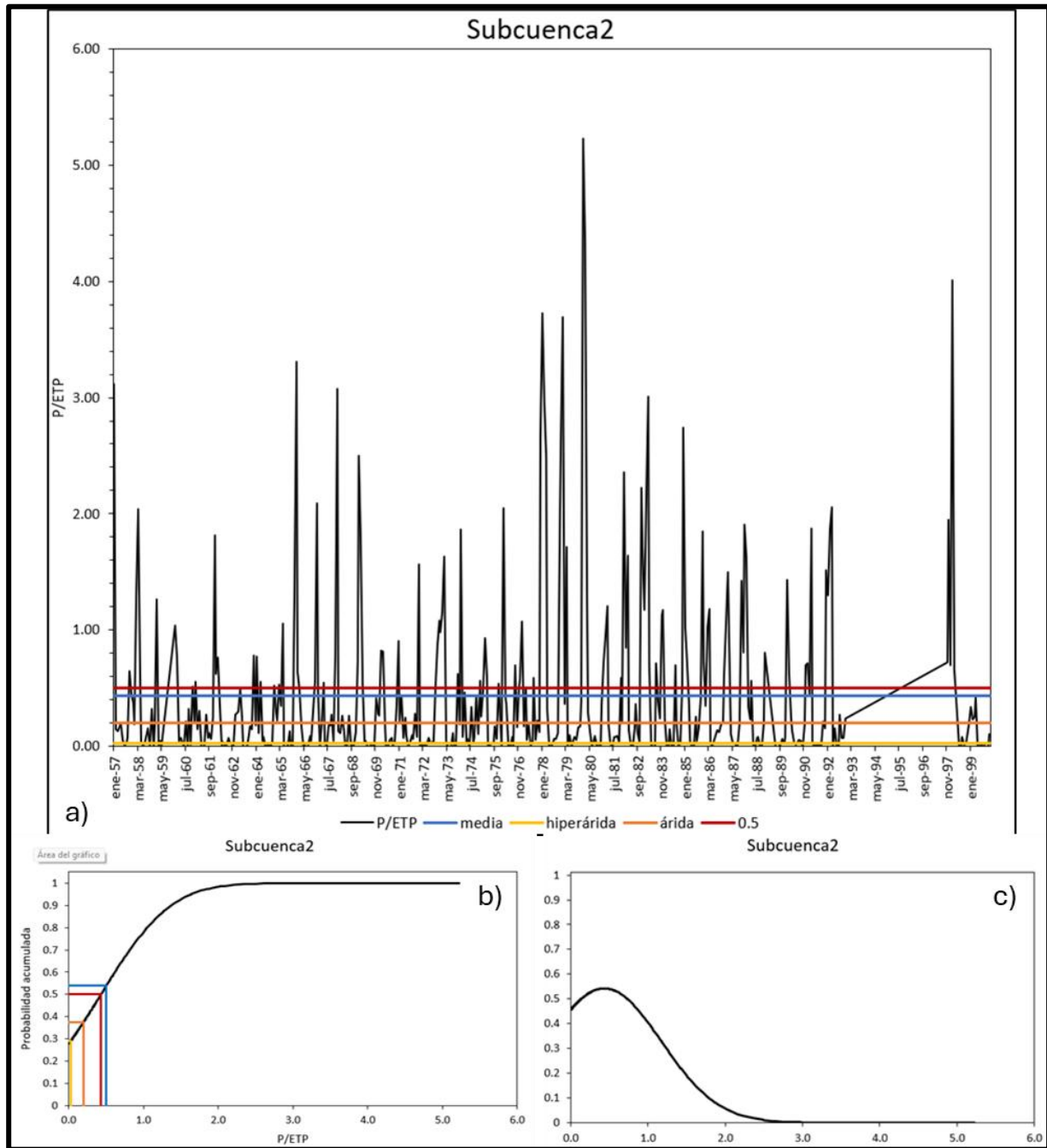


Figura 104. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 2 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

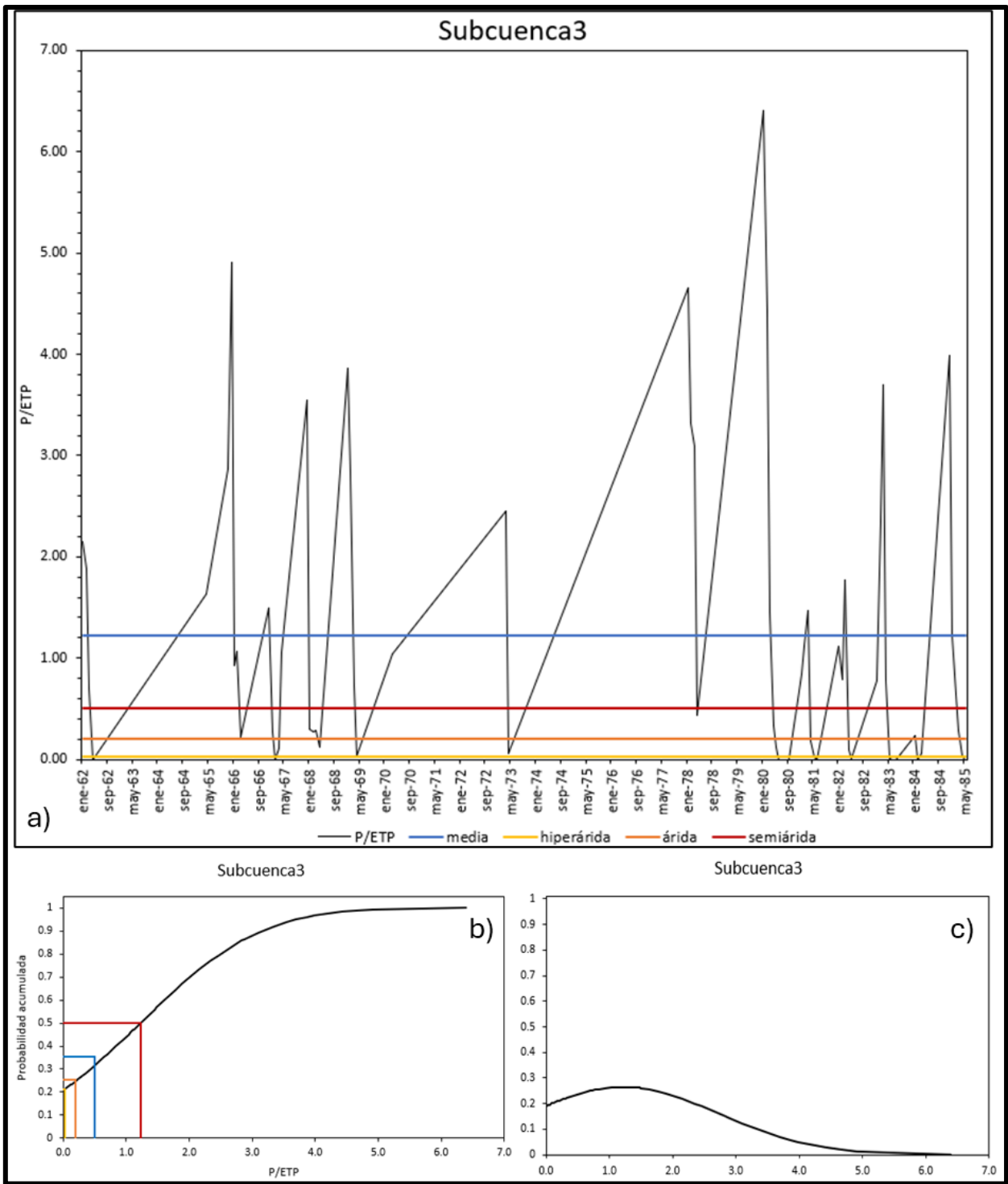


Figura 105. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 3 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

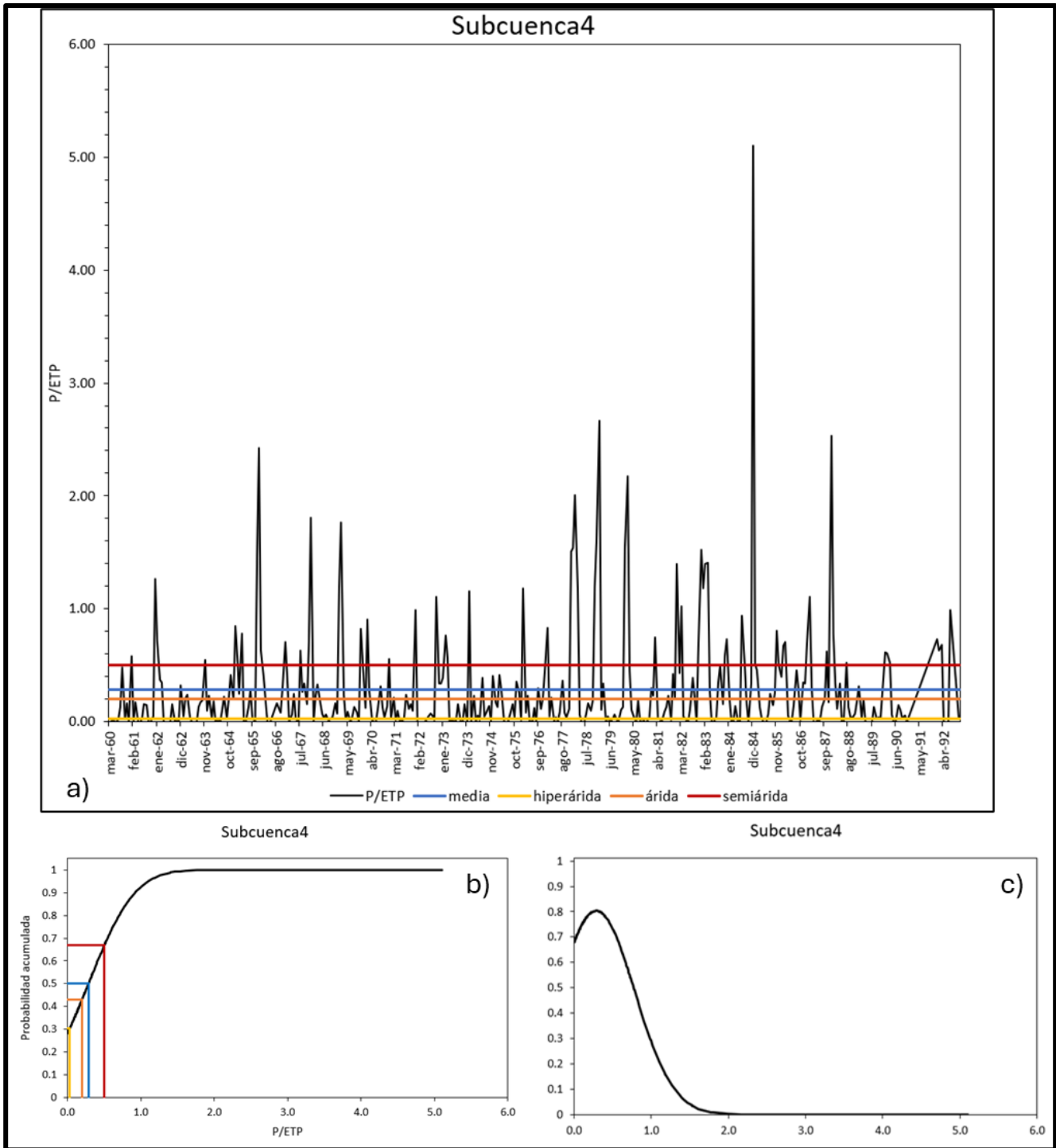


Figura 106. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 4 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

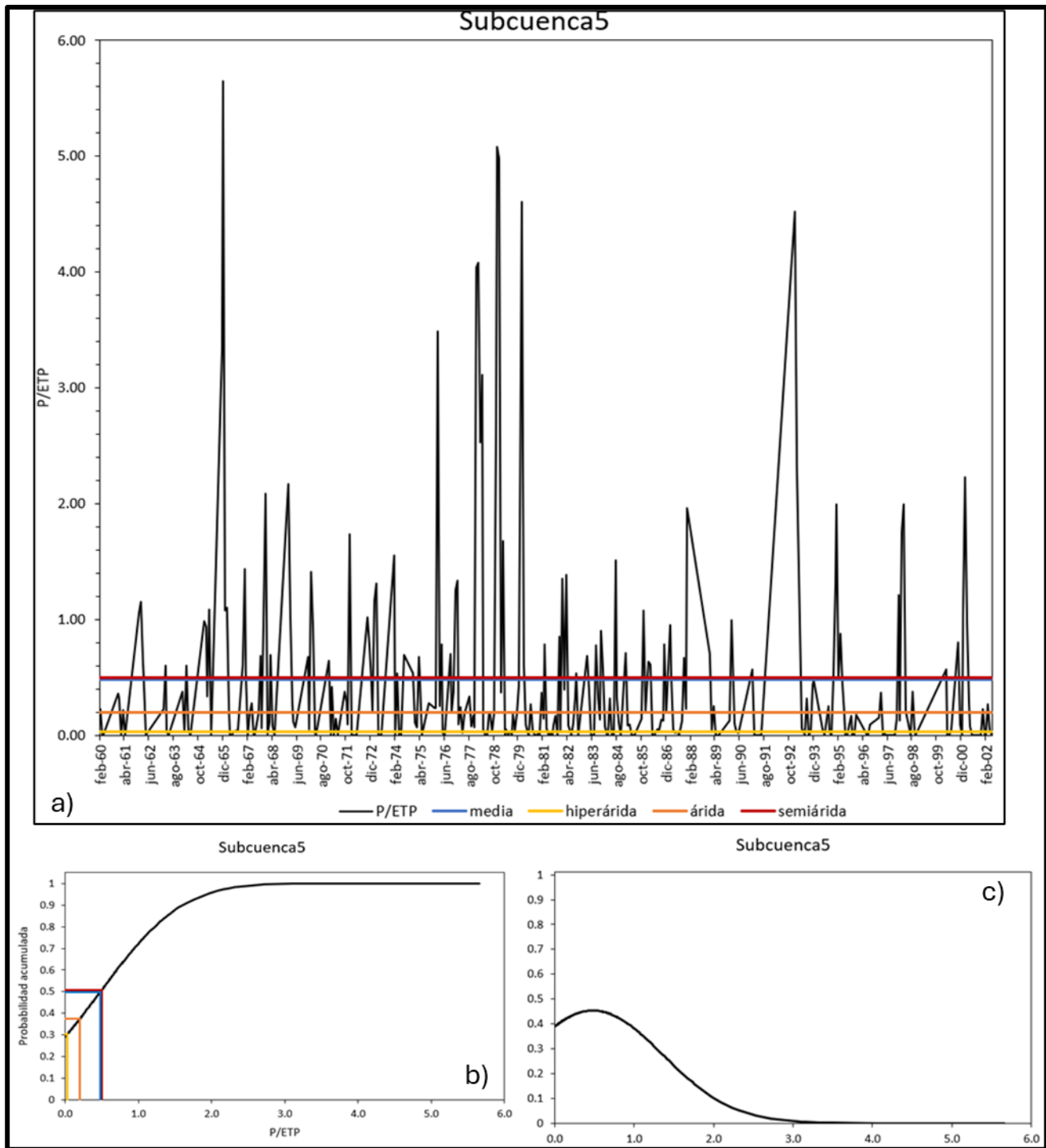


Figura 107. a) Serie de tiempo mensual P/ETP para la Subcuenca 5 donde se indican los umbrales que definen el índice de aridez; b) Frecuencia Acumulada de la serie; c) distribución Normal de la serie.

Después de identificar el umbral de las sequías como el percentil 30% dadas las condiciones de aridez de la región del río Colorado, se calcularon los índices de sequía SPI y SPEI, ambos índices son herramientas estadísticas que permiten evaluar la sequía y consideran diferentes variables. El Índice Estandarizado de Precipitación, SPI por sus siglas

en inglés, es un índice que analiza la precipitación. El Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración SPEI considera la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración. A continuación, se presentan los resultados de ambos índices para la cuenca del río Colorado y para la Subcuenca 4 que ha sido identificada regionalmente como la cuenca más homogénea a partir de la información disponible.

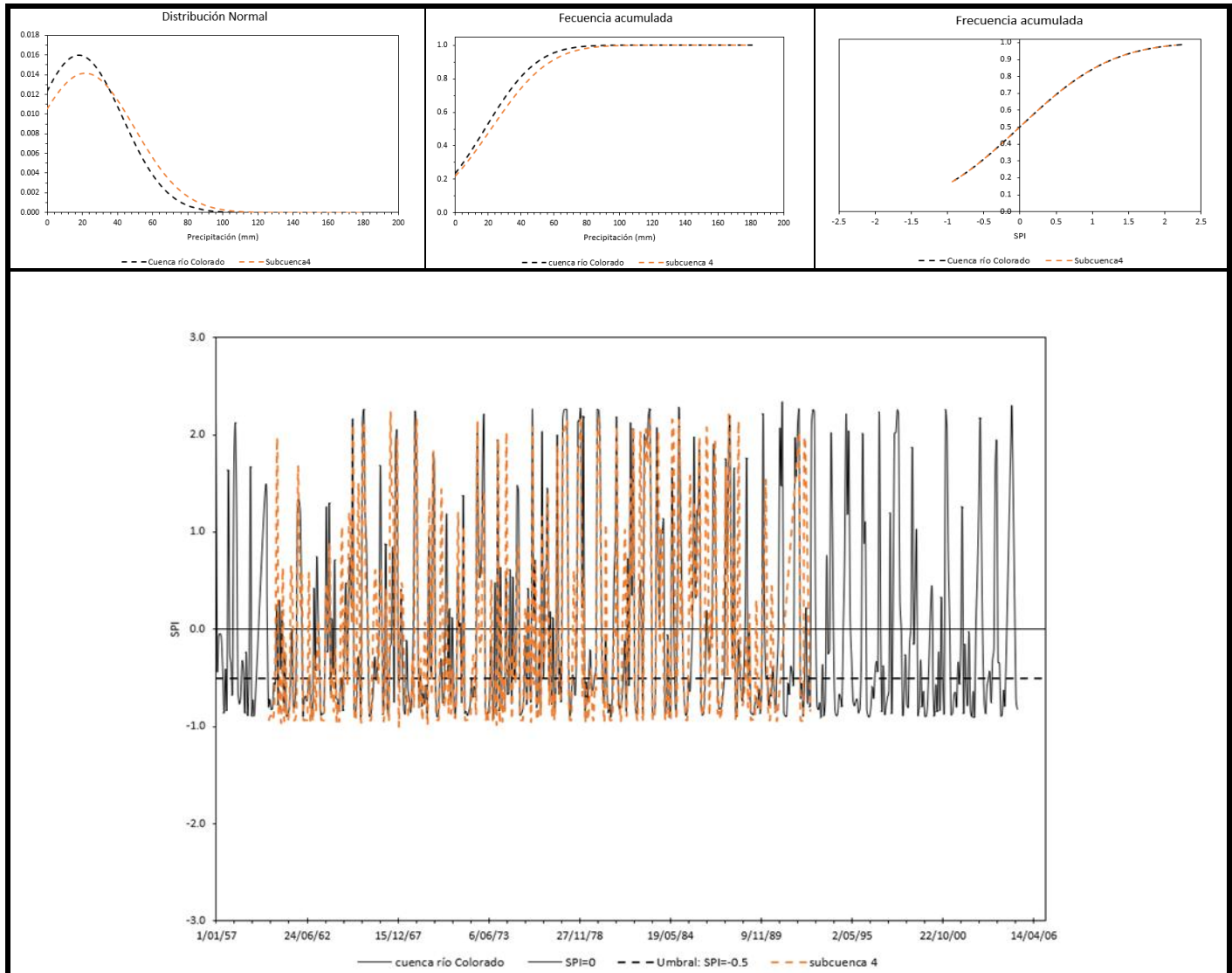


Figura 108. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del SPI y gráfica del SPI para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.

La Intensidad es el valor promedio del Índice durante el evento o periodo, y la Magnitud es valor acumulado del Índice durante el evento. Para el caso de la sequía meteorológica es con el SPI y SPEI, para la sequía hidrológica se proponen: Índice R e Índice Qobs.

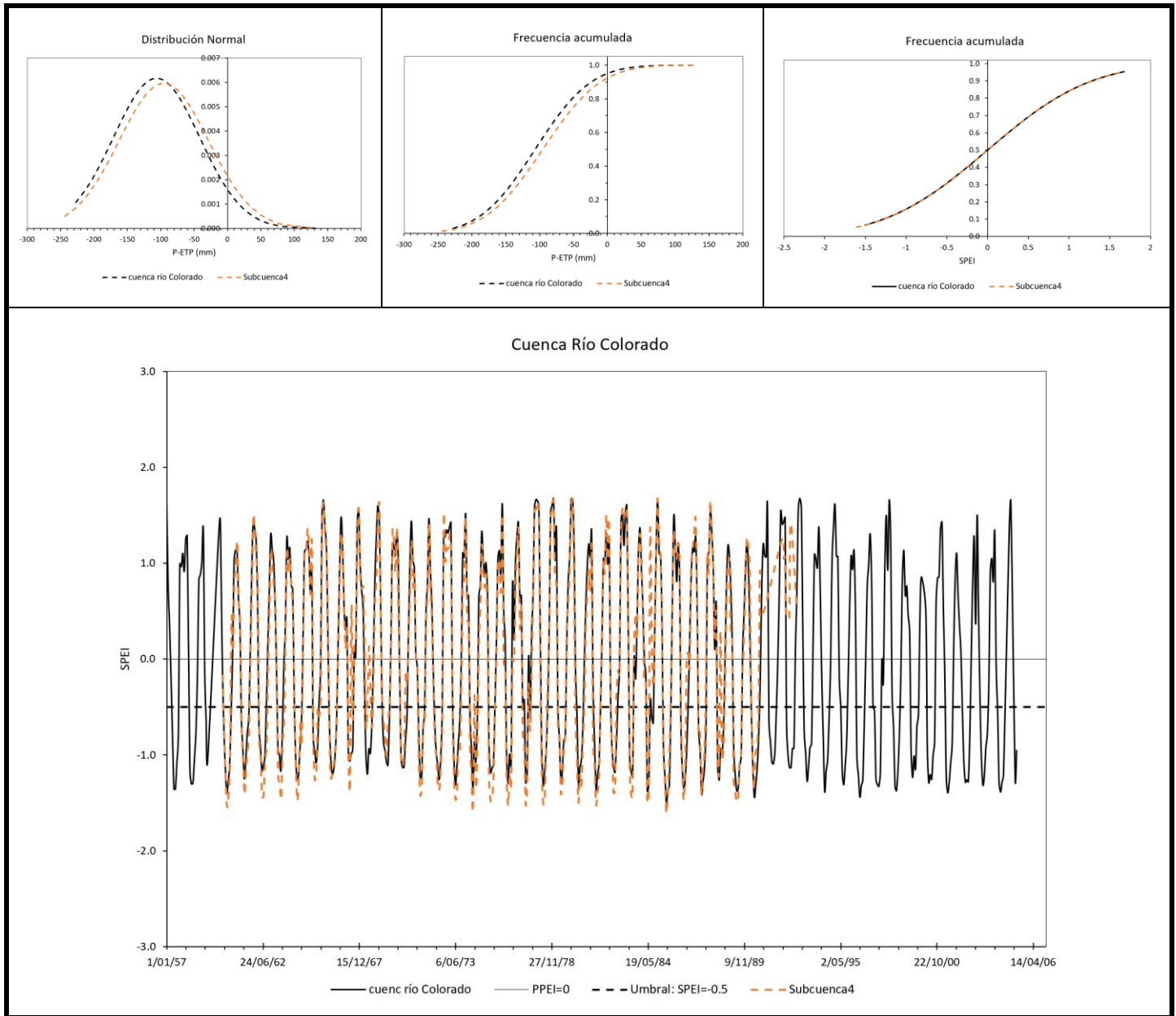


Figura 109. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del SPEI y gráfica del SPEI para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.

