

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Evaluación y comparación de seis modelos de simulación
de caudales y su validación en las bocatomas Apacheta, Choccoro
y Chicllarazo de la Irrigación Cachi - Ayacucho - 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTADO POR:

Saúl Espinoza Vilca

Ayacucho - Perú

2018

Evaluación y comparación de seis modelos de simulación de caudales y su validación en las bocatomas Apacheta, Choccoro y Chicllarazo de la Irrigación Cachi - Ayacucho - 2016.

Evaluation and comparison of six models of flow simulation and its validation in the intake Apacheta, Choccoro and Chicllarazo of the irrigation Cachi-Ayacucho-2016.

ESPINOZA VILCA, Saúl

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Nota del Autor

Espinoza Vilca Saúl, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, saulleo@gmail.com.

Tesis para optar título profesional de Ingeniero Agrícola dirigido por los catedráticos Ing. Leonidas Alejandro Arias Baltazar, leoariasb@hotmail.com, leonidas.arias@unsch.edu.pe; y Ing. Efraín Chuchón Prado, echpunsch@gmail.com.



A Dios por darme sabiduría, inteligencia, salud y ser el guiador de mi juventud.

A mi abuelito Humberto y mi mamá Feliciano, por sus apoyos incondicionales, sus motivaciones y consejos llenos de sabiduría para ser un hombre útil en la sociedad.

A mis hijas Eliane Ivanna y Ariana Cristell que son la razón de mi vida, y me motiva en los quehaceres de mi vida.

A mis Catedráticos(as), quienes me brindaron e inculcaron su conocimiento con paciencia, durante mi formación profesional.



AGRADECIMIENTO

A la ilustre Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga alma mater de mi formación profesional, a la Facultad de Ciencias Agrarias, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por impartir conocimientos que he adquirido, y lo considero como mi segundo hogar.

Al ingeniero Leonidas A. Arias Baltazar, maestro que de sus conocimientos y experiencia me supo orientar para la ejecución y culminación de esta investigación.

A los Catedráticos en general quienes me brindaron e inculcaron con paciencia, sus conocimientos y ética en mí durante mi formación profesional, en especial al Dr. Jorge E. Pastor Watanabe, MSc. Ing. Sandra del Águila Ríos, y el Ing. Efraín Chuchón Prado, catedráticos que me impartieron conocimientos de cuencas hidrográficas e hidrología, las cuales sirvieron de base para el desarrollo de esta investigación.

A mis padres por su apoyo, paciencia y atención que mantuvieron en mí para cumplir este logro.

Al gobierno regional de Ayacucho por haberme permitido acceder a los datos de estaciones meteorológicas e hidrométricas dentro de la cuenca hidrográfica de la Irrigación Cachi para realizar la tesis.

A mis compañeros de estudio de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, con quienes compartí las aulas universitarias.

CONTENIDO

	Pág
AGRADECIMIENTO	iv
CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvii
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
Planteamiento del problema.....	3
Justificación de la investigación	4
Objetivo General	5
Objetivos específicos	5
CAPÍTULO I	7
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1 Antecedentes de investigación.....	7
1.1.1 Antecedentes de la Irrigación Cachi	7
1.1.2 Antecedentes de investigaciones realizadas.....	7
1.2 Bases teóricas.....	9
1.2.1 El ciclo hidrológico	9
1.2.2 Cuenca hidrográfica	11
Características morfométricas de cuencas hidrográficas	11
1.2.3 El tiempo atmosférico y la hidrología.....	14
Precipitación	14
Tormenta	17
Temperatura	18
Evaporación y transpiración	19
Esguerrimiento	20
Infiltración.....	21
Balance hidrológico	21
1.2.4 Hidrometría	22
Hidrograma	23
Tipos de caudales	23
Relación caudal pico/caudal diario	24
1.2.5 Análisis de los datos climáticos	24
Relleno de datos	25
Espacialización de datos	25
Interpolación	25
Método del vector regional	25
Interpolación por Kriging	26
1.2.6 Simulación de caudales medios	27

Modelo hidrológico Témez.....	28
Modelo hidrológico abcd	31
Modelo hidrológico GR2M.....	32
Modelo hidrológico Lutz Scholz	33
1.2.7 Simulación de Avenidas máximas	35
Periodo de Retorno	35
Modelos de distribución de probabilidades	35
Corrección por intervalo fijo de observación.....	36
Curvas intensidad - duración – frecuencia (IDF).....	36
Hietograma de diseño	37
Tiempo de concentración	38
Tiempo de rezago.....	39
Hidrograma Unitario (HU)	39
Método SCS para abstracciones o pérdidas	45
Software Hidroesta 2.....	47
Software HEC HMS 4.0	47
1.2.8 Calibración de modelos hidrológicos.....	48
1.2.9 Medidas de la bondad del ajuste	48
El coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NS)	49
El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe, logarítmico (NSL).....	50
Coeficiente de correlación	50
Coeficiente de determinación	51
Bias Scores (Comparación de medias)	51
Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov.....	52
1.2.10 Sistemas de información geográficas SIG en la hidrología	52
1.3 Definición de términos básicos.....	52
CAPÍTULO II.....	55
2. METODOLOGÍA	55
2.1 Ubicación de la zona de estudio	55
2.1.1 Ubicación política	55
2.1.2 Ubicación geográfica	56
2.1.3 Zonas de vida	57
2.1.4 Vías de comunicación	57
2.2 Materiales y equipos	58
2.2.1 Información cartográfica.....	58
2.2.2 Información de datos de entrada	58
Información de datos observados.....	58
Datos satelitales de precipitación.....	62
Datos satelitales de temperatura.....	63
2.2.3 Equipos y herramientas informáticas	64
2.3 Metodología	65
2.3.1 Información georreferenciada	65
2.3.2 Datos meteorológicos.....	67
Precipitación media mensual	67
Precipitación máxima en 24 horas	69
Temperatura	70
Evapotranspiración	70