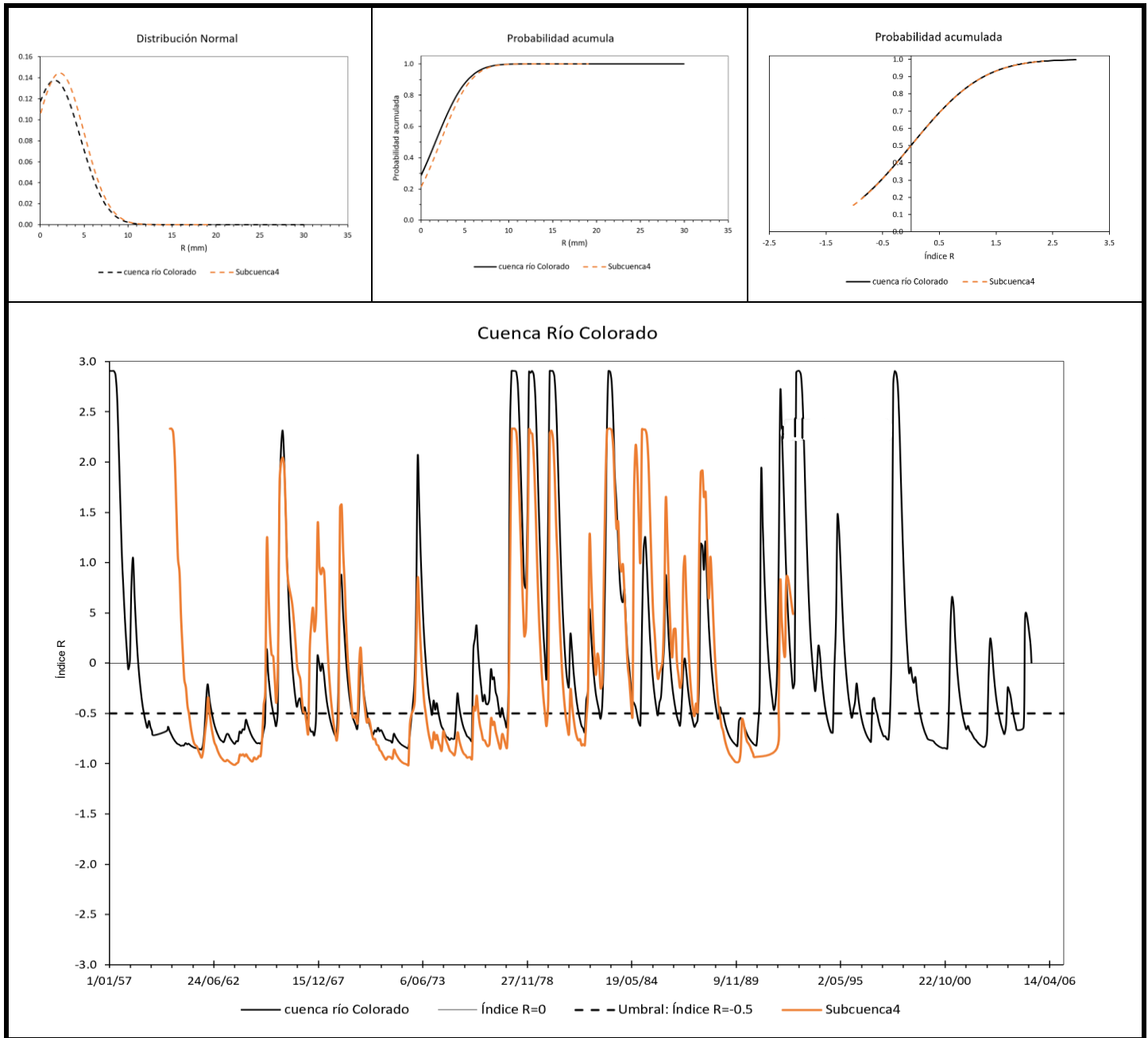


Figura 110. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del Índice R y gráfica del Índice R para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.

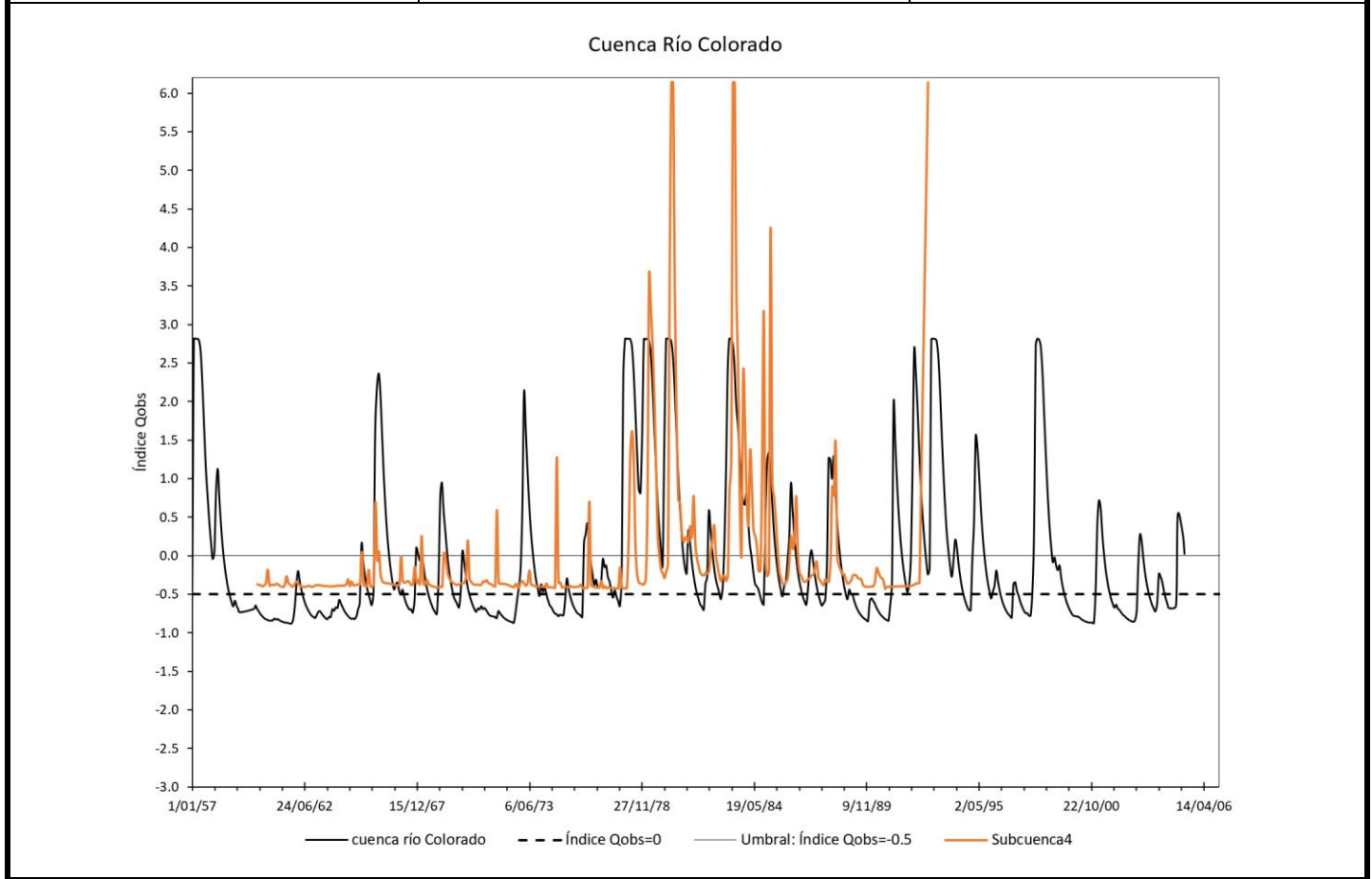
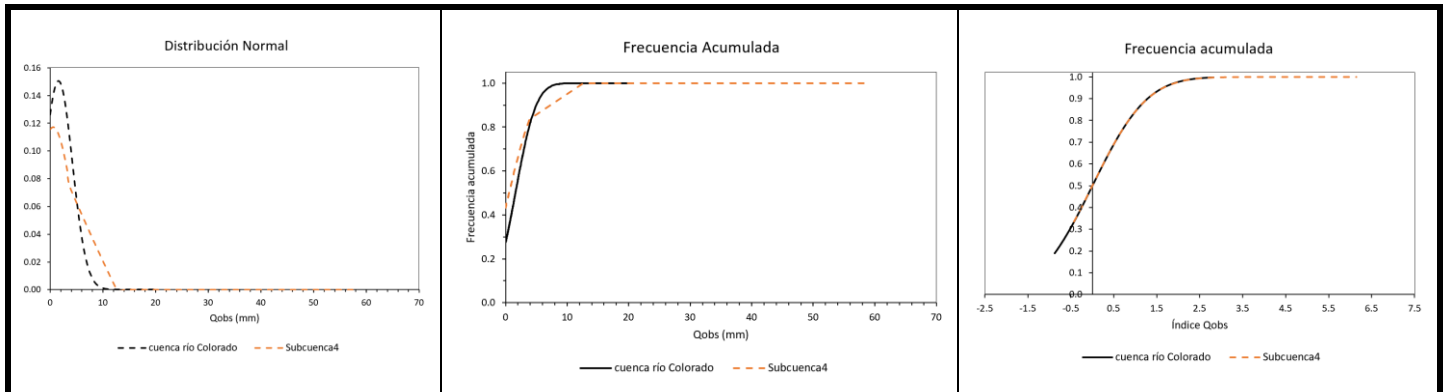


Figura 111. Distribución Normal y Frecuencia Acumulada de la precipitación, Frecuencia Acumulada del Índice Qobs y gráfica del Índice Qobs para identificar inicio-terminación, intensidad y magnitud de la sequía meteorológica, para las cuencas del río Colorado y la Subcuenca 4.

En la Tabla 76 se presentan la Intensidad y Magnitud de las sequías meteorológicas e hidrológicas.

Tabla 76. Intensidad y Magnitud de las sequías meteorológica e hidrológica para la cuenca del río Colorado y la Subcuenca 4, considerando SPI y SPEI para la meteorológica y los índices propuestos Índice R e Índice Qobs para la hidrológica.

Sequías Meteorológicas en la cuenca del río Colorado y Subcuenca 4													
SPI													
Año	Cuenca	Inicio	Fin	Duración (meses)	Intensidad	Magnitud	Año	Cuenca	Inicio	Fin	Duración (meses)	Intensidad	Magnitud
1960	Río Colorado	marzo	octubre	8	-0.719	-6.198	1975	Río Colorado	mayo	diciembre	8	-0.752	-4.513
	Subcuenca4	marzo	octubre	8	-0.885	-5.033		Subcuenca4	mayo	julio	3	-0.822	-4.112
1961	Río Colorado	febrero	octubre	9	-0.8	-5.597	1976	Río Colorado	enero	agosto	8	-0.754	-3.017
	Subcuenca4	febrero	noviembre	10	-0.883	-6.178		Subcuenca4	enero	agosto	8	-0.83	-4.15
1962	Río Colorado	abril	noviembre	8	-0.757	-5.301	1977	Río Colorado	febrero	noviembre	10	-0.692	-4.153
	Subcuenca4	abril	noviembre	8	-0.914	-6.4		Subcuenca4	febrero	noviembre	10	-0.748	-4.487
1963	Río Colorado	mayo	julio	3	-0.87	-2.609	1979	Río Colorado	abril	octubre	7	-0.716	-2.865
	Subcuenca4	abril	julio	4	-0.889	-3.556		Subcuenca4	febrero	diciembre	11	-0.755	-6.795
1964	Río Colorado	abril	septiembre	6	-0.697	-4.183	1980	Río Colorado	mayo	diciembre	8	-0.716	-5.009
	Subcuenca4	abril	septiembre	6	-0.845	-4.227		Subcuenca4	mayo	diciembre	8	-0.852	-5.965
1965	Río Colorado	mayo	octubre	6	-0.791	-4.749	1981	Río Colorado	abril	junio	3	-0.735	-3.674
	Subcuenca4	mayo	octubre	6	-0.877	-3.509		Subcuenca4	abril	junio	3	-0.851	-3.403
1966	Río Colorado	abril	septiembre	6	-0.733	-3.663	1982	Río Colorado	abril	junio	3	-0.77	-3.079
	Subcuenca4	abril	mayo	2	-0.933	-1.866		Subcuenca4	abril	junio	3	-0.847	-3.388
1967	Río Colorado	mayo	junio	2	-0.85	-1.699	1983	Río Colorado	mayo	julio	3	-0.828	-2.483
	Subcuenca4	mayo	junio	2	-0.845	-1.69		Subcuenca4	mayo	julio	3	-0.814	-2.443
1968	Río Colorado	enero	octubre	10	-0.682	-5.452	1984	Río Colorado	abril	junio	3	-0.813	-2.491
	Subcuenca4	enero	octubre	10	-0.788	-5.514		Subcuenca4	enero	junio	6	-0.861	-4.235
1969	Río Colorado	abril	octubre	7	-0.738	-4.429	1985	Río Colorado	abril	junio	3	-0.782	-3.129
	Subcuenca4	abril	julio	4	-0.821	-3.283		Subcuenca4	abril	junio	3	-0.884	-3.537
1970	Río Colorado	abril	octubre	7	-0.728	-4.365	1986	Río Colorado	abril	junio	3	-0.762	-3.047
	Subcuenca4	abril	junio	3	-0.835	-4.176		Subcuenca4	abril	junio	3	-0.797	-3.187
1971	Río Colorado	marzo	julio	5	-0.703	-3.516	1987	Río Colorado	abril	agosto	5	-0.724	-3.62
	Subcuenca4	enero	julio	7	-0.781	-4.688		Subcuenca4	abril	julio	4	-0.831	-3.325
1972	Río Colorado	enero	septiembre	9	-0.771	-6.17	1988	Río Colorado	mayo	octubre	6	-0.773	-3.092
	Subcuenca4	enero	junio	6	-0.863	-6.043		Subcuenca4	mayo	octubre	6	-0.778	-3.888
1973	Río Colorado	abril	diciembre	9	-0.792	-5.542	1989	Río Colorado	febrero	noviembre	10	-0.739	-7.387
	Subcuenca4	abril	diciembre	9	-0.907	-6.346		Subcuenca4	febrero	noviembre	10	-0.86	-6.88
1974	Río Colorado	febrero	noviembre	10	-0.758	-5.309	1990	Río Colorado	marzo	octubre	8	-0.682	-4.092
	Subcuenca4	febrero	junio	5	-0.82	-4.102		Subcuenca4	abril	noviembre	8	-0.82	-4.918

CONCLUSIONES

El análisis hidrológico integral de la Cuenca del Río Colorado en la parte mexicana permitió caracterizar a los regímenes de sequía y crecidas a través de la aplicación conjunta de modelos globales y métodos estadísticos. La implementación de los modelos GR2M y GR1A reveló una marcada estacionalidad en el comportamiento hídrico, con respuestas heterogéneas entre las subcuencas analizadas. Mientras la Subcuenca 2 presentó los mejores ajustes del modelo, las subcuencas 3 y 4 mostraron discrepancias significativas entre los caudales observados y simulados, reflejando la complejidad de los procesos hidrológicos en esta región semiárida.

La regionalización hidrológica, sustentada en el análisis de homogeneidad de series climáticas, demostró que la Subcuenca 4 presenta características estadísticamente homogéneas con la cuenca general del Río Colorado. Esta validación resulta crucial para la transferencia de información en una zona con una red de medición escasa, permitiendo extrapolar conclusiones hacia la porción mexicana de la cuenca donde desafortunadamente no existen estaciones hidrométricas.

El desarrollo de un índice basado en la relación P/ETP y su análisis mediante Distribuciones de Frecuencia Acumulada permitió establecer umbrales objetivos para la identificación de periodos extremos. Esta metodología evidenció el desfase temporal entre la sequía meteorológica, definida por el déficit de precipitación, y la hidrológica, manifestada en la reducción de caudales, particularmente durante los periodos 1968-1969, 1988-1990 y 1999-2002. Paralelamente, se identificaron los años 1978, 1980, 1983, 1993 y 1997 como los de mayor magnitud hídrica, con precipitaciones muy por encima de la media histórica.

La integración de distribuciones de probabilidad y el cálculo de periodos de retorno proporcionaron un marco cuantitativo para la evaluación del riesgo hídrico. Los límites de confianza asociados a estas distribuciones, particularmente para la Distribución Gumbel tipo I en precipitación y Gamma de 2 parámetros en gasto, ofrecen herramientas robustas para la planeación de infraestructura hídrica y la gestión de eventos extremos.

La recurrencia histórica permite anticipar que episodios de sequía severa similares a los de 1968-69, 1988-90 y 1999-2002 pueden repetirse con frecuencias asociadas a periodos de retorno determinados. Con los modelos calibrados, el umbral para los índices R y Qobs, se define -0.5 para identificar la sequía hidrológica, correspondiendo al percentil 30 de la distribución de frecuencia acumulada. La tendencia sugiere que la cuenca continuará

sometida a altos niveles de estrés hídrico, especialmente en la porción mexicana donde no hay estaciones de registro.

En conjunto, los resultados obtenidos contribuyen a llenar vacíos importantes en el diagnóstico del riesgo hídrico en la región como: la cuantificación de los periodos de retorno para eventos extremos (de hasta 10,000 años para el presente trabajo), la identificación de subcuencas homogéneas para la transferencia de información, y la calibración de modelos hidrológicos globales específicos para la parte mexicana de la cuenca, para la cual existe una notable carencia de estaciones de medición. La capacidad predictiva de los modelos, sumada al desarrollo de índices hidrometeorológicos, establece un precedente útil para futuras investigaciones orientadas a la planificación hídrica y la adaptación al cambio climático. Si bien se reconocen limitaciones estructurales, se sentaron algunas bases técnicas sólidas para fortalecer la toma de decisiones sobre el manejo de sequías y crecidas en el contexto binacional de la Cuenca del Río Colorado.

RECOMENDACIONES

De cara al escenario climático cambiante y a la complejidad hidrológica evidenciada en este trabajo, se sugiere consolidar estrategias de planificación hídrica que integren medidas de prevención, mitigación y adaptación. La variabilidad entre subcuencas observada a lo largo del estudio exige políticas diferenciadas que respondan a las particularidades físicas, ecológicas y sociales de cada zona. Este enfoque permitirá una administración más eficiente del recurso y evitará soluciones generalizadas que puedan resultar ineficaces o incluso contraproducentes.

Se recomienda priorizar el enfoque ecosistémico en la gestión del agua, mediante prácticas como la conservación de zonas de infiltración, protección de cuerpos de agua y restauración de áreas degradadas como lo es el Delta del Colorado. Estas acciones no solo reducen el impacto de eventos extremos, sino que también fortalecen la resiliencia natural de la cuenca ante presiones externas. La integración de infraestructura verde como herramienta de control hídrico puede actuar como complemento eficaz de la infraestructura tradicional.

Desde el punto de vista institucional, resulta urgente actualizar los instrumentos normativos y operativos que rigen la gestión del agua en la región. No se pueden seguir dando concesiones de agua a empresas nacionales o extranjeras, o, a privados mientras no se

disponga del recurso suficiente para cubrir las necesidades básicas de la población. Es necesario promover acuerdos binacionales más flexibles y transparentes que no solo garanticen volúmenes mínimos de entrega, sino que también consideren la calidad del agua, la sustentabilidad ecológica y la participación de comunidades locales. Esto implica abrir aún más canales de cooperación científica y técnica entre México y Estados Unidos para el intercambio de datos, tecnologías y estrategias conjuntas de adaptación.

Finalmente, se recomienda fomentar la educación hídrica y la participación ciudadana como ejes transversales en la implementación de políticas de mitigación. La concientización social sobre el uso racional del agua, la desaparición de los canales artificiales que desvían el recurso, la preparación ante eventos extremos y la vigilancia comunitaria pueden representar un punto de inflexión en la gestión del riesgo, al traducir el conocimiento técnico en acción colectiva informada y sostenible.

ANEXO 1. TABLAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

Tabla 77. Datos de precipitación media anual de las estaciones climatológicas.

Estaciones Año	Estación 2154	Estación 2020	Estación 26076	Estación 26037	Estación 2087	Estación 2137	Estación 2009	Estación 26227	Estación 2011	Estación 2163	Estación 2139	Estación 26086	Estación 26087	Estación 2007	Estación 2142	Estación 2145	Estación 2037	Estación 2003	Estación 2141	Estación 2134	Estación 2138	Estación 2034	Estación 2140	Estación 2033	Estación 2101	Estación 2093	Estación 2097	Estación 2072	
1957			10.56				5.45		3.08			6.70						5.95					9.20		9.19			26.38	
1958			2.56				1.00		2.50			2.53						2.19					4.50		4.43			23.28	
1959			6.66				2.50		4.19			3.86						2.72					16.60		4.17			13.19	
1960			1.97				2.00		2.25			3.14						0.73					2.80		3.49			15.91	
1961			2.91				1.82		0.00			7.35					1.16	9.63					6.20		5.12			13.82	
1962			3.34				2.08		0.00			2.66					1.90	18.29					6.20		5.56			15.82	
1963			2.70				2.88		0.00			7.12					11.44	14.34					6.50		6.35			18.67	
1964			1.88				0.27		0.00			1.36	1.30	2.65			3.00	18.59					1.30		1.53			13.84	
1965			3.56				9.58		0.00			4.50	9.68	10.33			11.01	17.54					9.20		7.02			37.12	
1966			1.82				2.83		0.00			1.79	1.29	2.28			6.54	6.75					4.90		3.41			15.89	
1967			11.47				5.13		0.00			0.54	54.38	9.76			5.19	13.55					9.10		8.93			18.63	
1968			3.09				2.67		0.00			1.42	8.65	0.83			3.91	10.58					1.20		3.82			7.74	
1969		8.18	10.47				7.69		0.82			4.09	8.65	7.85			8.50	6.63					8.70		7.47			23.98	
1970		2.17	2.43				5.93		2.70			1.58	7.40	6.28			3.33	3.36					3.20		4.00			15.02	
1971		4.46	6.53	1.25			4.56		5.61			3.67	7.64	7.01			1.61						3.80		2.23			12.35	
1972		14.19	13.60	4.66			12.62		13.75			0.00	19.52	3.66			6.62	8.87					10.00		8.38			11.97	
1973		2.65	4.24	2.14			5.74		3.13			1.50	5.22	3.17			2.50	2.42					8.50		3.71			22.88	
1974		5.16	6.10	2.00	13.87		5.00		3.08			1.82	4.33	1.20			2.03	3.14					5.90		4.30		0.50	17.18	
1975		3.20	2.61	4.33	0.56		0.81		1.50			0.91	2.93	0.58			1.93	2.54					4.00		5.97	0.00	14.40	6.60	17.87
1976		9.64	11.20	4.62			9.41		13.39			5.75	13.62	8.95			8.83	11.88					9.10		13.11	210.50	19.49	8.14	34.45
1977			5.56	5.86			5.89		4.93			5.33	6.01	0.00			15.96	5.42					7.20		12.87	13.64	21.24	8.50	19.01
1978			8.02	9.33			11.54		7.34			11.79	10.14				8.23	9.68					6.90		8.13	5.50	41.70	10.33	56.43
1979			8.57	7.33			9.65		10.29			9.96	13.08				11.40	7.21					11.80		8.78	0.00	26.93	8.00	26.28
1980			4.77	1.68			4.94	0.40	3.37			4.07	4.30				4.08	5.48					7.50		8.97	0.00	29.91	0.00	39.82
1981			32.84	2.82	2.00	2.20	3.11	8.06	5.42			4.13	4.01				4.13	4.35		1.13			5.90		3.81	0.00	19.31	4.27	23.66
1982	8.59	12.07	6.38	6.79	9.74	8.73	8.90	15.05	11.32		6.68	7.86	10.19		11.88	3.09	8.38	10.78	6.85	6.14	0.00	12.30	11.56	16.30	1.82	34.54	14.10	26.39	
1983	11.33	28.55	10.14	7.25	13.29	12.53	12.11	6.71	13.13	13.23		6.96	12.04		10.75	11.44	5.75	10.97	10.38	11.00	0.73	17.00	2.42	10.38	12.55	40.99	9.55	49.06	
1984	9.17	9.16	6.51	8.32	0.38	2.80	5.88	5.03	4.23			5.83	7.43		4.36	6.05	9.53	8.50		4.54	9.11	8.60	4.42	6.97	20.68	6.30	17.37		
1985	3.05	4.82	3.40	0.29	3.40	1.70	4.06	3.32	4.05			0.13	1.55		3.31	3.58	4.44	4.65		2.81	3.46	4.50	4.11	6.54	19.24	5.25	18.00		
1986	2.88	2.78	3.25	0.94	2.22	3.18	4.08	1.56	1.56		3.14	2.42	2.37	4.90	4.08	3.42	4.23	4.60		4.60	5.68	5.00	0.08	7.03	7.20	16.84	5.00	18.15	
1987	2.33	6.92	2.46	3.05	3.76	11.08	2.35	1.79	2.37			2.83	3.58		5.42	0.67	3.34	3.18		1.31	6.78	3.40	0.00	4.33	0.43	24.23	2.70	36.18	
1988	3.09	5.00	0.96		4.36	3.65	3.13	3.13	3.41			0.67	3.41		0.33	2.08	2.28	2.74			1.33	4.00		4.61	0.08	14.90	16.95		
1989	0.42	4.70	0.17		1.40	2.93	1.29	1.29	2.50			3.67			2.68	2.00	2.00	4.78				1.51	2.10	2.14	0.00	6.04	0.00	8.44	
1990	0.98	1.27	0.23		2.32	3.42	0.00	2.14	0.00			0.38	2.08	4.15	3.75		3.75					1.35	4.10	4.06	0.50	12.49	0.00	17.28	
1991	10.56	10.86	2.53		5.91		5.91		0.00			3.60	0.05	5.67	6.46		6.46					6.67	7.50	7.51	0.17	29.96		26.93	
1992		42.25	2.28		11.80		13.33	7.19				3.98	3.09	12.04	11.92		6.77	22.20				24.26	0.05	35.23			32.76		
1993			1.50		9.92		0.88	1.62				6.67	0.99	11.51	5.50		7.20	8.90				7.20	8.90	9.92	0.40	46.11		31.13	
1994			4.00		0.17		0.69	5.55				5.90	1.11	5.93	10.81		6.78	5.90				6.78	5.90	5.93	3.00	15.28		20.33	
1995		8.33	3.57		3.09		0.13	4.81				4.98	2.53	1.81	8.21								4.40		4.35	0.17	21.05		29.15
1996	0.39	2.47	0.00		1.91		1.37	0.50	0.83			0.96	1.76	0.00	1.50								1.40		1.35	0.00	11.81		14.81
1997	1.31	18.69	1.75		11.82		4.51	1.63	7.47			8.73	0.26	6.29	5.28							2.50	10.50	10.48	12.50	22.80		20.16	
1998	5.03	8.89	9.38		8.12		1.65	1.91	0.56			3.60	1.92	4.18	1.13								3.60		3.63	5.21	22.83		38.19
1999	1.80	0.50	1.43		0.35	4.55		3.70	3.72	1.88	1.83						19.25	2.72				3.60		3.58	1.56	8.49		10.83	
2000	3.33	1.33	5.42		20.63		2.39		3.17	1.77				1.23			2.10	2.03				0.80	6.00	0.74	2.08	5.94		13.19	
2001	8.63	5.83	6.71		1.50		5.04	4.45	3.25	4.58			1.11		12.08	3.40	8.03	6.21				2.10	22.23	2.04	22.90	15.26		23.39	
2002	0.92	1.08	0.17		0.00		0.42	0.27	0.32	0.29			0.00		1.29	5.02	0.10	1.13				0.50	6.25	0.52	0.52	4.68		10.43	
2003	1.44	2.00	2.46		5.83		19.09	2.54	1.75	2.46			2.86		3.24	0.00	4.67	5.04					2.90		2.88			10.75	
2004	8.81	5.71	7.42		9.54		7.12	6.52	6.99	4.21			5.52		6.56	4.46		6.58					7.50		7.52			17.20	33.36
2005	11.40	3.54	3.13		5.04		15.55	5.04	4.28	6.28			7.10		11.92	6.83		8.91					11.10		11.11			14.05	19.36
2006	0.00	1.08	1.25		2.08		2.25	1.12	1.51	0.67			5.73		3.45	8.67		1.13					0.60		0.57			11.22	12.28
2007	4.18	1.75	3.42		1.71		0.28	2.58	3.00	0.71			2.29		5.68	2.76		3.40					3.90		3.91			10.69	7.66
2008	7.83	7.42	5.09		3.42		6.39	7.23	4.95	2.45			1.60		4.53	2.25		5.82					7.70		7.73			12.38	
2009	0.42	0.00	0.50		1.18		0.46	0.71	0.78	0.50					0.65	6.41		1.21					0.80		0.78			7.44	
2010	7.21	6.54	0.00		10.88		7.43	10.38	1.27	7.50					10.03	1.17		8.90					10.20		10.18			34.27	
2011	1.83	1.25			1.80			4.98	1.67	2.92					2.74	12.86		3.92					11.50		11.53			18.43	
2012	6.63	4.03					9.11	0.63	3.09						1.02	3.50		5.39					3.40		3.41			11.27	
2013	7.58	6.67			2.30		4.45	7.11	4.08						6.35	3.71		1.80				9.90	8.90			0.80		11.35	
2014	0																												

Estaciones	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación	
Año	2010	2062	2164	2086	2031	2152	2121	2019	2024	2114	2004	2119	2069	2124	2136	2030	2078	2070	2156	2038	2068	2073	2017	2143	2042	2077	2005	2036
1957					13.58			44.42					20.34			27.22				22.32	29.46				4.00	24.28	30.07	
1958					9.33			41.75					21.83			15.92				18.12	21.28				7.16	17.12	29.85	
1959					8.50			21.67					12.29			8.74				11.46	13.38				1.67	8.07	9.83	
1960					4.75			33.06					14.29							12.15	22.29				4.46	13.73	13.28	
1961					2.48								4.96			11.99				8.12	8.00				9.92	6.99	11.13	
1962					1.42								12.13			27.44				14.73	16.35				11.13	13.14	20.02	
1963					2.03								15.50			27.28				15.34	17.19				18.38	11.21	19.46	
1964					9.62						35.80		10.31			22.33				11.67	11.50				7.00	11.73	13.04	
1965					16.00						45.48		25.22			38.54				34.96	35.50				14.04	36.30	42.54	
1966					6.25						9.31		13.03			23.92				12.18	20.73				10.83	24.65	20.12	
1967					14.50						23.58		13.62			33.92				26.15	24.63				8.46	26.03	20.35	
1968					8.29						12.10		4.37			21.58				8.12	13.96				3.00	12.28	10.15	
1969	35.38	26.56			14.19						37.93		14.40			38.50				17.27	22.51	26.36	19.58		7.18	32.00	29.52	
1970	10.28	31.11			7.88				100.10				25.26			16.03			33.45	16.34	19.15	20.40	19.37		3.92	23.38	18.45	
1971	8.42	23.19			7.71			28.63					22.45			10.33				16.67	9.66	10.38	14.63	12.86		22.07	17.29	
1972	15.72	22.04			10.92			22.22	16.22				18.97			10.13				15.77	13.68	10.45	11.50	11.54	3.91	15.03	14.08	
1973	10.63	25.43		0.60	11.38			32.69	22.64				18.59			34.43				21.40	15.26	19.48	18.21	16.82		25.04	25.71	
1974	17.68	19.87			12.83			27.93	16.68				11.37			20.96				14.87	21.53	17.84	12.16	25.10	14.94	13.84	17.73	17.04
1975	6.55	13.12			15.60	8.68		39.20	16.78				19.22			13.04				6.79	20.73	16.26	16.54	0.83	15.87		18.69	19.79
1976	12.09	30.63			27.74	14.13			20.53				35.38			20.22				34.28	31.38	29.26	28.17	28.38		32.33	35.71	
1977	10.49	23.68			23.75	19.42			26.59				29.55			18.60				25.03	23.25	34.10	38.70	21.98		21.92	24.50	
1978	33.16	56.96			43.35	26.43	6.10		53.97				65.97			41.19				60.11	38.06	37.21		41.65		59.08	66.76	
1979	14.89	47.09			19.27	15.58			19.95				25.16	12.50	32.08	20.58				24.91	16.93	17.81		20.33		17.28	25.11	
1980	12.25				42.53	26.29			54.84			128.00	125.18	58.07	3.00	36.48	35.60			45.55	29.75	29.29	1.40	25.45		54.15	52.23	
1981	21.09	0.70			16.54	3.70			20.73				4.67	24.42	22.48	15.49	19.62			25.92	15.35	21.28	23.03	17.92		22.86	23.66	
1982		2.50	57.70		42.09	25.49	38.76	44.19					46.42	34.65	42.10	23.29	30.47			31.47	25.31	21.24	20.49	26.53		33.46	35.55	
1983			41.46		40.91	34.34	67.03	62.92					67.57	62.17	55.23	49.47	32.32			45.16	36.78	66.46		29.52	42.64	61.32	54.28	
1984					12.98	27.57	25.08	23.05					3.94	18.16	16.56	13.46	17.38			16.18	18.06	21.29				20.96	14.69	
1985					25.17	15.85	32.72	23.91					37.00	20.89	19.94	16.08	28.73			17.03	21.70					26.49	26.38	
1986					26.13	10.48	32.23	20.20					36.40	24.16	25.75	14.74	17.79			23.61	21.44			24.72		24.63	17.68	
1987					19.08	23.43	46.32	29.62					7.60	36.83	41.18	29.17	35.33			28.51	33.35			10.70		29.75	41.95	
1988					17.80	15.88	13.47	20.07					16.48	28.41	16.63	16.20				18.55	32.20			15.42		24.01		
1989					6.62	15.97	1.33	8.48					1.87	8.00	5.30	4.13	6.91			11.00	5.69	5.33				6.88		
1990					12.19		18.75	20.21					3.17	19.47	16.87	14.73	14.32				8.52	13.82					16.41	
1991					60.08		23.73	30.41					13.67	46.79	31.49	30.63	27.27				26.31	26.66					44.36	
1992					4.33			40.51					40.33	49.85	38.53	26.71	24.93				19.68	27.27						
1993					5.83			43.18					14.95	8.28	53.38	43.06	3.24				20.60	39.22						38.30
1994							26.58	26.51					19.38	22.88		19.32	18.95				17.87	18.01					18.36	
1995						12.44		6.08	38.55				32.19	40.60	30.14	23.55	28.41				14.96	30.54					61.82	
1996						11.25		22.00	17.24			12.68	13.86	20.13	28.75	9.12	11.33				11.42	13.35					17.68	
1997								21.43					20.71	10.25	29.88		21.14	19.02			32.59	21.33					5.19	
1998								26.64					41.41	42.79	48.88		39.08	35.93			50.52	35.59					79.83	
1999			0.00					15.26					12.06	11.75	21.45		10.70	12.26			10.49	11.61					26.64	
2000			18.92					15.86					12.31	11.68	14.52		7.51	10.11				11.45	11.76		17.23	17.23	14.29	
2001			23.07					20.58					17.72	10.83	22.23		18.83	19.09				22.38	24.02				22.13	22.13
2002			12.40					14.13					9.15	6.21	6.25		8.92	10.93				9.32	8.15			11.93	11.93	
2003			12.21					22.64					21.06	16.96	5.21		15.83	18.89				19.53	18.29			26.60	26.60	
2004			56.22	17.15	19.10	38.64	29.38					24.24	30.88	26.75		18.71	29.66	33.83			31.38	35.87			36.79	36.79	0.00	
2005			18.98	18.98	12.46	23.33	23.94					8.20	20.00			14.02	18.13	30.73			16.40	18.46			22.73	22.73		
2006			17.88	8.91	6.92	16.20	9.51					7.19	12.00			10.08	12.34				11.93	12.69			14.51	14.51	25.25	
2007			12.88	7.58		10.00	14.80					6.06	8.29	7.59		10.57	12.03	10.20			11.83	12.48			11.73	12.41	15.21	
2008			22.77	13.56	3.86	22.00	23.57					14.93	22.95	29.37		19.64	23.28	40.87			24.03	29.33			31.43	31.43	19.30	
2009			20.17	10.29	11.08	11.43	13.93					13.21	18.58	16.98		10.82	11.46	0.96			12.13	15.42			18.10	10.83		
2010			43.17	34.89	23.43	40.95	47.32					34.67	51.46	39.29		30.22	31.46	24.18			33.34	36.06			47.72	34.38		
2011			29.39	18.55	25.17	30.14	32.05					28.05	27.13	29.46		22.73	24.32	41.90			23.45	23.98	13.43		31.98	29.29		
2012			21.13	15.46	12.81	1.40	20.82					16.32	18.80			3.70	19.77	29.77			14.49	14.06			21.02	20.15		
2013			20.42	17.48	17.79	15.74	20.70					13.39	17.65	19.96		0.43	11.24	23.85			10.41	10.95			16.15	23.19		
2014			12.67	25.34	11.59	7.25	19.91					9.45	12.92	10.27			14.38	0.00			11.06	12.08			13.88	11.36		
2015			23.10	11.22	20.54	10.25	27.98					13.67	24.53	26.96		17.90	20.70				24.04	19.95		13.00		18.83	17.34	
2016			38.86	21.24	14.47	27.78	30.17					17.86	29.92			29.46	25.58				24.70	27.68			35.48	39.85		
2017			40.7																									

Tabla 78. Datos de Precipitación Media Mensual Anual.

Año	Precipitación Media Mensual Anual												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	93.56	8.73	13.85	14.43	13.64	8.24	0.78	8.64	1.97	43.67	11.34	9.48	19.03
1958	4.66	43.83	63.47	35.69	4.83	2.50	3.73	10.04	8.21	0.82	11.41	0.22	15.78
1959	9.65	44.56	0.44	3.26	0.53	1.32	2.72	7.87	8.95	7.19	1.60	39.85	10.66
1960	39.85	19.36	2.05	3.34	1.40	1.67	6.32	5.99	18.79	2.35	19.47	8.66	10.77
1961	17.80	1.44	10.88	0.06	0.32	1.47	5.87	14.86	1.86	1.81	7.87	35.76	8.33
1962	36.92	34.47	20.84	0.38	3.24	4.02	3.02	5.88	7.26	1.58	0.13	21.39	11.59
1963	8.45	26.27	17.95	9.64	0.31	0.70	0.62	10.89	35.47	11.46	36.14	4.80	13.56
1964	16.64	7.99	25.95	3.68	3.41	1.28	5.42	6.97	1.36	12.44	22.20	7.35	9.56
1965	20.34	26.24	19.65	66.23	0.05	0.45	3.84	10.63	6.89	0.29	64.42	105.21	27.02
1966	34.45	27.98	12.83	0.12	0.25	2.33	5.57	10.65	6.78	9.62	14.20	44.93	14.14
1967	18.37	0.72	9.84	28.52	1.29	0.56	12.02	13.02	27.99	3.03	50.89	58.06	18.69
1968	6.02	7.01	21.28	10.22	1.51	0.63	13.27	5.18	3.37	0.94	6.88	17.55	7.82
1969	76.74	57.53	20.68	2.11	8.07	2.18	4.46	2.63	5.85	0.56	29.83	10.79	18.45
1970	7.82	48.39	46.41	6.03	0.03	0.29	6.63	10.21	2.69	3.02	17.32	33.84	15.22
1971	7.59	18.19	3.12	16.81	7.07	0.13	4.17	24.24	14.53	15.96	3.36	37.76	12.74
1972	0.70	1.08	0.23	1.01	2.40	7.18	3.77	5.68	3.97	60.19	32.29	23.19	11.81
1973	25.39	46.97	67.89	2.01	0.70	0.68	3.71	13.29	4.22	0.10	22.31	2.51	15.81
1974	53.78	1.53	24.81	1.75	2.00	1.71	24.17	4.32	4.45	24.35	2.53	23.15	14.05
1975	7.20	10.23	39.83	38.41	0.33	0.52	1.37	4.42	14.06	2.52	21.37	6.91	12.26
1976	3.26	99.84	17.19	25.72	2.01	3.88	12.09	1.64	57.89	7.72	23.68	24.75	23.31
1977	38.58	5.57	17.78	2.43	16.83	1.17	5.14	56.04	4.87	10.00	3.60	67.39	19.12
1978	113.36	112.66	112.53	17.85	0.10	2.03	7.61	6.98	4.16	11.47	64.90	65.86	43.29
1979	124.54	18.39	69.73	0.47	6.40	2.92	8.11	11.69	4.86	5.21	7.48	8.69	22.37
1980	132.36	156.22	54.18	18.32	5.97	2.84	14.13	5.22	0.90	2.43	0.10	5.97	33.22
1981	22.44	29.72	67.22	9.57	1.47	2.26	3.77	8.36	13.10	1.34	26.18	6.27	15.97
1982	63.17	20.33	59.04	5.97	0.76	1.75	10.05	22.56	16.86	0.99	55.93	52.75	25.85
1983	52.32	73.24	112.75	29.57	0.49	0.50	2.98	58.05	27.60	16.53	30.31	30.37	36.22
1984	32.87	0.64	0.77	14.12	0.02	0.55	43.50	22.68	6.18	1.19	22.53	93.78	19.90
1985	40.31	23.13	10.14	2.77	0.30	0.76	7.38	4.78	10.00	17.49	55.14	20.10	16.03
1986	34.56	35.10	48.03	2.79	0.31	0.78	6.14	17.82	12.53	10.86	13.92	13.64	16.37
1987	50.63	41.67	20.81	6.44	1.63	1.54	2.04	4.41	7.97	46.54	23.89	51.27	21.57
1988	67.73	17.51	10.90	44.15	1.08	0.10	13.06	9.32	5.03	3.07	8.20	17.19	16.45
1989	47.04	7.11	15.61	0.92	0.55	0.44	2.43	3.81	1.81	5.17	0.72	6.26	7.66
1990	75.24	14.53	6.95	7.52	2.24	4.35	3.96	8.88	5.22	1.06	8.54	14.56	12.75
1991	57.34	39.95	105.98	0.86	0.13	0.10	6.13	4.37	9.00	8.16	6.08	53.24	24.28
1992	42.05	63.81	90.08	3.79	6.18	0.09	6.32	18.30	3.00	7.50	2.48	60.58	25.35
1993	180.67	81.77	17.88	2.20	1.32	2.64	0.13	9.41	0.25	3.07	26.65	11.17	28.10
1994	11.67	54.46	35.22	12.84	1.39	0.18	0.52	4.24	3.55	2.19	15.36	26.58	14.02
1995	75.18	33.96	57.06	17.26	10.80	3.33	2.12	3.05	3.39	0.77	1.64	10.27	18.24
1996	55.78	28.83	32.28	1.54	0.09	0.03	2.02	5.59	3.54	8.12	9.97	8.39	13.01
1997	80.08	14.44	1.08	9.16	0.56	2.16	3.78	4.85	34.22	1.03	19.02	56.88	18.94
1998	57.21	128.55	76.63	19.94	14.93	0.52	3.22	10.97	2.43	1.86	13.11	15.86	28.77
1999	50.78	13.49	19.80	30.60	0.35	1.93	10.18	2.15	4.74	0.19	0.00	2.27	11.37
2000	36.21	40.79	21.81	4.85	0.14	5.96	1.16	11.48	1.41	20.01	5.42	1.05	12.52
2001	81.07	59.76	27.12	15.88	0.39	0.54	3.93	4.65	2.02	9.80	6.15	12.50	18.65
2002	35.30	1.45	12.65	5.20	2.50	14.60	1.21	0.07	4.80	0.29	15.70	23.52	9.78
2003	35.40	67.98	29.98	12.57	3.04	0.69	5.50	6.96	8.13	2.83	10.23	12.12	16.29
2004	44.11	52.45	9.79	9.67	0.13	0.40	5.01	2.38	1.09	95.13	14.57	48.05	23.57
2005	91.34	68.57	17.06	3.31	1.47	0.15	6.99	16.25	1.68	9.14	1.02	0.30	18.11
2006	38.36	5.40	36.78	13.44	8.11	0.80	4.94	2.27	7.88	1.52	1.67	9.23	10.87
2007	48.24	22.81	5.14	6.65	1.32	0.00	3.42	2.58	5.30	0.67	28.82	17.43	11.86
2008	100.62	26.13	7.58	0.46	3.99	0.04	1.64	14.31	4.25	0.31	25.28	40.51	18.76
2009	37.00	41.41	0.43	4.04	0.05	0.34	0.40	0.95	1.23	0.16	7.87	41.66	11.30
2010	164.58	51.19	24.58	19.66	0.10	0.00	0.86	2.62	4.50	36.33	11.85	44.93	30.10
2011	41.87	61.99	25.75	10.56	5.35	0.11	15.74	3.52	3.69	5.98	46.41	32.20	21.10
2012	45.93	20.92	26.76	22.45	0.11	0.00	5.77	8.35	14.46	3.35	4.35	38.19	15.89
2013	78.95	20.26	21.34	2.64	3.86	0.02	7.72	20.99	10.21	9.74	9.04	12.61	16.45
2014	38.65	13.38	10.93	4.03	0.22	0.00	3.04	9.14	7.44	8.13	3.24	44.43	11.89
2015	53.48	15.14	27.33	3.53	23.03	11.28	7.18	4.21	7.93	6.41	12.66	29.25	16.78
2016	107.36	3.23	14.23	19.13	7.45	0.04	1.27	2.37	16.33	1.28	12.59	68.65	21.16
2017	113.41	63.02	6.42	0.18	13.31	0.07	2.98	3.78	8.19	0.19	3.29	2.35	18.10
2018	66.44	16.40	10.33	0.12	1.53	0.74	7.54	4.94	4.97	11.61	16.79	37.72	14.93
2019	70.39	78.14	14.13	2.48	14.77	0.32	2.79	0.58	8.19	0.15	74.27	56.39	26.88
2020	43.79	19.28	75.29	32.77	0.81	0.54	0.49	1.16	0.32	0.71	6.01	8.15	15.78