2.3.3 Estaciones de aforo	71
Caudales medios mensuales observados.....	71
Avenidas máximas observadas	71
2.3.4 Simulación de caudales medios	71
Modelo hidrológico Témez.....	71
Modelo hidrológico abcd	76
Modelo hidrológico GR2M.....	78
Modelo hidrológico Lutz Scholz	80
2.3.5 Simulación de avenidas máximas	87
Periodo de Retorno	87
Determinación de distribución de probabilidades.....	87
Corrección por intervalo fijo de observación.....	90
Curvas intensidad - duración – frecuencia (IDF).....	90
Hietograma de diseño para las cuencas	91
Obtención del hidrograma unitario	92
Método SCS para abstracciones o pérdidas	93
Modelo hidrológico HEC HMS	95
2.3.6 Validación y verificación de modelos hidrológicos.....	97
El coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NS)	97
El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe, logarítmico (NSL).....	98
Coeficiente de correlación de Pearson (r).....	98
Coeficiente de determinación (R)	98
Sesgo porcentual (BIAS)	99
Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov.....	99
CAPÍTULO III.....	101
3. RESULTADOS	101
3.1 Características geomorfológicas de las cuencas en estudio.....	101
3.2 Descripción del comportamiento de variables meteorológicas	102
3.2.1 Comportamiento de la precipitación	102
Completación de datos con Vector regional	102
Regionalización de la precipitación media	103
Polígono de Thiessen para precipitación media.....	103
Relación de datos satelitales/observados para precipitación media.....	104
Interpolación por Kriging para precipitación media.....	105
Precipitación media en las cuencas hidrográficas en estudio	109
3.2.2 Temperatura	112
Temperatura máxima	115
Temperatura media	118
Temperatura mínima.....	121
3.2.3 Comportamiento de la evapotranspiración potencial.....	124
3.3 Hidrometría.....	127
3.4 Simulación de caudales medios mensuales	129
3.4.1 Microcuenca de la bocatoma Choccoro	130
3.4.2 Subcuenca de la bocatoma Chicllarazo.....	131
3.4.3 Subcuenca de la bocatoma Apacheta	133
3.5 Verificación de los modelos de simulación de caudales medios	134
3.6 Simulación de caudales máximos	137

3.6.1 Precipitación máxima en las zonas de estudio	137
3.6.2 Análisis de precipitación máxima en 24 horas.....	138
3.6.3 Análisis de los caudales máximos instantáneos.....	139
3.6.4 Curvas intensidad –duración - frecuencia.....	141
3.6.5 Hietogramas de diseño	142
3.6.6 Número de curva.....	144
3.6.1 Tiempo de concentración	145
3.6.2 Tiempo de rezago.....	146
3.6.3 Estimación de avenidas máximas con HEC-HMS.....	146
Avenida máxima en la microcuenca de la bocatoma Choccoro	147
Avenida máxima en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo	149
Avenida máxima en la subcuenca de la bocatoma Apacheta	152
3.7 Verificación de los modelos de simulación de avenidas máximas.....	154
CAPÍTULO IV	157
4. DISCUSION	157
4.1 Discusiones sobre la simulación de caudales medios.....	157
4.2 Discusiones sobre la simulación de avenidas máximas.....	159
CONCLUSIONES	160
RECOMENDACIONES.....	162
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA.....	164
ANEXOS	172