Tabla 79. Temperatura Media Mensual Anual.

Año	Temperatura Media Mensual Anual													Media
	TEMP MED MENS													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1957	12.38	15.18	15.3	16.66	19.61	24.18	26.43	25.61	23.51	18.38	14.53	15.71	18.96	
1958	13.71	14.48	13.67	18.01	21.61	22.93	25.39	25.39	23.91	21.41	16.06	15.63	19.35	
1959	13.29	12.14	16.37	18.62	19.26	23.7	26.47	25.06	22.56	19.77	16.98	14.83	19.09	
1960	10.81	12.49	15.6	17.56	19.63	24.02	25.93	25.23	24.17	18.54	14.11	12.58	18.39	
1961	13.03	13.55	13.91	16.82	17.85	22.35	24.62	23.82	21.15	18.07	13.65	12.75	17.63	
1962	11.54	11.79	12.18	17.13	17.36	20.27	23.01	24.06	21.91	17.93	14.91	13.27	17.11	
1963	10.96	15.08	13.34	15.1	18.48	19.97	23.73	23.36	23.5	19.62	15.13	14.62	17.74	
1964	11.27	12.48	12.71	15.24	18.04	20.96	24.42	23.16	21.32	20.09	13.42	13.14	17.19	
1965	12.38	12.15	12.95	15.8	17.27	18.99	23.12	23.85	20.85	19.82	15.02	12.56	17.06	
1966	10.36	11.1	14.85	17.32	19.46	21.64	24.3	25.05	22.63	19.0	15.34	13.22	17.86	
1967	12.08	13.43	14.04	13.47	18.29	19.83	25.31	25.88	22.6	19.64	15.84	10.98	17.62	
1968	11.43	14.31	14.52	16.23	18.94	20.89	23.23	23.02	22.2	18.69	14.83	11.31	17.47	
1969	12.1	10.94	13.39	16.81	19.18	20.74	24.52	26.22	23.05	16.79	14.78	12.36	17.57	
1970	11.4	13.3	13.45	14.16	19.14	21.48	25.45	25.32	21.47	17.44	14.44	11.88	17.41	
1971	11.06	12.19	14.06	14.87	17.21	21.27	25.53	25.85	22.52	16.48	12.61	10.62	17.02	
1972	10.48	13.36	15.98	16.91	19.0	22.45	26.09	24.61	21.31	17.29	12.72	11.73	17.66	
1973	9.88	11.81	11.33	14.93	19.36	22.49	24.35	23.9	20.67	18.0	13.52	12.8	16.92	
1974	10.58	11.7	13.55	15.78	18.16	23.0	24.37	23.64	22.82	17.85	14.06	11.24	17.23	
1975	11.38	11.2	12.1	13.15	17.88	21.48	24.29	24.55	22.97	17.32	14.0	12.32	16.89	
1976	12.23	12.75	13.19	14.79	18.74	21.62	23.7	23.14	21.32	18.49	15.6	12.78	17.36	
1977	11.46	13.28	11.55	15.72	16.3	22.31	25.04	24.53	22.2	19.46	15.68	14.27	17.65	
1978	12.07	12.4	14.23	14.68	18.09	23.3	24.8	23.64	22.05	19.6	12.72	10.84	17.37	
1979	9.8	11.04	12.83	15.61	17.75	22.14	23.93	23.39	23.75	17.99	13.63	13.57	17.12	
1980	12.6	13.85	12.92	15.8	16.44	21.04	24.75	24.21	21.47	18.76	15.21	14.62	17.64	
1981	13.21	14.03	13.76	16.71	18.75	23.85	25.59	25.39	22.89	16.98	15.29	13.93	18.36	
1982	11.37	13.37	13.72	16.36	18.25	20.29	24.72	25.11	22.58	18.07	13.22	11.98	17.42	
1983	12.49	12.85	13.73	14.5	18.7	21.04	24.46	25.18	24.31	19.07	14.49	13.31	17.84	
1984	12.51	12.9	15.15	16.28	21.22	22.53	25.79	25.28	24.61	16.96	13.07	11.62	18.16	
1985	10.58	11.78	13.22	17.97	19.65	23.59	26.09	25.34	21.16	18.49	13.5	13.0	17.86	
1986	14.15	13.73	15.78	17.45	19.73	23.12	24.56	25.8	20.33	17.66	15.23	12.9	18.37	
1987	11.08	12.69	14.48	18.45	19.66	23.1	24.13	24.89	23.46	20.58	14.56	11.64	18.23	
1988	12.3	14.11	15.26	16.86	19.59	21.72	25.76	24.74	22.96	20.43	14.87	12.83	18.45	
1989	11.28	13.17	16.21	19.37	19.91	22.76	24.88	24.02	22.98	18.85	16.25	14.55	18.69	
1990	11.99	12.32	14.89	18.18	19.88	24.21	26.46	25.24	24.19	20.68	16.04	12.86	18.91	
1991	12.51	15.4	12.81	16.2	18.22	20.77	23.45	24.18	23.4	21.08	16.3	13.13	18.12	
1992	12.74	14.67	15.12	19.85	21.49	23.16	25.08	26.89	24.76	20.04	15.35	13.0	19.35	
1993	13.0	13.72	15.85	18.03	19.72	21.63	22.98	24.33	22.99	19.76	15.67	13.86	18.46	
1994	13.3	13.24	15.61	17.45	19.12	23.53	24.9	26.78	24.24	19.15	13.4	12.7	18.62	
1995	12.74	15.84	15.78	16.72	18.6	22.02	25.43	26.75	24.41	19.83	16.87	14.29	19.11	
1996	13.47	14.89	16.08	19.13	21.51	23.94	26.33	26.91	23.53	18.75	15.47	14.57	19.55	
1997	13.28	13.83	17.06	18.02	22.43	22.46	24.49	26.67	24.94	19.91	15.99	16.69	19.65	
1998	12.93	12.96	14.79	15.99	18.6	22.03	25.73	27.04	23.02	18.65	14.77	12.77	18.27	
1999	13.31	13.36	13.34	15.56	19.05	21.91	25.31	24.9	22.99	21.17	16.33	14.51	18.48	
2000	13.88	14.22	14.93	19.19	21.48	23.79	25.46	26.37	23.86	18.03	13.39	14.73	19.11	
2001	11.77	12.64	15.65	16.83	21.74	24.42	25.48	25.46	23.84	19.84	15.66	12.91	18.85	
2002	12.25	14.15	14.91	17.72	18.95	23.03	25.13	25.14	24.11	18.6	16.9	13.65	18.71	
2003	15.04	14.4	15.74	16.62	20.06	22.92	26.34	26.64	24.8	21.42	15.1	14.16	19.44	
2004	12.77	13.3	17.45	18.36	21.27	22.65	25.46	25.05	23.52	17.62	13.63	13.5	18.71	
2005	12.95	13.45	15.13	17.01	20.59	22.59	25.92	25.9	22.72	19.1	16.05	14.13	18.79	
2006	12.76	13.91	13.43	17.09	21.15	25.19	28.17	25.81	23.87	19.07	16.35	13.62	19.2	
2007	11.49	13.84	16.28	17.65	20.75	23.24	26.12	26.49	23.35	19.55	15.84	12.42	18.92	
2008	11.42	12.99	15.26	17.6	19.48	24.09	26.08	25.99	24.33	20.84	17.44	16.51	19.34	
2009	14.14	13.4	14.75	17.35	21.21	21.78	26.23	25.59	24.63	18.9	15.66	12.68	18.86	
2010	12.79	13.35	14.77	16.27	18.8	22.6	25.31	25.54	23.34	18.47	14.27	13.87	18.28	
2011	12.43	11.65	14.68	17.03	18.01	21.64	25.11	25.78	23.67	19.44	14.11	11.41	17.91	
2012	13.35	12.9	14.12	16.67	19.96	22.89	25.3	27.11	25.49	20.34	16.78	14.76	19.14	
2013	11.74	12.85	16.33	17.87	20.86	23.78	25.98	24.93	24.01	18.37	15.7	13.6	18.84	
2014	15.09	15.56	16.66	18.66	21.22	23.72	26.55	26.19	25.88	21.57	16.91	14.46	20.21	
2015	14.58	16.97	18.3	18.62	19.21	24.29	25.42	27.4	26.22	22.49	15.29	12.98	20.15	
2016	12.93	16.72	16.6	19.12	19.85	24.82	27.06	26.32	23.32	20.9	17.23	14.81	19.98	
2017	12.7	14.79	17.25	19.8	20.59	25.11	27.17	26.87	24.27	21.52	18.32	15.88	20.36	
2018	15.29	14.43	15.71	18.8	19.54	23.49	27.41	27.59	24.45	19.6	16.34	13.7	19.7	
2019	12.9	12.29	15.62	18.96	18.87	23.33	26.47	26.74	24.28	19.94	16.58	13.54	19.13	
2020	13.12	14.07	14.89	18.8	22.76	24.16	27.11	28.4	26.45	22.23	16.4	14.49	20.24	

Tabla 80. Temperatura Máxima Media Mensual.

Temperatura Máxima Media Mensual Anual													
TEMP MAX MENS													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	18.63	22.56	23.05	23.95	26.73	33.42	35.66	34.19	32.88	26.53	22.45	23.26	26.94
1958	21.97	21.7	20.42	25.27	30.12	31.47	34.37	33.86	33.34	30.97	25.06	24.84	27.78
1959	21.9	18.75	25.14	26.77	27.37	32.81	34.61	33.81	31.89	29.36	26.85	21.82	27.59
1960	17.92	19.48	23.99	25.91	27.67	32.95	34.82	33.6	33.15	27.7	22.66	19.73	26.63
1961	21.05	21.46	21.66	24.92	25.47	30.61	32.19	31.81	30.13	27.78	22.45	19.47	25.75
1962	19.52	18.69	19.28	25.71	25.28	28.62	31.53	32.93	30.6	27.15	23.87	20.48	25.3
1963	17.7	23.02	21.32	22.25	26.58	27.54	32.47	31.23	32.28	28.21	23.53	23.02	25.76
1964	19.39	20.14	20.49	22.85	26.52	29.92	33.31	31.64	30.5	29.6	21.6	19.95	25.49
1965	19.65	19.73	19.95	22.8	24.97	26.43	31.6	32.67	29.38	30.07	22.8	18.82	24.91
1966	17.8	18.16	23.06	25.17	27.31	29.87	32.72	33.28	31.43	28.02	23.58	20.35	25.9
1967	20.17	22.13	22.57	20.25	26.68	27.99	32.95	34.31	29.91	29.14	24.04	17.0	25.6
1968	18.95	21.74	22.09	23.57	26.77	29.51	31.66	31.12	31.03	28.21	23.59	18.78	25.58
1969	19.06	17.16	20.69	23.92	26.75	27.19	32.09	34.22	31.54	25.77	22.26	19.51	25.01
1970	19.01	20.89	20.66	21.37	27.2	29.08	33.31	32.87	30.59	26.0	23.34	18.39	25.23
1971	18.98	19.68	22.52	22.5	24.27	29.28	33.44	33.11	31.64	24.76	21.49	16.59	24.86
1972	18.96	21.89	24.89	25.4	26.76	29.93	34.56	32.45	29.8	24.31	20.41	17.98	25.61
1973	17.1	18.26	17.39	22.31	27.21	31.12	32.48	32.44	30.11	28.38	21.85	20.54	24.93
1974	17.56	20.05	20.93	23.89	26.1	31.95	32.2	32.43	31.11	25.92	22.54	18.16	25.24
1975	19.24	18.96	19.4	19.46	25.36	29.2	32.06	33.28	31.79	26.18	23.12	19.53	24.8
1976	20.83	19.08	20.79	21.55	26.54	30.79	31.41	32.0	27.63	26.92	24.17	20.43	25.18
1977	17.82	22.21	18.73	23.76	22.86	30.58	33.38	31.68	30.61	27.65	24.78	20.86	25.41
1978	17.63	18.16	20.16	20.78	26.09	31.78	33.02	31.51	29.9	28.22	19.9	16.85	24.5
1979	15.04	17.61	19.03	22.9	24.94	30.19	32.29	30.86	32.71	26.92	22.3	21.39	24.68
1980	18.4	20.07	19.03	22.51	22.55	29.96	32.84	31.83	29.63	27.32	23.82	22.05	25.0
1981	20.54	21.43	20.16	23.67	25.36	32.29	33.19	33.66	31.14	24.99	23.69	21.23	25.95
1982	40.51	20.24	19.92	23.85	25.34	27.54	32.73	32.87	30.22	27.48	20.68	17.88	26.61
1983	40.73	19.1	19.72	20.71	26.44	28.32	32.68	32.07	31.91	27.12	22.13	19.33	26.69
1984	41.64	20.93	23.5	23.59	30.41	30.5	32.75	32.3	32.74	25.09	21.1	16.45	27.58
1985	43.02	19.12	20.1	25.84	27.42	32.69	34.63	34.9	29.44	26.88	20.94	19.96	27.91
1986	44.31	20.91	23.45	25.36	27.91	31.61	32.68	34.11	28.83	26.43	23.8	19.93	28.28
1987	46.09	19.82	21.48	26.41	27.23	31.17	32.04	32.97	32.6	28.86	22.37	17.68	28.23
1988	52.69	21.75	23.61	24.09	27.73	30.4	34.02	32.81	31.57	29.59	23.32	19.74	29.28
1989	51.19	20.58	24.57	26.96	27.9	31.08	33.31	31.86	32.54	27.39	25.4	21.98	29.56
1990	54.27	19.04	22.61	25.28	28.49	33.05	34.88	33.18	32.47	30.19	25.37	19.1	29.83
1991	52.72	23.28	19.36	23.26	26.07	28.41	30.93	31.84	31.7	30.12	24.97	19.04	28.48
1992	19.53	21.79	21.56	27.09	27.65	30.89	33.51	35.23	34.19	28.94	23.82	18.36	26.88
1993	18.39	19.19	22.84	25.81	27.37	29.93	30.31	32.2	31.42	28.46	23.91	20.86	25.89
1994	21.15	19.62	22.86	24.66	26.15	31.91	32.86	34.16	32.46	27.89	21.1	19.04	26.16
1995	18.74	22.61	23.06	24.28	24.96	29.12	33.81	34.86	33.19	28.71	26.08	21.18	26.72
1996	58.11	21.9	23.89	27.38	29.61	33.01	34.66	34.71	32.1	27.91	24.34	21.74	30.78
1997	53.77	20.99	26.34	25.32	31.05	30.57	33.75	34.87	33.48	28.76	24.6	19.44	30.24
1998	56.17	19.0	21.86	23.31	25.48	29.6	34.21	35.78	31.61	28.11	24.05	19.63	29.07
1999	58.22	20.96	20.96	22.35	26.34	29.48	32.63	33.34	31.36	31.57	26.2	21.81	29.6
2000	54.47	21.38	22.42	26.86	29.5	32.04	33.48	34.17	32.61	26.2	21.32	22.33	29.73
2001	49.95	19.28	22.24	23.24	29.39	32.71	33.33	33.88	32.35	29.24	23.83	19.96	29.12
2002	51.62	22.65	22.66	24.41	27.27	31.28	33.01	33.78	32.92	27.22	25.18	20.41	29.37
2003	56.61	20.44	23.15	23.21	27.74	30.21	34.3	34.37	33.28	31.13	22.97	21.36	29.9
2004	54.53	19.92	25.27	25.29	29.41	30.46	33.38	33.56	32.82	25.87	21.12	19.37	29.25
2005	52.49	18.73	22.02	24.79	28.32	30.62	34.66	34.52	32.56	28.24	25.24	22.02	29.52
2006	57.08	22.33	20.15	23.52	28.97	34.0	36.36	34.58	33.19	27.83	25.98	20.78	30.4
2007	56.04	20.79	24.53	24.54	28.26	32.11	34.47	35.22	31.64	28.83	24.77	18.35	29.96
2008	51.77	19.75	24.01	25.89	27.21	33.26	34.47	34.29	33.39	30.92	26.1	18.69	29.98
2009	55.54	20.29	22.83	24.18	30.03	29.42	35.09	35.0	34.36	28.34	25.29	18.37	29.9
2010	54.49	19.41	22.21	23.26	26.65	30.85	33.6	34.53	33.65	26.6	22.67	20.33	29.02
2011	55.65	18.26	22.01	24.73	25.79	30.17	33.15	34.56	32.47	28.47	21.78	17.58	28.72
2012	61.8	19.81	21.7	23.63	28.15	31.03	33.04	34.71	33.77	29.24	24.9	19.78	30.13
2013	54.23	18.82	24.14	25.06	28.33	32.41	33.81	33.37	32.59	26.58	23.48	20.46	29.44
2014	59.19	23.29	24.31	25.74	29.46	31.99	34.05	34.1	33.92	30.19	24.95	20.07	30.94
2015	59.13	24.34	26.36	26.06	25.33	32.33	32.48	34.98	34.13	30.19	23.75	19.47	30.71
2016	55.62	24.93	24.16	25.91	26.11	32.7	34.77	34.25	31.41	29.44	25.76	20.72	30.48
2017	60.19	21.22	25.16	27.16	27.69	33.16	34.99	34.84	32.07	30.88	26.82	23.29	31.46
2018	62.36	21.17	23.2	26.98	27.12	31.87	35.68	35.35	33.71	27.65	24.79	20.18	30.84
2019	59.89	18.39	22.39	26.66	25.29	31.1	34.28	35.46	32.66	29.44	25.08	18.89	29.96
2020	56.61	21.31	20.52	25.31	30.78	32.6	35.46	36.61	35.63	31.41	25.08	21.31	31.05

Tabla 81. Temperatura Mínima Media Mensual Anual.

Temperatura Mínima Media Mensual Anual													
TEMP MIN MENS													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1957	5.73	7.64	7.59	8.78	11.52	14.79	17.24	17.03	14.65	10.98	6.64	6.99	17.03
1958	5.2	7.09	6.8	9.61	12.84	14.23	16.32	17.21	14.86	12.4	7.2	5.4	15.99
1959	4.81	4.62	7.5	10.0	10.46	14.63	18.39	16.54	13.55	10.57	7.74	6.68	15.38
1960	3.47	4.66	7.28	8.64	11.03	14.94	17.22	17.05	15.68	9.98	5.93	3.93	14.76
1961	4.9	5.01	6.17	8.16	9.73	14.1	16.89	16.26	12.58	8.53	5.16	4.72	14.13
1962	3.46	4.58	4.61	8.25	8.94	11.57	15.12	16.2	14.23	9.64	7.19	5.68	13.91
1963	4.26	7.89	6.29	7.84	11.04	12.9	15.79	16.23	15.44	12.08	7.62	5.82	14.55
1964	3.8	4.19	5.58	7.95	9.71	12.72	16.22	15.84	13.35	12.13	6.12	6.11	13.55
1965	5.7	4.9	6.46	9.18	10.15	12.01	15.39	16.11	12.78	10.98	8.53	5.76	13.71
1966	3.23	3.94	7.23	9.6	12.08	14.01	16.6	17.48	14.95	10.77	8.1	6.19	14.14
1967	4.51	5.17	6.64	6.62	10.74	12.75	18.3	18.8	16.05	11.2	9.04	4.07	14.21
1968	4.07	7.27	7.67	9.0	11.44	13.54	16.51	15.02	14.33	10.44	7.16	3.2	14.05
1969	5.6	4.62	6.2	9.27	11.71	13.98	17.29	18.82	15.23	8.81	7.93	4.56	13.66
1970	3.99	5.92	6.84	6.65	11.03	14.0	17.56	18.44	13.2	9.52	6.48	4.44	13.1
1971	3.46	4.55	5.85	7.55	10.08	13.19	17.29	18.7	14.57	8.59	4.68	3.52	12.42
1972	1.78	4.64	7.3	8.15	11.38	15.26	18.23	16.55	14.06	10.9	5.8	4.54	13.02
1973	2.32	5.03	5.17	7.42	11.5	13.64	16.35	16.07	11.45	8.73	5.11	4.25	11.95
1974	3.77	3.21	6.16	7.4	10.74	14.59	16.76	15.52	15.35	10.49	6.28	3.48	12.2
1975	3.49	3.56	4.57	6.1	10.11	13.47	16.43	16.14	14.86	8.82	5.22	3.79	11.4
1976	3.81	6.12	5.59	7.37	10.75	13.03	16.13	14.56	14.85	10.3	7.32	4.02	12.09
1977	4.58	3.98	3.82	7.2	8.72	13.71	16.74	17.39	13.95	11.2	6.9	6.91	12.11
1978	6.18	6.04	8.24	7.9	9.86	14.5	16.2	15.33	14.07	11.63	5.83	3.53	12.51
1979	3.77	3.56	5.81	7.41	10.05	13.39	15.36	15.7	15.19	9.59	4.81	4.75	11.72
1980	6.5	7.01	6.43	8.31	9.86	12.25	16.75	16.48	13.48	10.45	6.71	5.76	12.52
1981	5.82	6.28	7.6	9.81	11.95	15.88	18.03	17.77	15.32	9.61	7.48	5.58	13.03
1982	4.82	6.58	7.46	9.02	11.1	12.87	16.85	17.85	15.29	9.56	6.63	5.03	11.98
1983	5.64	6.58	8.14	7.52	11.02	13.35	16.6	18.62	17.61	12.02	7.44	6.38	12.68
1984	5.31	4.56	6.8	8.63	12.28	14.62	18.78	18.18	17.01	9.14	5.38	5.07	12.51
1985	3.81	3.8	5.73	9.13	11.28	14.05	17.65	16.41	12.82	10.58	6.13	4.8	11.94
1986	6.27	6.61	8.45	9.38	11.7	14.85	17.2	18.2	12.47	9.72	7.77	5.18	12.61
1987	4.01	5.76	7.26	10.29	12.45	15.19	15.89	17.1	15.2	13.44	7.83	4.38	13.05
1988	5.11	6.44	7.38	9.27	11.54	13.61	18.04	16.72	14.51	12.25	7.38	5.26	13.28
1989	4.3	5.71	8.11	10.48	11.44	14.33	16.98	16.29	14.0	10.85	8.01	6.35	13.11
1990	5.1	5.26	7.93	10.98	11.79	15.81	18.53	17.33	16.08	12.51	8.64	5.4	14.12
1991	5.79	7.5	6.7	8.97	10.18	12.91	15.98	16.39	15.52	13.24	8.6	6.2	10.66
1992	5.7	7.9	8.68	12.1	14.22	15.24	17.54	19.2	16.19	11.96	7.8	6.23	11.9
1993	7.28	7.28	9.22	10.38	12.73	14.56	15.94	16.93	15.11	11.82	8.14	5.54	11.24
1994	5.32	6.1	8.56	10.14	11.91	15.47	17.64	19.02	16.67	11.57	6.19	5.55	11.18
1995	6.73	9.12	9.43	9.51	12.3	14.85	17.78	19.22	16.73	11.87	9.33	6.77	11.97
1996	5.93	8.38	8.57	10.84	13.74	15.78	18.75	18.78	15.98	10.9	7.82	6.68	11.85
1997	6.7	6.01	8.37	10.22	14.1	14.68	16.62	19.13	17.78	12.19	8.62	6.16	11.71
1998	6.21	6.58	8.06	8.65	11.3	14.12	17.97	19.21	15.35	10.52	6.85	4.65	10.79
1999	5.13	5.77	6.52	8.83	11.84	14.51	18.08	17.25	15.31	11.97	8.12	5.84	10.76
2000	5.87	6.96	7.93	10.79	13.53	16.19	17.81	18.92	16.19	11.53	5.93	6.3	11.5
2001	4.84	5.79	8.76	9.54	13.68	16.23	17.5	17.89	15.79	11.74	8.63	4.69	11.26
2002	4.5	5.47	7.35	10.21	11.97	15.22	17.75	17.05	16.23	11.74	8.65	6.29	11.04
2003	7.01	8.0	8.84	9.08	12.2	15.65	18.64	19.29	16.89	13.21	7.65	5.54	11.83
2004	5.04	6.08	10.08	10.88	13.11	14.59	17.62	17.3	14.94	10.46	6.5	5.57	11.01
2005	6.85	7.6	8.28	9.01	12.48	14.98	18.38	18.14	13.89	11.08	7.79	5.03	11.13
2006	4.8	5.68	6.6	9.01	13.39	17.23	20.8	18.05	15.67	11.1	8.18	5.21	11.31
2007	4.32	6.55	8.69	10.17	12.61	14.76	18.56	18.43	15.24	11.07	8.51	4.86	11.15
2008	5.28	5.76	7.32	9.11	11.57	15.15	18.26	18.29	16.09	11.9	9.96	7.27	11.33
2009	6.71	5.96	6.82	8.7	12.67	14.27	17.99	16.48	15.68	10.74	7.79	5.6	10.78
2010	6.34	7.13	8.04	8.96	10.83	14.57	17.46	16.86	14.47	11.86	7.25	6.11	10.82
2011	5.34	4.94	7.48	9.3	10.13	13.39	17.08	17.45	15.78	11.82	7.53	3.53	10.31
2012	5.35	5.34	6.42	8.84	11.55	14.26	17.12	20.07	18.02	12.54	8.91	7.23	11.31
2013	5.22	5.75	8.79	10.28	13.16	15.71	18.87	17.61	16.51	10.35	8.74	6.27	11.44
2014	7.33	8.28	9.74	10.45	13.65	15.7	19.46	19.28	18.87	14.35	9.98	8.09	12.93
2015	7.91	9.68	10.95	10.49	13.3	17.31	18.53	20.17	19.43	15.76	8.39	5.66	13.13
2016	6.66	9.07	9.56	11.5	13.28	17.52	19.74	19.48	16.46	14.03	9.98	7.96	12.94
2017	7.07	8.46	10.08	11.2	13.7	16.95	19.83	19.53	16.9	13.3	11.09	7.57	12.97
2018	8.26	7.02	8.86	10.82	12.5	15.26	19.8	20.47	16.47	12.74	9.03	6.72	12.33
2019	6.17	5.91	8.83	11.45	12.34	15.74	18.76	18.76	17.02	11.58	9.39	7.24	11.93
2020	6.18	7.25	9.17	12.05	15.13	16.48	19.73	20.98	18.41	14.73	9.06	6.68	12.99

ANEXO 2. INFORMACIÓN ESTACIONES HIDROMÉTRICAS

Tabla 82. Datos de la estación hidrométrica 1026.

Descripción de la estación	Estación 1026
1. NOMBRE DE LA ESTACIÓN	SAN CARLOS
2. CLAVE HIDROMÉTRICA LARGA	01-270-0-0--0--297-02-
3.1.1 Colector general	3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS
3.1.2 Afluente	ARROYO SAN CARLOS === 270 ===
3.1.3 Subafluente	=== 0 ===
3.1.4 Canal	=== 0 ===
3.1.5 Estación Corriente	=== 0 ===
Descripción de la corriente	SAN CARLOS === 297 === ARROYO SAN CARLOS
3.2 Área drenada (km2)	685
3.3 Coordenadas	Latitud (G,M,S): 31°, 49", 00' Longitud (G,M,S) 116°, 26", 30'
3.4 Ubicación	La estación hidrométrica está situada a 18 km aguas arriba del cruce del Arroyo San carlos con la Carretera Transpeninsular, en su tramo Ensenada con San Vicente, en el Municipio de Ensenada, del Estado de Baja California.
3.5 Accesos	Se va a la estación hidrométrica, por la Carretera Federal No. 2 desde Ensenada hasta el Arroyo San Carlos, distante 12 km, y de este punto hacia la izquierda se continúa por una brecha hasta la estación, que dista 18 km desde dicho cruce.
4. OBJETO DE SU INSTALACIÓN	El conocimiento del régimen del Arroyo San Carlos sirve para determinar las aportaciones del mismo a los mantos acuíferos, lo que orienta sobre el bombeo de Meneadero a Ensenada y el bombeo para riego del Valle del Meneadero.
5. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE, ESTRUCTURAS, APARATOS Y OBSERVACIONES	
5.1 Condiciones del tramo	El tramo es sensiblemente recto y tiene una longitud de 300 m. El cauce está bien definido y su lecho es de material arcilloso con grava y cantos rodados; las laderas son rocosas.
5.2 Sección de aforos	La sección de aforos es de forma trapecial y está localizada en posición perpendicular al tramo, con laderas arcillosas y lecho arenoso.
5.3 Escala	Tres metros aguas abajo de la sección de aforos, en la margen izquierda y frente a la galería del limnógrafo, se encuentra la escala, vertical, de 2 m de altura, hecha de concreto con mosaicos graduados que funciona desde el mes de agosto de 1961. No se conoce la elevación o cota del cero.
5.4 Estructura de aforos	En la estación hidrométrica, se utiliza desde el 15 de febrero de 1962, una estructura para aforos, consistente en cable vía y canastilla, sostenida por dos torres de concreto de 2.60 m de altura y sección de 0.25 x 0.25 m. El claro es único, con una longitud de 43 m. A 60 m aguas abajo de la sección de aforos hay un muro de
5.5 Aforos	Se afora por sección y velocidad con molinete hidráulico; en aguas bajas se afora por vadeo. El primer aforo se hizo el 15 de febrero de 1962.
5.6 Registro de niveles	Para el registro gráfico de niveles, la estación cuenta con un limnógrafo, que está instalado en la margen izquierda, a 3.00 m aguas abajo de la sección de aforos. La instalación consta de una caseta de bloques de cemento de 2.00 m de altura y 1.50 x 1.50 m de sección; un pozo de concreto armado de 2.75 m de altura y sección de 1.50 x 1.50 m y galería de comunicación directa, de concreto con piso de cemento. La marca del aparato es Stevens, tipo E y la fecha de iniciación de registros En la margen izquierda y a 60 m de la sección de aforos, en la casa del aforador, está el laboratorio donde se efectúan los análisis del material acarreado en suspensión. Desde el 10 de diciembre de 1965 se han venido haciendo este tipo de observaciones, con el sistema de tres muestreos superficiales.
5.7 Sólidos en suspensión	
6. GASTOS EXTREMOS EN EL PERÍODO DE OBSERVACIONES	
Gasto máximo (m3/s)	12.9
Fecha del gasto máximo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto máximo	1.05
Gasto máximo aforado (m3/s)	10.5
Fecha del gasto máximo aforado	07/12/1966
Lectura (m) del gasto máximo aforado	1.02
Velocidad media (m/s)	1.58
Profundidad máxima (m)	1.18
Gasto mínimo (m3/s)	0
Fecha del gasto mínimo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto mínimo	0
7. CÁLCULO HIDROMÉTRICO	El cálculo hidrométrico se ha efectuado por los métodos de gastos promediados y limnógrafo, auxiliado con curvas de gastos; se ha aplicado el criterio necesario para la realización del cálculo por medio de la computadora electrónica, en todo el período de funcionamiento de la estación.
8. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL SITIO	En la margen derecha y a 150 m al norte de la torre del cable vía se encuentra la Estación Climatológica de San Carlos, dependiente de la S.R.H., que inició sus observaciones de lluvia, temperatura y evaporación en junio de 1962.

Tabla 83. Datos de la estación hidrométrica 1023

Descripción de la estación	Estación 1023
1. NOMBRE DE LA ESTACIÓN	AGUA CALIENTE
2. CLAVE HIDROMÉTRICA LARGA	01-170-0-0-0-413-02-
3.1.1 Colector general	3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS
3.1.2 Afluente	ARROYO GUADALUPE === 170 ===
3.1.3 Subafluente	=== 0 ===
3.1.4 Canal	=== 0 ===
3.1.5 Estación Corriente	=== 0 ===
Descripción de la corriente	AGUA CALIENTE === 413 === ARROYO GUADALUPE
3.2 Área drenada (km2)	El arroyo Guadalupe es una corriente perenne que se origina a partir de la unión de varios arroyos que descienden del accidente orográfico conocido como tierra de Juárez, en su vertiente occidental; desde altitudes superiores a los 1800 m s.n.m. Entre los principales arroyos formadores cabe mencionar el de la República, El Telarcito, El Borbón, y El Agua Caliente. El colector principal se identifica como arroyo El Borbón, el cual al recibir como afluente al arroyo Agua Caliente constituye propiamente el arroyo Guadalupe el cual escurre 20 Km con dirección SW y luego cambia paulatinamente su dirección mediante una amplia curva al WSW a la altura de los ejidos Francisco Zarco y El Porvenir, a partir de donde escurre en una zona plana correspondiente al Valle de Guadalupe, sitio donde se utiliza sus escurrimientos en usos agrícolas e industriales; aguas abajo su régimen se torna intermitente; escurre a través de una serie de rápidas; aguas abajo recibe por la margen derecha la aportación de un arroyo cuya cuenca se caracteriza por la gran cantidad de cañadas. Después de un recorrido de 115 Km desemboca en la Roca de la Misión, en un punto que dista a unos 30 Km al noreste de la ciudad de Ensenada, en el Océano Pacífico. La lluvia media anual en su cuenca queda comprendida entre los 350 mm en la zona de sus corrientes formadoras y los 200 mm en las cercanías de su desembocadura.
3.3 Coordenadas	1577
3.4 Ubicación	Latitud (G,M,S) 32°, 06", 28' Longitud (G,M,S): 116°, 27", 14'
3.5 Accesos	Está instalada sobre el río Guadalupe a 3 Km al SW del rancho Valle Seco; así como a 11 Km al WSW del Ejido Francisco Zarco (Guadalupe), en el municipio de Ensenada del estado de Baja California Norte.
4. OBJETO DE SU INSTALACIÓN	Con origen en la ciudad de Ensenada, B.C.N, hacia el norte por la carretera federal libre N° 1 se transitan 7 Km para entroncar con la carretera estatal N°3 que conduce a Tecate B.C.N., por ésta se continúa durante 30 Km hasta la Vinícola Guadalupe, de donde parte una brecha al oriente por el que se recorren 21 Km finales hasta el sitio de la estación hidrométrica Agua Caliente, conocido en los alrededores como rancho Agua Caliente.
5.1 Condiciones del tramo	Se instaló con la finalidad de conocer el régimen del río Guadalupe en esta parte de su cuenca, antes de los aprovechamientos que se realizan en el Ejido Porvenir y Valle de Guadalupe y ver la factibilidad de construir un vaso de almacenamiento.
5.2 Sección de aforos	5. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE, ESTRUCTURAS, APARATOS Y OBSERVACIONES
5.3 Escala	El tramo de aforos se encuentra enclavado en el cañon Agua Caliente, siendo éste recto en una longitud de 500 m aproximadamente; los taludes son de roca, el lecho está constituido por arena y arcilla.
5.4 Estructura de aforos	La sección de aforos es perpendicular al eje del escurrimiento, geoméricamente tiene forma trapecial, los materiales que integran las márgenes como el lecho son los descritos en el tramo.
5.5 Aforos	Los niveles de la corriente se observan en una escala dividida en dos tramos instalados en la margen derecha, uno es de concreto graduado cm a cm con una capacidad de registro de 2 m colocado verticalmente al paso de la galería del limnógrafo; el otro tramo es de madera con capacidad de registro de la graduación 1.30 m a 3 m, colocado en el exterior del pozo del limnógrafo. Las observaciones se iniciaron el mes de enero de 1950 en esta escalas; anteriormente se realizaron desde enero de 1948 en una escala de un vertedor rectangular. En octubre del mismo año se cambio ese vertedor por un Cipolletti; Actualmente se observan en la escala descrita en primer término. Se desconoce la elevación o cota del cero.
5.6 Registro de niveles	Consiste en un sistema de cable-vía y canastilla, el cable-vía tiene un diámetro de 3/4" y cubre un claro entre apoyos de 63 m; está apoyado en ambas márgenes en torres de concreto armado, de 3 m de altura en la margen derecha y 1.60 m en la margen izquierda. Anteriormente, de enero a septiembre de 1948, funcionó un vertedor rectangular de 2.25 m de longitud de cresta que se cambió desde octubre del mismo año por un vertedor Cipolletti con 2.00 m de longitud de cresta y taludes de 1 4; en noviembre de 1953 dejó de funcionar y se construyó otro vertedor, esta vez trapezoidal de 1.00 m de longitud de cresta, 1.50 m de base superior y 0.40 m de altura.
5.7 Sólidos en suspensión	Se ha aforado en la estación desde el mes de enero de 1949, empleando el sistema de sección y velocidad, determinando esta con molinete hidráulico marca Choper. En las aguas bajas se afora vadeando a diferentes distancias aguas arriba y aguas abajo de la sección principal.
Gasto máximo (m3/s)	Los niveles de la corriente se determinan en forma gráfica y automática mediante un limnógrafo Stevens "E", el cual se encuentra alojado en una estructura con las siguientes características
Lectura (m) del gasto máximo	A 40 m aguas abajo de la sección principal sobre la margen izquierda, en la casa del aforador, está instalado el laboratorio de análisis de sólidos en suspensión. Se hacen observaciones desde el 7 de diciembre de 1966 mediante el sistema de tres muestreos superficiales.
Gasto máximo aforado (m3/s)	6. GASTOS EXTREMOS EN EL PERÍODO DE OBSERVACIONES
Lectura (m) del gasto	421
Velocidad media (m/s)	1.9
Profundidad máxima (m)	4.2
Gasto mínimo (m3/s)	1.7
Lectura (m) del gasto mínimo	1.35
Notas del gasto mínimo	2.16
7. CÁLCULO HIDROMÉTRICO	0
8. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL SITIO	0
	Lectura de escala en varios meses de varios años es 0.00
	Se ha realizado por medio de diferentes métodos; en algunos periodos se realizó por promedio de gastos y con las hojas del limnógrafo, en otros en base a las curvas de gastos y lecturas de escala; esta información se proceso y calculo electrónicamente en la computadora CYBER propiedad de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
	A 50 m aguas abajo de la sección de aforos en la margen izquierda, funciona la climatológica Agua Caliente de la S.A.R.H., de la cual hay registros pluviográficos desde febrero de 1954; observaciones pluviométricas y de temperatura desde mayo de 1967.

Tabla 84. Datos de la estación hidrométrica 1027.

Descripción de la estación	Estación 1027
1. NOMBRE DE LA ESTACIÓN	BOQUILLA SANTA ROSA
2. CLAVE HIDROMÉTRICA LARGA	01-170-0-0--168-02-
3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	
3.1.1 Colector general	RIO GUADALUPE === 170 ===
3.1.2 Afluente	=== 0 ===
3.1.3 Subafluente	=== 0 ===
3.1.4 Canal	=== 0 ===
3.1.5 Estación Corriente	BOQUILLA DE SANTA ROSA === 168 === RIO GUADALUPE
Descripción de la corriente	El río Guadalupe, se origina en la vertiente W de la Sierra de Juárez. a partir de la confluencia del arroyo Guadalupe con el río Guadalupe, éste sigue un curso de E a W, que luego cambia hacia el Sw. Más adelante, forma una especie de arco, cóncavo hacia el norte y recibe la aportación derecha del arroyo Agua Escondida, en donde gira hacia la izquierda, con rumbo W, para seguir así hasta desembocar en el Océano Pacífico, ligeramente al sur de La Misión de San Miguel.
3.2 Área drenada (km2)	1930
3.3 Coordenadas	Latitud (G,M,S) 32°, 01", 42' Longitud (G,M,S) 116°, 45", 16'
3.4 Ubicación	Está situada como a 7.5 Km aguas arriba de la confluencia del arroyo Agua Escondida con el río Guadalupe y como a 1 Km al oriente del Km 77 de la carretera federal No.1, en el municipio de Ensenada, estado de Baja California.
3.5 Accesos	Con origen en ensenada, se va hacia el norte por la carretera federal Núm. 1; 35 Km adelante se llega a un punto situado entre los Km 75 y 76, de donde parte una desviación hacia la derecha. Siguiendo por éste camino, 4 km adelante, se llega al sitio de la estación.
4. OBJETO DE SU INSTALACIÓN	Se instaló con el fin de conocer los escurrimientos del río, después de los aprovechamientos agrícolas, ya que dichos escurrimientos están ligados con el reabastecimientos de los acuíferos de la Misión.
5. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE, ESTRUCTURAS, APARATOS Y OBSERVACIONES	
5.1 Condiciones del tramo	El tramo es recto, de 200 m de longitud; las laderas son rocosas y el lecho arcilloso y con cantos rodados. El control es bueno, obtenido mediante rápidas relativamente cercanas a la estación.
5.2 Sección de aforos	La sección es de forma trapecial, perpendicular al tramo; las laderas son rocosas y el lecho arenoso. Existe sección de vadeo variable.
5.3 Escala	Desde el 15 de enero de 1962, funciona en la estación una escala de cemento cubierta con mosaicos grabados, de 2.00 m de capacidad total, colocada en posición vertical. Está situada a 10 m aguas arriba de la sección principal, sobre la margen izquierda y se desconoce la elevación o cota del cero.
5.4 Estructura de aforos	La estación cuenta con una estructura para aforar, con sistema en un cable-vía de 3/4 de diámetro, apoyado en anclajes directos en roca, por medio de rieles y pernos, en las dos márgenes. El claro formado mide un total de 98 m.
5.5 Aforos	Se afora por el sistema de sección y velocidad, empleando molinete marca Chope. El primer aforo se hizo el 1 de marzo de 1962 y se han continuado hasta el presente, aunque en ocasiones los aforos se suspenden ante lo escaso del escurrimiento.
5.6 Registro de niveles	En la estación funciona un limnógrafo Campirano para el registro gráfico de los niveles. Se encuentra a 8 m aguas arriba de la sección, en la margen izquierda, colocado en una estructura de las siguientes características: caseta de bloques de cemento, de 1.30 x 1.30 m de base y 2.10 m de altura; el pozo también de bloques de cemento, de 1.30 x 1.30 m de base y 3.10 m de altura; la comunicación es directa. Aunque el limnógrafo fue instalado desde febrero de 1962 sólo hay registros desde abril de 1965; en general sólo se emplea unos 2 ó 3 meses por año en tiempos del escurrimiento establecido.
5.7 Sólidos en suspensión	Desde el 7 de diciembre de 1966 se obtiene datos del material acarreado en suspensión; se emplea el sistema de 3 muestreos superficiales. Los análisis se hacen en las oficinas de la División, en Ensenada, B.C.
6. GASTOS EXTREMOS EN EL PERÍODO DE OBSERVACIONES	
Gasto máximo (m3/s)	466
Fecha del gasto máximo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto máximo	1.54
Gasto máximo aforado (m3/s)	11.9
Fecha del gasto máximo aforado	06/12/1966
Lectura (m) del gasto máximo aforado	0.65
Velocidad media (m/s)	1.29
Profundidad máxima (m)	0.7
Gasto mínimo (m3/s)	0
Fecha del gasto mínimo	30/12/1899
7. CÁLCULO HIDROMÉTRICO	En general el cálculo hidrométrico, se ha hecho por promedio de gastos, con hidrogramas hojas de limnógrafo y curvas de gastos y, en algunas ocasiones, por interpolación de aforo a aforo.
8. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL SITIO	A 1000 m aguas arriba de la hidrométrica, en la ribera derecha, está instalada la estación climatológica de Boquilla de Sta. Rosa, de la cual hay datos de lluvia, temperatura y evaporación desde octubre de 1965.

Tabla 85. Datos de la estación hidrométrica 1025.

Descripción de la estación	Estación 1025
1. NOMBRE DE LA ESTACIÓN	SAN VICENTE
2. CLAVE HIDROMÉTRICA LARGA	01-460-0-0--0--278-02-
3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	
3.1.1 Colector general	ARROYO SAN ISIDRO === 460 ===
3.1.2 Afluente	=== 0 ===
3.1.3 Subafluente	=== 0 ===
3.1.4 Canal	=== 0 ===
3.1.5 Estación Corriente	SAN VICENTE === 278 === ARROYO SAN ISIDRO
Descripción de la corriente	El arroyo San Isidro, nace en la vertiente occidental de la Sierra de Juárez y al NW de la cuenca del arroyo Salado. En el primer tramo de su recorrido sigue una trayectoria general hacia el sur y recibe las aportaciones de los arroyos El Rincón y El Tule; luego cambia su curso rumbo al SSW, tramo en que recibe la aportación derecha del arroyo La Flora. Después recorre un tramo con dirección E-W y luego otro, hacia el SW, dirección que conserva hasta su desembocadura cerca del Puente del Fraile en el Océano Pacífico.
3.2 Área drenada (km2)	1230
3.3 Coordenadas	
Latitud (G,M,S) 31°, 23', 15' Longitud (G,M,S) 116°, 09', 15'	
3.4 Ubicación	Está situada sobre el arroyo, San Isidro, aproximadamente a 8 km aguas abajo de la confluencia del arroyo La Cocina y como a 15 km aguas arriba del poblado de San Vicente, en el municipio de Ensenada, estado de Baja California.
3.5 Accesos	Desde Ensenada, por la carretera federal No. 1 y con rumbo al sur, se llega a La Misión de Santo Tomás que está a 47 km de aquel puerto y 34 km adelante, por la misma carretera, se llega al poblado de San Vicente; de este sitio se continúa hacia la izquierda, por una brecha que después de unos 15 km de recorrido llega hasta la estación.
4. OBJETO DE SU INSTALACIÓN	Los gastos y volúmenes escurridos en el arroyo San Isidro, son determinados en la estación hidrométrica de San Vicente, para el estudio de posibles aprovechamientos futuros.
5. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE, ESTRUCTURAS, APARATOS Y OBSERVACIONES	
5.1 Condiciones del tramo	El tramo tiene una longitud de 250 m en línea recta; el fondo del cauce está constituido por materiales arcillo arenosos y las laderas son rocosas.
5.2 Sección de aforos	La sección de aforos tiene forma trapecial, con dos cauces definidos; uno en el fondo, para los escurrimientos pequeños y otro muy amplio, para las grandes avenidas.
5.3 Escala	La estación cuenta con una escala vertical de concreto recubierta con mosaicos graduados que está ubicada en la margen izquierda, a 70 m aguas abajo de la sección de aforos y a 30 m aguas arriba del vertedor, precisamente frente al limnógrafo y fijada en la galería del mismo; su altura es de 2.00 m y se desconoce la elevación del cero. Se iniciaron las observaciones en esta escala en julio de 1960.
5.4 Estructura de aforos	Desde marzo de 1961 funciona una estructura para aforar, consistente en un cable-vía y canastilla sujeto sobre una torre de concreto de 3.00 m de altura y sección 0.25 x 0.25 m situada en la margen derecha y un apoyo en la margen izquierda, de 1.20 m de altura, también de concreto. Tiene un solo claro, de 60 m y se emplea para aforar en aguas medias y altas. Aguas abajo de la sección de aforos, a 100 m aproximadamente, se encuentra un vertedor rectangular
5.5 Aforos	Se afora por el método de sección y velocidad con molinete hidráulico marca Lietz; estas observaciones se iniciaron el 5 de diciembre de 1960. De abril a agosto de 1961 se hicieron algunos aforos por vadeo a diferentes distancias de la sección principal.
5.6 Registro de niveles	La estación cuenta con un limnógrafo para el registro gráfico de los niveles, instalado en la margen izquierda, a 70 m aguas abajo de la sección de aforos, que consta de una caseta de bloques de cemento de 1.20 x 2.20 m de altura con techo de losa de concreto y un pozo revestido de concreto, de 1.20 x 1.20 x 3.35 m, con una galería de concreto de 0.85 x 0.85 x 3.60 m de largo, con tubos auxiliares en la parte superior. El aparato es un Stevens E de registro semanal y la fecha de iniciación de observaciones corresponde al mes de julio de 1961.
5.7 Sólidos en suspensión	En la estación no se hace este tipo de observaciones.
6. GASTOS EXTREMOS EN EL PERÍODO DE OBSERVACIONES	
Gasto máximo (m3/s)	92.8
Fecha del gasto máximo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto máximo	1.22
Gasto máximo aforado (m3/s)	8.18
Fecha del gasto máximo aforado	25/01/1969
Lectura (m) del gasto máximo aforado	0.8
Velocidad media (m/s)	0.52
Profundidad máxima (m)	1
Gasto mínimo (m3/s)	0.005
Fecha del gasto mínimo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto mínimo	0.01
7. CÁLCULO HIDROMÉTRICO	En el año de 1960 el cálculo de gastos y volúmenes escurridos, se efectuó por el método de promedio de gastos; los años de 1961-62 con ayuda de curvas de gastos, empleando desde agosto de 1961 las hojas de limnógrafo. A partir de 1963, se siguió el mismo procedimiento de cálculo aunque con algunas interpolaciones de aforo a aforo. Estos procedimientos se adaptaron para realizar el cálculo por medio de la computadora electrónica.
8. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL SITIO	La estación climatológica más próxima a la hidrométrica es La Providencia, que está situada a 20 m aguas arriba de la sección de aforos, en la margen derecha. Inició sus observaciones el 17 de julio de 1953, con pluviómetro y termómetro y en diciembre de 1956 con evaporómetro. Esta estación depende de la S.R.H.

Tabla 86. Datos de la estación hidrométrica 1024.

Descripción de la estación	Estación 1024
1. NOMBRE DE LA ESTACIÓN	SANTO DOMINGO
2. CLAVE HIDROMÉTRICA LARGA	01-630-0-0--0--305-02-
3. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	
3.1.1 Colector general	ARROYO SANTO DOMINGO === 630 ===
3.1.2 Afluente	=== 0 ===
3.1.3 Subafluente	=== 0 ===
3.1.4 Canal	=== 0 ===
3.1.5 Estación Corriente	SANTO DOMINGO === 305 === ARROYO SANTO DOMINGO.
Descripción de la corriente	El arroyo Santo Domingo, tiene sus orígenes en la vertiente occidental de la Sierra de San Pedro Mártir a altitudes superiores a los 2500 m.s.n.m. Los arroyos que lo forman son el arroyo Santa Cruz que va hacia el W, los cuales se unen cerca del sitio conocido como Valladares. A partir de ésta confluencia la corriente se conoce como arroyo Santo Domingo y recibe aguas abajo, por la margen izquierda la aportación de otro arroyo llamado también, en su parte alta, Santo Domingo. La dirección dominante que sigue es de NE a SW, hasta desembocar en el Océano Pacífico, en la Bahía de San Ramón.
3.2 Área drenada (km2)	1100
3.3 Coordenadas	
Latitud (G,M,S): 30°, 46", 00' Longitud (G,M,S): 115°, 52", 00'	
3.4 Ubicación	Está situada a 7.5 km al E de la Misión de Santo Domingo y como a 3.5 km al NE del rancho San Miguel en el municipio de Ensenada del estado de Baja California.
3.5 Accesos	Con origen en la ciudad de Ensenada, se toma la carretera Federal N° 1 hacia el sur, hasta 80 km después de la colonia San Vicente. En este sitio se continúa hacia la izquierda, por 20 km más de brecha, para llegar a la estación.
4. OBJETO DE SU INSTALACIÓN	La instalación de esta estación tiene por objeto determinar el régimen aguas arriba de una presa de almacenamiento en proyecto.
5. CARACTERÍSTICAS DEL CAUCE, ESTRUCTURAS, APARATOS Y OBSERVACIONES	
5.1 Condiciones del tramo	El tramo tiene 300 m de longitud en línea recta; el lecho es arenoso y las laderas inclinadas, rocosas y con abundante vegetación.
5.2 Sección de aforos	La sección de aforos tiene forma trapezoidal, en posición perpendicular al tramo y de los mismos materiales que este.
5.3 Escala	La escala actual está en la margen derecha, a 10 m aguas arriba de la sección de aforos. Es inclinada, de un solo tramo y 3.50 m de capacidad. Esta forjada con cemento y la graduación hecha a base de mosaicos labrados.
5.4 Estructura de aforos	La estructura para aforos consiste en un cablevía de 1" de diámetro, apoyado en una torre de 2.80 m de altura, levantada en la margen izquierda y de anclaje directo por medio de rieles y perno, en la margen derecha. Forma un solo claro de 86 m. Existe también un vertedor rectangular de 1.05 m de longitud de cresta y 0.50 m de altura.
5.5 Aforos	Se iniciaron los aforos el 9 de febrero de 1949; se afora por el método de sección y velocidad, con molinetes hidráulicos marca Lietz. En mayo de 1949 se hicieron mediciones por medio del vertedor. Se afora en la sección principal y también por vadeo a diferentes distancias de ella.
5.6 Registro de niveles	Para el registro gráfico de niveles, la estación cuenta con un limnógrafo Stevens tipo E, de registro semanal que queda a 25 m aguas abajo de la sección de aforos, en la margen derecha. La caseta donde está instalado es de bloques de cemento con 1.50 m de base y 1.85 m de altura; el pozo es de cemento y piedra, de 1.60 m de base y 4.00 m de altura; la galería es de concreto, de 1.50 m de largo y la comunicación por medio de 6 tubos de 4". Empezó a funcionar el 1º de enero de 1961; en los períodos de sequía no trabaja el aparato.
5.7 Sólidos en suspensión	En la margen izquierda y a 60 m aguas abajo de la sección principal, en la casa del aforador, está instalado el laboratorio para el análisis de los sólidos en suspensión. Se iniciaron las observaciones el 11 de diciembre de 1965, por medio del sistema de 3 muestreos superficiales.
6. GASTOS EXTREMOS EN EL PERÍODO DE OBSERVACIONES	
Gasto máximo (m3/s)	217.16
Fecha del gasto máximo	30/12/1899
Lectura (m) del gasto máximo	2.5
Gasto máximo aforado	101
Fecha del gasto máximo aforado	30/12/1965
Lectura (m) del gasto máximo aforado	2.55
Velocidad media (m/s)	1.16
Profundidad máxima (m)	2.13
Gasto mínimo (m3/s)	0
Fecha del gasto mínimo	30/12/1899
Notas del gasto mínimo	El gasto mínimo fue de 0.000 con lecturas de escala diversas en varios meses de varios años.
7. CÁLCULO HIDROMÉTRICO	El procedimiento general de cálculo empleado fue el de promedio de gastos o escalas; también se hicieron interpolaciones de aforo a aforo y con hidrogramas y hojas de limnógrafo auxiliados con curvas de gastos. A estos procedimientos se les hicieron adaptaciones necesarias para hacer el cálculo por medio de la computadora electrónica.
8. ESTACIÓN CLIMATOLÓGICA EN EL SITIO	En la margen izquierda y a 40 m aguas abajo de la estación hidrométrica, está la estación climatológica de Santo Domingo, que inició sus observaciones de lluvia, temperatura y evaporación en septiembre de 1962. Esta estación depende de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

ANEXO 3. TABLAS DE PARÁMETROS ESTADÍSTICOS POR CUENCA

Tabla 87. *Parámetros estadísticos. Series de precipitación media anual.*

Parámetros estadísticos series de precipitación media anual							
Cuenca	Pmedia anual obs	Varianza Sesgada	Desv estándar	Coef asimetría	Coef curtosis	Coef variación	Periodo (años)
Río Colorado	17.82	48.57	6.97	1.23	4.8	0.39	1957-2020
Subcuenca 1	21.32	122.63	11.07	1.09	4.24	0.52	1948-2020
Subcuenca 2	24.2	165.91	12.88	1.03	4.32	0.53	1948-2023
Subcuenca 3	23.43	132.91	11.53	0.91	3.79	0.49	1936-2023
Subcuenca 4	21.52	161.46	12.71	2.36	11.29	0.6	1958-2023
Subcuenca 5	23.27	205.05	14.32	1.34	5.61	0.62	1959-2005

Tabla 88. *Precipitación Media Mensual Observada por cuenca.*

Precipitación media mensual observada													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Periodo (años)
Río Colorado	52.62	35.89	29.80	11.31	3.42	1.74	5.90	9.44	8.53	9.37	17.69	28.07	1957-2020
Subcuenca 1	56.76	54.31	45.12	18.58	3.34	0.55	1.33	1.85	3.01	9.92	24.41	39.08	1948-2020
Subcuenca 2	54.04	51.95	48.57	20.24	6.08	1.10	11.97	12.66	9.65	12.60	26.74	42.09	1948-2023
Subcuenca 3	52.28	61.49	47.42	20.20	7.54	2.46	2.47	5.17	6.18	11.94	28.72	41.70	1936-2023
Subcuenca 4	34.34	33.71	29.37	9.33	2.38	0.62	24.15	31.44	21.81	11.11	17.04	30.68	1958-2023
Subcuenca 5	45.62	47.07	49.97	17.28	2.54	0.64	14.67	18.92	15.02	12.80	24.81	37.84	1959-2005

Tabla 89. *Varianza mensual obtenida.*

Varianza mensual obtenida													
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Periodo (años)
Río Colorado	1421.97	996.36	762.71	158.60	23.10	6.86	40.31	103.63	92.82	246.33	293.11	529.83	1957-2020
Subcuenca 1	3869.80	2997.40	1858.66	570.29	26.00	3.30	19.78	27.65	78.74	491.89	755.07	1416.62	1948-2020
Subcuenca 2	3152.21	2597.13	2320.86	541.30	77.02	7.66	515.74	430.47	241.70	562.13	735.82	1414.39	1948-2023
Subcuenca 3	3261.93	2911.03	2109.88	646.77	207.63	127.87	39.53	169.53	155.66	565.85	944.94	1346.03	1936-2023
Subcuenca 4	2088.95	1410.24	1016.91	243.64	17.24	2.84	1257.10	629.64	502.60	372.21	369.75	1180.10	1958-2023
Subcuenca 5	3091.77	4804.28	3255.73	579.06	23.73	2.56	1174.11	563.06	440.04	471.03	970.77	2049.50	1959-2005

Tabla 90. Desviación Estándar mensual.

Mes	Desviación Estándar mensual obtenida												Periodo (años)
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Río Colorado	37.71	31.57	27.62	12.59	4.81	2.62	6.35	10.18	9.63	15.70	17.12	23.02	1957-2020
Subcuenca 1	62.21	54.75	43.11	23.88	5.10	1.82	4.45	5.26	8.87	22.18	27.48	37.64	1948-2020
Subcuenca 2	56.14	50.96	48.18	23.27	8.78	2.77	22.71	20.75	15.55	23.71	27.13	37.61	1948-2023
Subcuenca 3	57.11	53.95	45.93	25.43	14.41	11.31	6.29	13.02	12.48	23.79	30.74	36.69	1936-2023
Subcuenca 4	45.71	37.55	31.89	15.61	4.15	1.69	35.46	25.09	22.42	19.29	19.23	34.35	1958-2023
Subcuenca 5	55.60	69.31	57.06	24.06	4.87	1.60	34.27	23.73	20.98	21.70	31.16	45.27	1959-2005

Tabla 91. Coeficiente de Asimetría mensual.

Mes	Coeficiente de Asimetría mensual obtenido												Periodo (años)
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Río Colorado	1.17	1.51	1.44	1.89	2.06	2.95	3.61	18.79	2.88	3.43	1.53	1.07	1957-2020
Subcuenca 1	2.00	2.08	1.23	1.84	1.59	4.96	5.57	3.32	5.88	4.46	1.97	1.34	1948-2020
Subcuenca 2	1.70	1.70	1.44	1.67	1.85	3.07	3.13	3.06	2.74	3.59	1.62	0.74	1948-2023
Subcuenca 3	1.48	2.00	1.35	2.26	3.87	7.00	4.25	3.65	4.10	3.45	1.74	0.96	1936-2023
Subcuenca 4	3.11	1.15	1.77	2.59	2.24	2.81	2.30	0.48	0.75	2.71	1.44	1.42	1958-2023
Subcuenca 5	1.74	2.12	2.07	1.67	2.25	2.40	4.39	2.05	1.64	2.21	1.99	1.79	1959-2005

Tabla 92. Coeficiente de Curtosis mensual.

Mes	Coeficiente de Curtosis Mensual Obtenido												Periodo (años)
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Río Colorado	4.54	5.67	4.43	7.35	6.98	12.73	20.27	15.04	12.94	16.43	4.90	3.94	1957-2020
Subcuenca 1	8.28	8.58	3.90	6.38	4.40	29.71	37.90	13.36	42.57	26.90	6.80	4.93	1948-2020
Subcuenca 2	6.08	6.95	4.72	5.79	5.87	12.06	13.76	13.77	11.40	18.03	5.70	2.45	1948-2023
Subcuenca 3	4.59	4.65	4.57	9.86	22.54	53.59	22.51	16.49	24.20	16.49	5.83	3.24	1936-2023
Subcuenca 4	16.39	3.76	6.63	11.75	8.60	10.36	9.23	2.17	2.50	10.82	5.38	5.40	1958-2023
Subcuenca 5	5.71	7.97	7.66	5.25	7.73	7.28	23.83	7.34	4.99	6.96	7.60	5.56	1959-2005

Tabla 93. Coeficiente de Variación mensual.

Mes	Coeficiente de Variación Mensual Obtenido												Periodo (años)
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Río Colorado	0.72	0.88	0.93	1.11	1.40	1.51	1.08	1.08	1.13	1.68	0.97	0.82	1957-2020
Subcuenca 1	1.10	1.01	0.96	1.29	1.53	3.27	3.35	2.84	2.95	2.24	1.13	0.96	1948-2020
Subcuenca 2	1.04	0.98	0.99	1.15	1.44	2.52	1.90	1.64	1.61	1.88	1.01	0.89	1948-2023
Subcuenca 3	1.09	0.88	0.97	1.26	1.91	4.59	2.54	2.52	2.02	1.99	1.07	0.88	1936-2023
Subcuenca 4	1.33	1.11	1.09	1.67	1.74	2.73	1.47	0.80	1.03	1.74	1.13	1.12	1958-2023
Subcuenca 5	1.22	1.47	1.14	1.39	1.92	2.49	2.34	1.25	1.40	1.70	1.26	1.20	1959-2005

ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS CUENCAS

Tabla 94. Características físicas de las cuencas.

Cuenca	Área (km ²)	S (adimensional)	L (km)
Río Colorado	43325.17	-	-
Subcuenca 1	730.28	0.05	67.66
Subcuenca 2	1592.94	0.03	75.51
Subcuenca 3	795.10	0.02	41.17
Subcuenca 4	1258.66	0.03	85.18
Subcuenca 5	1158.40	0.07	74.70

ANEXO 5. PROCEDIMIENTOS

Pendiente del cauce

- La pendiente media es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta (Figura 112a).
- La pendiente media es la de una línea recta que, apoyándose en el extremo de aguas debajo de la corriente, hace que se tengan áreas iguales entre el perfil del cauce y arriba y debajo de dicha línea (Figura 112b).

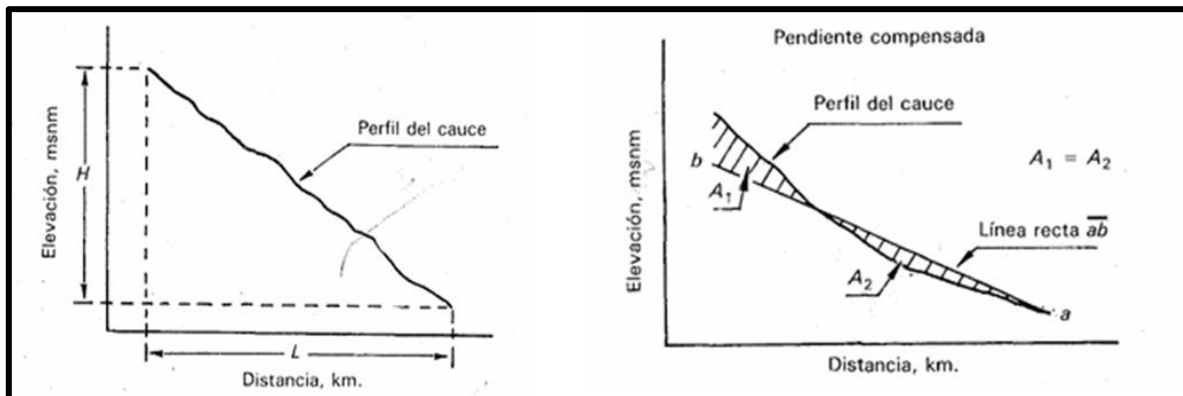


Figura 112. a) Pendiente del cauce principal (desnivel en los extremos). b) Pendiente del cauce principal (línea recta) (Aparicio, 1992)

- c) Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente. La velocidad de recorrido del agua en el tramo i puede calcularse como

$$V_i = k \sqrt{S_i}$$

Ecuación 8. Velocidad de recorrido del agua.

Donde k es un factor que depende de la rugosidad y la forma de la sección transversal y S_i es la pendiente del tramo i . Además, por definición:

$$V_i = \frac{\Delta x}{t_i}$$

Ecuación 9. Velocidad de recorrido del agua (longitud del tramo/tiempo).

Donde Δx es la longitud del tramo i (como se muestra en la Figura 113), y t_i es el tiempo de recorrido en ese tramo, obteniéndose

$$t_i = \frac{\Delta x}{k \sqrt{S_i}}$$

Ecuación 10. Tiempo de recorrido del tramo del cauce.

Por otra parte, la velocidad media de recorrido en todo el cauce dividido en m tramos es:

$$V = \frac{L}{T} = k \sqrt{S}$$

Ecuación 11. Velocidad media de recorrido en todo el cauce.

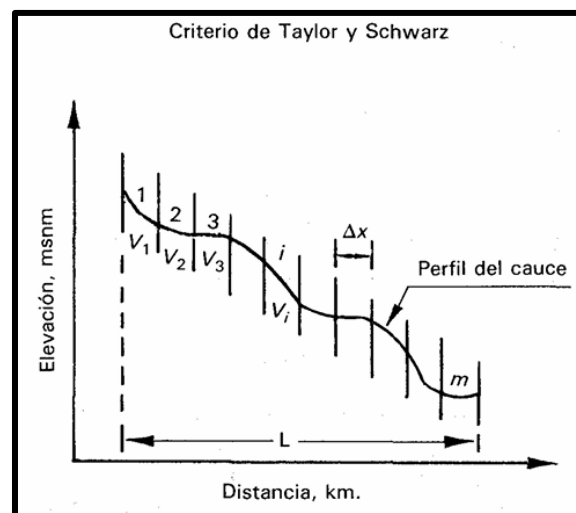


Figura 113. Pendiente del cauce principal. Criterio de Taylor y Schwarz.

Donde L es la longitud total del cauce, T es el tiempo total de recorrido y S es la pendiente media buscada. El tiempo T será naturalmente:

$$T = \sum_{i=1}^m t_i = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta_x}{k\sqrt{S_i}}$$

Ecuación 12. Tiempo total de recorrido del cauce.

Siendo la longitud L :

$$L = \sum_{i=1}^m \Delta_x = m \Delta_x$$

Ecuación 13. Longitud del cauce.

Finalmente, usando las ecuaciones 11, 12 y 13, y, despejando S se obtiene:

$$S = \left[\frac{m}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2$$

Ecuación 14. Pendiente media.

Mediante un razonamiento semejante se puede obtener la siguiente fórmula para el caso en que las longitudes de los tramos no sean iguales:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}}} \right]^2$$

Ecuación 15. Pendiente media para longitudes heterogéneas.

Donde l_i es la longitud del tramo i .

Ecuación de Schaake

$$N = 0.6A^{0.3}$$

Ecuación 16. Fórmula para cálculo de pluviómetros mínimos necesarios en una cuenca con área en km²
Schaake et al. (2000)

El exponente 0.3 implica que el número requerido de pluviómetros se duplica cuando el tamaño de la cuenca aumenta 10 veces. Según esta ecuación, el número de pluviómetros debería proporcionar estimaciones de precipitación media real para cada paso de tiempo con una precisión del 20% en el 80% de los eventos de lluvia convectiva. La ecuación 1 es razonable para cuencas entre 200 y 20 000 km².

Periodos de retorno (Tr)

Comienza explicando el concepto de probabilidad, en donde si un experimento tiene n resultados posibles y mutuamente excluyentes y si de ellos n_a resultados tienen un atributo a , entonces la probabilidad de que ocurra un evento A con el atributo a es:

$$P(A) = \frac{n_a}{n}$$

Ecuación 17. Fórmula de probabilidad de ocurrencia de un evento.

En su ejemplo el atributo a puede ser el número 2 en el dado (evento A), o la altura de la precipitación de 500 mm (evento B). Menciona que, sin embargo, que, en el experimento de ocurrencia de una tormenta, la probabilidad de que el resultado tome un valor exacto como 500 mm es nula. En este caso, es necesario hablar de intervalos, como por ejemplo que la precipitación mencionada tome un valor de 500 mm o mayor, de 500 mm o menor, o que esté en el intervalo de 300 a 500 mm. Entonces el periodo de retorno, intervalo de recurrencia o frecuencia se puede interpretar como el número de años en que, en promedio, se presenta un evento como el B, y se denota con una T .

Entonces, se tiene que para el evento A, el periodo de retorno de la ocurrencia del número 2 en el tiro al dado es el número de tiros en que, en promedio, el dos sale una vez, siendo $T=6$ tiros. Para el ejemplo de la ocurrencia de una tormenta, el T de la precipitación máxima en 24 h de 500 mm es de 25 años, cuando, en promedio, se presenta una precipitación de esa magnitud o mayor una vez cada 25 años. De acuerdo con la definición, la probabilidad de que en cualquier tiro del dado salga un dos es $P(2) = 1/6$; entonces se tiene la siguiente relación entre probabilidad y periodo de retorno:

$$P(A) \cdot T = 1$$

Ecuación 18. Relación entre probabilidad y periodo de retorno.

O también:

$$T = \frac{1}{P}$$

Ecuación 19. Fórmula de periodo de retorno.

Donde T y P se refieren a un evento cualquiera A . La misma relación vale en el caso de la precipitación máxima en 24 h, donde aplicándose la ecuación 19 se tiene que:

$$T = \frac{1}{P(\text{hp} \geq 500 \text{ mm})}$$

Refiriéndose al T de la precipitación máxima en 24 h de 500 mm que es el inverso de que esta precipitación se igualada o excedida en un año cualquiera. Entonces, $P(\text{hp} \leq 500 \text{ mm}) = 1 - P(\text{hp} \geq 500 \text{ mm})$ y, entonces

$$P(\text{hp} \leq 500 \text{ mm}) = 1 - \frac{1}{T}$$

Aparicio (1992), también menciona que cuando se tienen datos de un cierto periodo, y se desea aplicar algún método estadístico para extrapolar dichos datos a periodos de retorno mayores al de las mediciones, es necesario asignar un valor de T a cada dato registrado. Conviene usar la siguiente expresión para asignar periodos de retorno a una serie de datos.

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

Ecuación 20. Periodo de retorno del m -ésimo evento de los n registrados.

Siendo m el número de orden y n el número total de datos, y si se escoge el límite superior, se tiene para un valor x con número de orden m :

$$P(X \leq x) = 1 + \frac{1-m}{n}$$

Ecuación 21. Probabilidad de $X \leq x$ de límite superior.

Y, tomándose el límite inferior resulta:

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{m}{n}$$

Ecuación 22.. Probabilidad de $X \leq x$ de límite inferior.

Siempre habrá una probabilidad no nula de que se presente una variable (como el gasto) menor o igual que un valor cualquiera en este rango ($0 \leq x \leq \infty$), no importa qué tan

pequeño o grande sea dicho valor. De aquí la necesidad de usar una fórmula que asigne una probabilidad no nula a cualquier evento. Esto puede hacerse con una fórmula del tipo:

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{2m - 1}{2n}$$

Ecuación 23. Fórmula que asigna una probabilidad no nula a cualquier evento, que sitúa la probabilidad exactamente en el centro del intervalo.

Otra manera de hacer lo anterior es suponiendo que la frecuencia observada de un evento es la misma que la población de frecuencias de ese evento, lo que conduce a la siguiente fórmula:

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Ecuación 24. Probabilidad suponiendo que la frecuencia de X evento es igual que la población de frecuencias de ese evento.

Siendo la ecuación 24 la más usada en hidrología. Así, el máximo evento registrado en un conjunto de 10 tiene un periodo de retorno de 11 años y el mínimo lo tiene de 1.1 años.

Método de los momentos

Ecuaciones

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 25. Media.

$$S_{sesg}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 26. Varianza sesgada.

$$S_{insesg}^2 = \frac{n}{n-1} S_{sesg}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 27. Varianza no sesgada.

$$g_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(S_{sesg}^2)^{3/2}}$$

Ecuación 28. Coeficiente de asimetría sesgado.

$$g_{insesg} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} g_{sesg}$$

Ecuación 29. Coeficiente de asimetría no sesgado.

$$k_{sesg} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(S_{sesg}^2)^2} g_{sesg}$$

Ecuación 30. Coeficiente de curtosis sesgado.

$$k_{insesg} = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)} k_{sesg}$$

Ecuación 31. Coeficiente de curtosis no sesgado.

$$S = \sqrt{S^2}$$

Ecuación 32. Desviación estándar.

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}}$$

Ecuación 33. Coeficiente de variación.

Método de máxima verosimilitud

Siendo $f(x; a_1, a_2, \dots, a_m)$ una función de densidad de probabilidad de x con parámetros a_i , $i=1, \dots, m$. Si existe una muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n de esta función de densidad. Entonces su función de densidad conjunta es $(x_1, x_2, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Debido a que la muestra es aleatoria, la función de densidad conjunta se puede escribir como:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n; a_1, a_2, \dots, a_m) = \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$$

Ecuación 34. Función de densidad conjunta

Interpretado en forma conceptual, la probabilidad de obtener un valor dado de x , dígase x_1 , es proporcional a $f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Por otro lado, la probabilidad de obtener la muestra aleatoria x_1, x_2, \dots, x_n a partir de la población de x es proporcional al producto de sus densidades de probabilidad individual. Esta función conjunta es llamada la función de verosimilitud L .

$$L = \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$$

Ecuación 35. Función de verosimilitud L .

Los parámetros a_i , $i=1, 2, \dots, m$ son desconocidos.

El método de máxima verosimilitud estima los parámetros desconocidos al maximizar L , esto es, maximizando la verosimilitud de que la muestra bajo consideración es la única que puede obtenerse al seleccionar n observaciones aleatorias a partir de $f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Los valores de los parámetros obtenidos se conocen como los estimadores por máxima verosimilitud. Debido a que con $\ln L$ se alcanza también su máximo para valores específicos

de $a_i, i = 1, 2, \dots, m$, como lo hace L , entonces, la función de verosimilitud se puede expresar como:

$$\ln L = \ln \prod_{i=1}^n f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)$$

Ecuación 36. Función de verosimilitud.

Prueba de Helmer

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, con respecto a su valor medio \bar{Q}^j . Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia S , de lo contrario se considera como un cambio C (Escalante & Reyes, 2002). La serie se considera homogénea si se cumple:

$$-\sqrt{n_{j-1}} \leq (S - C) \leq \sqrt{n_{j-1}}$$

Ecuación 37. Prueba estadística de Helmer.

Prueba de Student

Cuando la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil (Escalante & Reyes, 2002). Si se considera una serie Q_i^j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, del sitio j , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n_j}{2}$, entonces, el estadístico de prueba se define con la expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Ecuación 38. Prueba de t de Student.

Prueba de Cramer

Según Escalante & Reyes (2002), esta prueba se utiliza con el propósito de verificar homogeneidad en el registro Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un período de tiempo a otro. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra n_j ; el segundo del tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n_j); y el tercero de tamaño n_{30} (30% de los últimos valores de la muestra n_j).

La prueba compara el valor de \bar{Q}^j del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos Q_{60}^j y Q_{30}^j . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques. Las ecuaciones utilizadas para determinar Cramer son:

$$Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$$

Ecuación 39. Ecuación de la media muestral.

$$S_Q^j = \left[\frac{1}{(n_j - 1)} \sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - \bar{Q}^j)^2 \right]^{1/2}$$

Ecuación 40. Ecuación de la desviación estándar muestral.

$$\bar{Q}_{60}^j = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{Q_k^j}{n_{60}}$$

Ecuación 41. Ecuación de la media para subperiodos 60%.

$$\bar{Q}_{30}^j = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{Q_k^j}{n_{30}}$$

Ecuación 42. Ecuación de la media para subperiodos 30%.

$$t_{60}^j = \frac{\bar{Q}_{60}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

Ecuación 43. Ecuación del estadístico t parcial 60%.

$$t_{30}^j = \frac{\bar{Q}_{30}^j - \bar{Q}^j}{S_Q^j}$$

Ecuación 44. Ecuación del estadístico t parcial 30%.

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n_j-2)}{n_j-n_w[1+(t_w^j)^2]} \right\}^{1/2} |t_w^j| \text{ para } w = 60 \text{ y } w = 30$$

Ecuación 45. Ecuación del estadístico t de Cramer.

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $\nu = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha = 0.05$. Si, y solo si, el valor absoluto de t_w , para $w = 60$ y $w = 30$,

es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie Q_i^j se considera no homogénea.

Prueba de independencia de Anderson

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencias se requiere que la muestra Q_i^j de la serie j para $i = 1, 2, \dots, n_j$, esté compuesta por variables aleatorias. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson, la cual hace uso del coeficiente de autorrelación serial r_k^j para diferentes tiempos de retraso k . Si se analiza un solo registro, entonces $j = 1$ (Escalante & Reyes, 2002). La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso k es:

$$r_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j-k} (Q_i^j - Q^j)(Q_{i+k}^j - Q^j)}{\sum_{i=1}^{n_j} (Q_i^j - Q^j)^2}; \text{ para } r_0^j = 1 \text{ y } k = 1, 2, \dots, \frac{n_j}{3}$$

Ecuación 46. Coeficiente de autocorrelación serial de retraso k .

Donde $Q^j = \sum_{i=1}^{n_j} \frac{Q_i^j}{n_j}$

Además, los límites al 95% de confianza para r_k^j se pueden obtener como

$$r_k^j(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{n_j - k - 1}}{n_j - k}$$

Ecuación 47. Límites de confianza para r_k^j .

Las gráficas de los valores estimados para r_k^j (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra. Si solo el 10% de los valores de r_k^j sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie Q_i^j es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

Distribución tipo I Gumbel

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\left(\frac{x-v}{a}\right)^2} e^{-e^{\left(\frac{x-v}{a}\right)^2}}$$

Ecuación 48. Función de distribución tipo I de Gumbel.

$$y_i = \frac{x_{i-v}}{a}$$

Ecuación 49. Variable reducida Gumbel.

v Parámetro de ubicación

a Parámetro de escala

Estimadores por momentos

$$\hat{v} = \hat{x} - 0.45S$$

Ecuación 50. Estimador por momento \hat{v} Gumbel I.

$$\hat{a} = \frac{\sqrt{6}}{n} S = 0.78S$$

Ecuación 51. Estimador por momento \hat{a} Gumbel I.

Estimadores por máxima verosimilitud

$$P = n - \sum_{i=1}^n e^{-y_i}$$

Ecuación 52. Función de probabilidad acumulada (P).

$$R = n - \sum_{i=1}^n y_i + \sum_{i=1}^n y_i e^{-y_i}$$

Ecuación 53. Función de residuales (R).

$$\frac{P}{\hat{a}} \approx 0 \quad \frac{-R}{\hat{a}} \approx 0 \quad \text{Iterar hasta cumplir con el criterio de convergencia}$$

Ecuación 54. Criterios de convergencia.

$$\delta_{vj} = (1.11P_j - 0.26R_j) \frac{a_i}{n} \quad \delta_{aj} = (0.26P_j - 0.61R_j) \frac{a_i}{n}$$

Ecuación 55. Incrementos iterativos δ_{vj} y δ_{aj} .

$$\hat{v}_{j+1} = \hat{v}_j + \delta_{vj} \quad \hat{a}_{j+1} = \hat{a}_j + \delta_{aj}$$

Ecuación 56. Actualización de parámetros.

Estimación de eventos

$$\hat{X}_T = \hat{\nu} - \hat{\alpha} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

Ecuación 57. Estimación de eventos Gumbel I.

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm U_\alpha S_T \text{ Donde al 95\%: } U_\alpha = 1.960395$$

Ecuación 58. Límites de confianza Gumbel I.

$$S_T = \left[\frac{\alpha^2}{2} (1 + 1.1396k_T + 1.1k_T^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 59. Desviación estándar de los eventos \hat{X}_T por momentos (Gumbel I).

$$k_T = - \left\{ 0.45 + 0.7797 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\}$$

Ecuación 60. Factor de frecuencia k_T para Gumbel I.

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

$$S_T = \left[\left(\frac{1}{n \alpha^2} \right) (1.1086 + 0.514 y_T + 0.6079 y_T^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 61. Desviación estándar ajustada para muestras finitas Gumbel I (estimación por máxima verosimilitud).

$$y_T = -\ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right]$$

Ecuación 62. Variable reducida de Gumbel y_T .

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

Distribución Normal

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Ecuación 63. Función de densidad de probabilidad de la Distribución Normal.

μ = parámetro de ubicación; σ = parámetro de escala

Estimadores por momentos y máxima verosimilitud

$$\hat{\mu} = \bar{x}$$

Ecuación 64. Estimador de la media ($\hat{\mu}$) por momentos/máxima verosimilitud (distribución normal).

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Ecuación 65. Estimador de la varianza (σ^2) por momentos/máxima verosimilitud (distribución normal).

$$\hat{\sigma} = S$$

Ecuación 66. Estimador de la desviación estándar ($\hat{\sigma}$) por momentos/máxima verosimilitud.

Estimación de eventos

$$\hat{X}_T = \hat{\mu} + \hat{\sigma}U_T$$

Ecuación 67. Estimación de eventos para Distribución Normal.

$$U_T = v - \frac{b^0 + b^1v + b^2v^2}{1 + b^3v + b^4v^2 + b^5v^3}$$

Ecuación 68. Factor de frecuencia U_T (aproximación polinómica racional)

Coefficientes

$$b^0 = 2.515517; b^1 = 0.802853; b^2 = 0.010328; b^3 = 1.432788; b_4 = 0.189269$$

$$b^5 = 0.001308$$

$$v = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{[F(x)]^2}\right)}$$

Ecuación 69. Variable auxiliar v para el cálculo de U_T

$$F(x) = 1/T$$

Nota: Si $0.5 < F(x) \leq 1$, usar $F(x) = 1 - F(x)$ y cambiar signo de U_T^

Desviación estándar de eventos

$$S_T = \left[1 + \frac{U_T^2}{2}\right]^{\frac{1}{2}} \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 70. Desviación estándar para los eventos \hat{X}_T (distribución normal).

Límites de confianza

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm U_\alpha S_T \text{ Donde al 95\%: } U_\alpha = 1.960395$$

Distribución Log Normal 2 parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y} \right)^2}$$

Ecuación 71. Función de densidad de probabilidad Log Normal 2 Parámetros.

μ_y = parámetro de ubicación; σ_y = parámetro de escala

Estimadores por momentos y máxima verosimilitud

$$\hat{\mu}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i)$$

Ecuación 72. Estimador $\hat{\mu}_y$ (momentos/máxima verosimilitud).

$$\hat{\sigma}_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \hat{\mu}_y)^2}{n}$$

Ecuación 73. Estimador $\hat{\sigma}_y^2$ (momentos/máxima verosimilitud).

Estimación de eventos

$$\hat{X}_T = \exp(\hat{\mu}_y + U_T \hat{\sigma}_y)$$

Ecuación 74. Estimación de eventos para Los Normal 2 Parámetros.

Donde U_T es la misma que en Distribución Normal

Desviación estándar (momentos)

$$S_T = \left[1 + \frac{U_T^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{\hat{\sigma}_y}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 75. Desviación estándar por momentos (Log Normal 2 Parámetros).

Desviación estándar (máxima verosimilitud)

$$S_T = \hat{\sigma}_y \hat{X}_T \left[\frac{1 + \frac{U_T^2}{2}}{n} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 76. Desviación estándar por máxima verosimilitud (Log Normal 2 Parámetros).

Límites de confianza

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm U_\alpha S_T \text{ Donde al 95\%: } U_\alpha = 1.960395$$

Distribución Log Normal 3 parámetros

Función de densidad de probabilidad

$$f(x) = 1/((x - x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}) e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2}$$

Ecuación 77. Función de densidad de probabilidad Log Normal 3 Parámetros.

$x^0 =$ parámetro de ubicación; $\mu_y =$ parámetro de forma; $\sigma_y =$ parámetro de escala

Estimadores por momentos

Parámetro de ubicación (x_0)

$$\hat{x}_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{\hat{\eta}_x}{\hat{\eta}_z}\right)$$

Ecuación 78. Parámetros de ubicación \hat{x}_0 por momentos (Log Normal 3 Parámetros).

Coefficientes auxiliares

$$\hat{\eta}_x = \frac{S}{\bar{x}}$$

Ecuación 79. Coeficiente auxiliar $\hat{\eta}_x$.

$$\hat{\eta}_z = \frac{1 - w^{\frac{2}{3}}}{w^{\frac{1}{3}}}$$

Ecuación 80. Coeficiente auxiliar $\hat{\eta}_z$.

$$w = \frac{(g^2 + 4)^{\frac{1}{2}} - g}{2}$$

Ecuación 81. Variable auxiliar w

$$\hat{\mu}_y = \ln\left(\frac{S}{\hat{\eta}_z}\right) - \frac{1}{2}\ln(\hat{\eta}_z^2 + 1)$$

Ecuación 82. Estimador $\hat{\mu}_y$ por momentos (Log Normal 3 Parámetros).

$$\hat{\sigma}_y = [\ln(\hat{\eta}_z^2 + 1)]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 83. Estimador $\hat{\sigma}_y$ por momentos (Log Normal 3 Parámetros).

Estimadores por máxima verosimilitud

$$\hat{\mu}_y = \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i - \hat{x}_0)}{n}$$

Ecuación 84. Estimador $\hat{\mu}_y$ por máxima verosimilitud (Log Normal 3 Parámetros).

$$\hat{\sigma}_y^2 = [\ln(\) - \hat{\mu}_y]^2$$

Ecuación 85. Estimador $\hat{\sigma}_y^2$ por máxima verosimilitud (Log Normal 3 Parámetros).

Ecuación para x_0 (numéricamente)

$$F(\hat{x}_0) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i - \hat{x}_0} (\hat{\mu}_y - \hat{\sigma}_y^2) - \sum_{i=1}^n \left\{ \left[\frac{1}{x_i - \hat{x}_0} \right] \ln(\hat{x}_y - \hat{x}_0) \right\} = 0$$

Ecuación 86. Ecuación para estimar \hat{x}_0 (numéricamente).

Estimación de eventos

$$\hat{X}_r = \hat{x}_0 + \exp(\hat{\mu}_y + U_r \hat{\sigma}_y)$$

Ecuación 87. Estimación de eventos Log Normal 3 Parámetros.

Donde U_r es la misma que en Distribución Normal

Desviación estándar de eventos \hat{x}_r

Por momentos

$$S_r = \left[1 + \frac{U_T^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \frac{\hat{\sigma}_y}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 88. Desviación estándar de eventos por momentos (Log Normal 3 Parámetros).

Por máxima verosimilitud

$$S_r = \left[\text{Var}(\hat{x}_0) + \frac{U_T^2 Z_T^2}{4 \hat{\sigma}_y^2} \text{Var}(\hat{\sigma}_y^2) + Z_T^2 \text{Var}(\hat{\mu}_y) + \frac{U_T Z_T}{\hat{\sigma}_y} \text{Cov}(\hat{x}_0, \hat{\sigma}_y^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 89. Desviación estándar de eventos por máxima verosimilitud (Log Normal 3 Parámetros).

$$Z_r = \exp(\hat{\mu}_y + U_T \hat{\sigma}_y)$$

Ecuación 90. Variable auxiliar Z_r (Log Normal 3 Parámetros).

$$\text{Var}(\hat{x}_0) = \frac{1}{2 n c}$$

Ecuación 91. Varianza de \hat{x}_0 (Log Normal 3 Parámetros).

$$\text{Var}(\hat{\mu}_y^2) = \frac{\hat{\sigma}_y^2 \left[\left(\frac{\hat{\sigma}_y^2 + 1}{2 \hat{\sigma}_y^2} \right) \left(\frac{a}{b} \right)^2 - \frac{a}{b^2} \right]}{n c}$$

Ecuación 92. Varianza de $\hat{\mu}_y^2$ (Log Normal 3 Parámetros).

$$\text{Var}(\hat{\sigma}_y^2) = \frac{\hat{\sigma}_y^2 \left[(1 + \hat{\sigma}_y^2) \left(\frac{a}{b} \right)^2 - \frac{a}{b^2} \right]}{n c}$$

Ecuación 93. Varianza de $\hat{\sigma}_y^2$ (Log Normal 3 Parámetros).

$$a = \exp(\hat{\sigma}_y^{-2}); b = \exp(\hat{\mu}_y)$$

Ecuación 94. Coeficientes auxiliares a y b (Log Normal 3 Parámetros).

$$\text{Cov}(\hat{x}_0, \hat{\sigma}_y^2) = \frac{\hat{\sigma}_y^2}{n c} \exp\left(\frac{\hat{\sigma}_y^2}{2} + \hat{\mu}_y\right)$$

Ecuación 95. Covarianza entre \hat{x}_0 y $\hat{\sigma}_y^2$

$$c = \left(\frac{\delta_y^2 + 1}{2 \delta_y^2} \right) \left(\frac{a}{b} \right)^2 - \left(\frac{2 \delta_y^2 + 1}{2 \delta_y^2} \right) \left(\frac{a}{b^2} \right)$$

Ecuación 96. Factor de ajuste C.

Límites de confianza

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm U_\alpha S_T \text{ Donde al 95\%: } U_\alpha = 1.960395$$

Distribución Gamma 2 Parámetros

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)}$$

Ecuación 97. Función de densidad de probabilidad Gamma 2 Parámetros

α = parámetro de escala; β = parámetro de forma; $\Gamma(\beta)$ = función Gamma completa

Estimadores por momentos

$$\hat{\alpha} = \frac{S^2}{\bar{x}}; \hat{\beta} = \left(\frac{\bar{x}}{S}\right)^2$$

Ecuación 98. Estimadores $\hat{\alpha}$ y $\hat{\beta}$ por momentos (Gamma 2 Parámetros).

Estimadores por máxima verosimilitud

$$\hat{\alpha} = \frac{\bar{x}}{\hat{\beta}}$$

Ecuación 99. Estimador $\hat{\alpha}$ por máxima verosimilitud (Gamma 2 Parámetros).

Donde β se obtiene al resolver:

$$F(\hat{\beta}) = \hat{\mu}_y - \ln(\hat{\mu}_x) + \ln(\hat{\beta}) - \psi(\hat{\beta}) = 0$$

Ecuación 100. Ecuación para estimar $\hat{\beta}$ por máxima verosimilitud (Gamma 2 Parámetros).

$$\hat{\beta} = \frac{1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} C}}{4C}$$

Ecuación 101. Valor inicial para $\hat{\beta}$ (Gamma 2 Parámetros).

$$C = \ln\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) = \ln(\bar{x}) - \bar{y}$$

Ecuación 102. Variable auxiliar C (Gamma 2 Parámetros).

$\hat{\mu}_y$ Es el mismo parámetro de ubicación de la Distribución Log Normal con 2 parámetros.

$\hat{\mu}_x$ Es el mismo parámetro de ubicación de la Distribución Normal.

$$\psi(\hat{\beta}) \approx \ln(\hat{\beta}) - \frac{1}{2\hat{\beta}} - \frac{1}{12\hat{\beta}^2}$$

Ecuación 103. Aproximación de $\psi(\hat{\beta})$ (Gamma 2 Parámetros).

Estimación de eventos

$$\hat{X}_T \approx \hat{\alpha}\hat{\beta} \left[1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}} \right]^3$$

Ecuación 104. Estimación de eventos \hat{X}_T Gamma 2 Parámetros.

Donde U_T es la misma que en la Distribución Normal

Distribución Gamma 3 Parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \left(\frac{x - x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x-x_0}{\alpha}}$$

Ecuación 105. Función de densidad de probabilidad Gamma 3 Parámetros.

x^0 = parámetro de ubicación; α = parámetro de escala; β = parámetro de forma

Estimadores por momentos

$$\hat{\beta} = \frac{4}{g^2}; \quad \hat{\alpha} = \frac{s}{\sqrt{\hat{\beta}}}; \quad \hat{x}_0 = \bar{x} - S\sqrt{\hat{\beta}}$$

Ecuación 106. Estimadores $\hat{\beta}$, $\hat{\alpha}$ y \hat{x}_0 por momentos (Gamma 3 Parámetros).

Estimadores por máxima verosimilitud

$$\hat{\beta} = \frac{1}{1 - \frac{n^2}{\left[\sum(x_i - \hat{x}_0)\sum\left(\frac{1}{x_i - \hat{x}_0}\right)\right]}}$$

Ecuación 107. Estimador $\hat{\beta}$ por máxima verosimilitud (Gamma 3 Parámetros).

$$\hat{\alpha} = \left(\frac{1}{n}\right)\sum(x_i - \hat{x}_0) - \frac{n}{\sum\left(\frac{1}{x_i - \hat{x}_0}\right)}$$

Ecuación 108. Estimador $\hat{\alpha}$ por máxima verosimilitud (Gamma 3 Parámetros).

$$F(\hat{x}_0) = \ln \sum(x_i - \hat{x}_0) - n \ln(\hat{\alpha}) - n \psi(\hat{\beta}) = 0$$

Ecuación 109. Estimador \hat{x}_0 por máxima verosimilitud (Gamma 3 Parámetros).

Estimación del evento \hat{X}_T

$$\hat{X}_T \approx \hat{x}_0 + \hat{\alpha}\hat{\beta} \left(1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + U_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}}\right)^3$$

Ecuación 110. Estimación de eventos \hat{X}_T para período de retorno T (Gamma 3 Parámetros).

Donde U_T es la misma que en la Distribución Normal

Límites de confianza

$$\hat{X}_l = \hat{X}_T \pm U_\alpha S_T \text{ Donde al 95\%: } U_\alpha = 1.960395$$

Desviación estándar por momentos.

$\hat{\mu}^2 = S_{Inses}^2$ Es la varianza; $\hat{y} = g_{Insesg}$ Es el coeficiente de asimetría.

$$S_T = \left\{ \frac{\hat{\mu}^2}{n} \left[1 + k_t \hat{y} + \left(\frac{k_t^2}{2} \right) \left(\frac{3\hat{y}^2}{4} + 1 \right) + 3k_t \frac{\partial k_t}{\partial \hat{y}} \left(\hat{y} + \frac{\hat{y}^3}{4} \right) + 3 \left(\frac{\partial k_t}{\partial \hat{y}} \right)^2 \left(2 + 3\hat{y}^2 + \frac{5\hat{y}^4}{8} \right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 111. Desviación estándar por momentos (Gamma 3 Parámetros).

$$k_t = U_T + (U_T^2 - 1) \left(\frac{\hat{y}}{6} \right) + \frac{1}{3} (U_T^3 - 6U_T) \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^2 - (U_T^2) \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^3 + U_T \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^4 + \frac{1}{3} \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^5$$

Ecuación 112. Factor de frecuencia por momentos k_t (Gamma 3 Parámetros).

$$\frac{\partial k_t}{\partial \hat{y}} = \frac{1}{6} \left\{ (U_T^2 - 1) \left[1 - 3 \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^2 \right] + 4U_T \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^3 \right\} + \left(\frac{\hat{y}}{6} \right) \left(\frac{1}{6} \right)^2 \left\{ 4(U_T^3 - 6U_T) - 10 \left(\frac{\hat{y}}{6} \right)^3 \right\}$$

Ecuación 113. Derivada $\frac{\partial k_t}{\partial \hat{y}}$ por momentos (Gamma 3 Parámetros).

Desviación estándar por máxima verosimilitud

$$S_T = \left\{ \left(\frac{\partial x}{\partial \hat{\alpha}} \right)^2 Var \hat{\alpha} + \left(\frac{\partial x}{\partial \hat{\beta}} \right)^2 Var \hat{\beta} + \left(\frac{\partial x}{\partial \hat{x}_0} \right)^2 Var \hat{x}_0 + 2 \frac{\partial x}{\partial \hat{\alpha}} \frac{\partial x}{\partial \hat{\beta}} Cov(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) \right. \\ \left. + 2 \frac{\partial x}{\partial \hat{\alpha}} \frac{\partial x}{\partial \hat{x}_0} Cov(\hat{\alpha}, \hat{x}_0) + 2 \frac{\partial x}{\partial \hat{\beta}} \frac{\partial x}{\partial \hat{x}_0} Cov(\hat{\beta}, \hat{x}_0) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 114. Desviación estándar por máxima verosimilitud (Gamma 3 Parámetros).

$$\frac{\partial x}{\partial \hat{\alpha}} = \left[\hat{\beta}^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{9\hat{\beta}^{\frac{2}{3}}} + \frac{U_T}{3\hat{\beta}^{\frac{1}{6}}} \right]^3; \quad \frac{\partial x}{\partial \hat{\beta}} = 3\hat{\alpha} \left[\hat{\beta}^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{9\hat{\beta}^{\frac{2}{3}}} + \frac{U_T}{3\hat{\beta}^{\frac{1}{6}}} \right]^3 \left[\frac{1}{3\hat{\beta}^{\frac{2}{3}}} + \frac{2}{27\hat{\beta}^{\frac{5}{3}}} - \frac{U_T}{18\hat{\beta}^{\frac{7}{6}}} \right]; \quad \frac{\partial x}{\partial \hat{x}_0} = 1$$

Ecuación 115. Derivadas parciales $\frac{\partial x}{\partial \hat{\alpha}}$, $\frac{\partial x}{\partial \hat{\beta}}$ y $\frac{\partial x}{\partial \hat{x}_0}$ para S_T (Gamma 3 Parámetros).

$$Var(\hat{\alpha}) = \frac{1}{n \hat{\alpha}^2 D} \left[\frac{\psi'(\hat{\beta})}{(\hat{\beta}-2)} - \frac{1}{(\hat{\beta}-1)^2} \right]; \quad Var(\hat{\beta}) = \frac{2}{n \hat{\alpha}^4 D (\hat{\beta}-2)}; \quad Var(\hat{x}_0) = \frac{\hat{\beta} \psi'(\hat{\beta}) - 1}{n \hat{\alpha}^2 D}$$

Ecuación 116. Varianzas $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$ y \hat{x}_0 (Gamma 3 Parámetros).

$$Cov(\hat{\alpha}, \hat{\beta}) = -\frac{1}{n \hat{\alpha}^3 D} \left[\frac{1}{(\hat{\beta}-2)} - \frac{1}{(\hat{\beta}-1)} \right]; \quad Cov(\hat{\alpha}, \hat{x}_0) = -\frac{1}{n \hat{\alpha}^2 D} \left[\frac{1}{(\hat{\beta}-1)} - \psi'(\hat{\beta}) \right]; \quad Cov(\hat{\beta}, \hat{x}_0) = \\ -\frac{1}{n \hat{\alpha}^3 D} \left[\frac{\hat{\beta}}{(\hat{\beta}-1)} - 1 \right]$$

Ecuación 117. Covarianzas $Cov(\hat{\alpha}, \hat{\beta})$, $Cov(\hat{\alpha}, \hat{x}_0)$, $Cov(\hat{\beta}, \hat{x}_0)$ (Gamma 3 Parámetros).

$$D = -\frac{1}{(\hat{\beta} - 2)\hat{\alpha}^4} \left[2\psi'(\hat{\beta}) - \frac{2\hat{\beta} - 3}{(\hat{\beta} - 1)^2} \right]$$

Ecuación 118. Factor D (Gamma 3 Parámetros).

$$\psi'(\beta) = \frac{1}{(\hat{\beta} + 2)} + \frac{1}{2(\hat{\beta} + 2)^2} + \frac{1}{6(\hat{\beta} + 2)^3} - \frac{1}{30(\hat{\beta} + 2)^5} + \frac{1}{42(\hat{\beta} + 2)^7} - \frac{1}{30(\hat{\beta} + 2)^9} + \frac{1}{(\hat{\beta} + 1)^2} + \frac{1}{\hat{\beta}^2}$$

Ecuación 119. Aproximación de $\psi'(\beta)$ (Gamma 3 Parámetros).

Fórmula de Weibull

$$P = m/(n + 1)$$

Ecuación 120. Fórmula de Weibull para análisis de frecuencia hidrológica.

Esta fórmula empírica, la cual fue desarrollada por Weibull en 1939, es ampliamente utilizada para calcular probabilidades de no excedencia en un análisis de frecuencia hidrológica. P es la probabilidad acumulada de no excedencia, la cual es adimensional; m es el número de orden del dato en la serie ordenada (1 para el valor mínimo); n es el tamaño total de la muestra de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pererira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, 56.
- Álvarez Olguín, G., Hotait Salas, N., & Sustaita Rivera, F. (2011). Identificación de regiones hidrológicas homogéneas mediante análisis multivariado. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII(3), 277-284.
- Aparicio-Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. D.F., México: LIMUSA S.A. de C.V.
- Arellano, E., Camarena, L., Von Glascoe, C., & Daesslé, W. (2009). Percepción del riesgo en salud por exposición a mezclas de contaminantes: el caso de los valles agrícolas de Mexicali y San Quintín, Baja California, México. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 27(3), 291-301.
- Batker, D., Christin, Z., Cooley, C., Graf, W., Jones, K. B., Loomis, J., & Pittman, J. (2014). *NATURE'S VALUE IN THE COLORADO RIVER BASIN*. Tacoma: Earth Economics.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Cohen, M. J. (2011). *Municipal Deliveries of Colorado River Basin Water*. Oakland, California: Pacific Institute.
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (1973, agosto 30). *CILA.org*. Retrieved from CILA.org: <http://www.cila.gob.mx/actas/242.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2000, diciembre 12). *CILA.org*. Retrieved from CILA.org: <http://www.cila.gob.mx/actas/306.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2023, marzo 1). *CILA.cob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/syca/grafsalinidad.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2024, agosto 15). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/prensa/prensa156.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2024, diciembre 10). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/actas/332.pdf>

- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2025, febrero 1). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/rc/glmph.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2025, mayo 2). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/rc/darc.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2025, febrero 18). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/rc/ahlp1m.pdf>
- Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA). (2025, febrero 18). *CILA.gob*. Retrieved from CILA.gob: <http://www.cila.gob.mx/rc/ahcpgh.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2018). *Atlas del Agua en México*. (S. (. Naturales), Ed.) Ciudad de México, México.
- CONAGUA-SMN. (2023, julio 7). *SMN.CONAGUA*. Retrieved from SMN.CONAGUA: <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>
- Escalante-Sandoval, C. A., & Reyes-Chávez, L. (2002). *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. D.F., México: UNAM: Facultad de Ingeniería.
- Fermán Almada, J. L., Seingier, G., Mexicano Vargas, M. L., Gastelum, A. G., Bect, L. G., & Garcia, C. A. (2008). The Colorado river delta (Mexico): Ecological importance and management. *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 30 (4), 371-378.
- GLOBAL INTERNATIONAL WATERS ASSESSMENT. (2004). *Gulf of California/Colorado River Basin, GIWA Regional assessment 27*. Kalmar, Suecia: University of Kalmar (United Nations Environment Programme).
- Gutiérrez López, A., & Aparicio, J. (2020). Las seis reglas de la regionalización en hidrología. *Aqua-LAC*, 12(1), 81-89. doi:<https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2020-v12-1-07>
- Haan, C. T. (2002). *Statistical methods in hydrology*. Iowa State Press.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99. doi:10.13031/2013.26773
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2001). *Diccionario de datos de Hidrología Superficial*. Aguascalientes: INEGI.

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2020). Retrieved from <https://www.gob.mx/imta>
- Lukas, J., Payton, E., McAfee, S., Woodhouse, C., Lynker, B. H., Smith, R., . . . Prairie, J. (2020). *Colorado River Basin Climate and Hydrology: State of the Science*. Western Water Assessment, University of Colorado Boulder. doi:<https://doi.org/10.25810/3hcv-w477>
- Macdonnell, L. J. (2020). Colorado River Basin. *Waters and Water Rights*, 83.
- Martínez-Alfaro, P., Martínez Santos, P., & Castaño Castaño, S. (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. Barcelona, España: Mundi-Prensa.
- Medina, H., Martínez, J., & Flores, A. (2016). Adjustment of Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in Mexico. *Agricultural Water Management*, 164, 45-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.021>
- Mouelhi, S. (2003). *Hacia una cadena coherente de modelos globales lluvia-caudal a escalas plurianual, anual, mensual y diaria*. Francia: ENGREF, Cemagref Antony.
- Mouelhi, S., Michel, C., & Perrin, C. A. (2006). Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. *Journal of hydrology*, 328(1-2), 283-296.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2025, Abril 5). *NASA POWER Project's Data Access Viewer (DAV)*. Retrieved from NASA POWER Project's Data Access Viewer (DAV): https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/?latitude=32&longitude=-115&start=1957-01-01&end=2024-12-31¶meters=ALLSKY_SFC_SW_DWN&community=AG&format=CSV
- Schaake, J. C. (1981). Summary of river forecasting raingauge network density requirements (unpublished). Retrieved from Available at <http://www.nws.noaa.gov/oh/mopex/raingage%20density%20requirement.htm>
- Schaake, J. C., Duan, Q., Smith, M., & Koren, V. (2000). Criteria to select basins for hydrologic model development and testing. *Preprints in: 15th Conf. On Hydrology (Long Beach, California, USA, Am. Met. Soc., 10–14 January 2000) Paper P 1.8*.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00131

Matrícula: 2223803578

Aplicación de modelos hidrológicos para identificar las sequías y crecidas en la parte mexicana de la Cuenca del Río Colorado.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 14:00 horas del día 17 del mes de noviembre del año 2025 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. CARLOS AGUSTIN ESCALANTE SANDOVAL
DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES
DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA

Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS (ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE)

DE: FAUSTO ARTURO KLIMEK ALBARRAN

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

Aprobar

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó al interesado el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.



FAUSTO ARTURO KLIMEK ALBARRAN
ALUMNO

REVISÓ

MTRA. ROSALÍA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CBI

Roman Linares Romero
DR. ROMAN LINARES ROMERO

PRESIDENTE

Carlos Agustin Sandoval
DR. CARLOS AGUSTIN ESCALANTE SANDOVAL

VOCAL

Francisco Javier Aparicio Mijares
DR. FRANCISCO JAVIER APARICIO MIJARES

SECRETARIO

Antonio Zoilo Marquez Garcia
DR. ANTONIO ZOILO MARQUEZ GARCIA