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág
Tabla 1.2.1. Terminologías de cuenca hidrográfica.....	12
Tabla 1.2.2. Relación caudal pico/caudal diario	24
Tabla 1.2.3. Rangos de parámetros del modelo de Témez	30
Tabla 1.2.4. Valores aproximados de Hmax según usos del suelo.....	30
Tabla 1.2.5. Valores aproximados de Imax según litología del terreno	31
Tabla 1.2.6. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s).....	46
Tabla 1.2.7. Criterio de eficiencia 1 Nash-Sutcliffe	49
Tabla 1.2.8. Criterio de eficiencia 2 Nash-Sutcliffe	50
Tabla 1.2.9. Criterio de eficiencia 1 por coeficiente de correlación.....	51
Tabla 1.2.10. Criterio de eficiencia 2 por coeficiente de correlación.....	51
Tabla 1.2.11. Criterio de eficiencia por coeficiente de determinación	51
Tabla 2.1.1. Ubic. política de las bocatomas de la Irrigación Cachi	55
Tabla 2.1.2. Ubic. UTM WGS84 de bocatomas de Irrigación Cachi	56
Tabla 2.1.3. Vía de acceso I a las bocatomas de Irrigación Cachi.....	57
Tabla 2.1.4. Vía de acceso II a las bocatomas de Irrigación Cachi	58
Tabla 2.2.1. Estaciones meteorológicas de referencia	60
Tabla 2.2.2. Estaciones hidrométricas de la Irrigación Cachi	61
Tabla 2.3.1. Límite superior para precipitación efectiva - Lutz Scholz.....	81
Tabla 2.3.2. Coeficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.....	82
Tabla 2.3.3. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvia.....	85
Tabla 2.3.4. Valores de $C\alpha$	100
Tabla 2.3.5. Valores de $k(n)$	100
Tabla 3.1.1. Parámetros geomorfológicos de las cuencas en estudio	101
Tabla 3.2.1. Eficiencia de datos de precipitación en estaciones	102
Tabla 3.2.2. Correlación de datos de PP obs. y satelitales.....	105
Tabla 3.2.3. Eficiencia de datos de precipitación en zona de estudio.....	105
Tabla 3.2.4. PP media mensual - cuencas en estudio (1975 – 2016).....	111
Tabla 3.2.5. Correlación de datos de Tmax obs. y satelital	112
Tabla 3.2.6. Correlación de datos de Tmed obs. y satelital	112
Tabla 3.2.7. Correlación de datos de Tmin obs. y satelitales	113
Tabla 3.2.8. Factor de corrección de datos de Tmax mens. satelitales.....	114

Tabla 3.2.9. Factor de corrección de datos de Tmed mens. satelitales.....	114
Tabla 3.2.10. Factor de corrección de datos de Tmin mens. satelitales.....	114
Tabla 3.2.11. Tmax mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)	117
Tabla 3.2.12. Tmed mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)	120
Tabla 3.2.13. Tmin mensual en las cuencas en estudio (1975 – 2016)	123
Tabla 3.2.14. ETP mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)	126
Tabla 3.3.1. Qprom en estaciones hidrométricas en zona en estudio	128
Tabla 3.4.1. Parámetros de modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz	129
Tabla 3.4.2. Valores iniciales de modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz	129
<i>Tabla 3.5.1.</i> Eficiencia de calibración y validación de modelos de Q mens.	135
Tabla 3.5.2. Promedio eficiencia de calibración y validación modelos Q mens.	136
Tabla 3.6.1. Test de Kolmogorov – Smirnov - datos de PPmax 24 horas.....	138
Tabla 3.6.2. Distribución de probabilidades Normal.....	139
Tabla 3.6.3. PPmax corregida en las zonas en estudio	139
Tabla 3.6.4. Test de Kolmogorov –datos de Qinst en estaciones en estudio.....	140
Tabla 3.6.5 Qmáx reales en estaciones de bocatomas de Irrigación Cachi	140
Tabla 3.6.6. Intensidad –duración – frecuencia de PPmax en zonas en estudio.....	141
Tabla 3.6.7. Hietogramas de diseño para las zonas en estudio.....	143
Tabla 3.6.8. Resumen de CN en las cuencas en estudio	145
Tabla 3.6.9. Tiempos de concentración en las cuencas en estudio.....	145
Tabla 3.6.10. Tiempos de rezago o retardo en las cuencas en estudio	146
Tabla 3.6.11. Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Choccoro	148
Tabla 3.6.12. Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Chicllarazo	151
Tabla 3.6.13. Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Apacheta.....	153
<i>Tabla 3.7.1.</i> Eficiencia HU SCS y Snyder en las zonas en estudio	155
<i>Tabla 3.7.2.</i> Promedio de eficiencia modelos HU SCS y Snyder	155
Tabla 4.2.1. PP mensual en estaciones de referencia en (mm).....	174
Tabla 4.2.2. PP mensual en estación Choccoro (1975-2016) en (mm)	177
Tabla 4.2.3. PP mensual en estación Chaquiccocha (1975-2016) en (mm)	179
Tabla 4.2.4. PP mensual en estación Apacheta (1975-2016) en (mm).....	181
Tabla 4.2.5. PP mensual en estación Choclococha (1975-2016) en (mm)	183
Tabla 4.2.6. PP mensual en estación Tunel Cero (1975-2016) en (mm).....	185
Tabla 4.2.7. PP mensual en estación Hornada (1975-2016) en (mm)	187
Tabla 4.2.8. PP mens. en microcuenca bocatoma Choccoro (1975-2016) en (mm)....	190

Tabla 4.2.9. PP mens. en subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975-2016) en (mm)	192
Tabla 4.2.10. PP mens. en subcuenca de bocat. Apacheta (1975-2016) en (mm).....	194
Tabla 4.2.11. PP máxima en 24 horas en las cuencas en estudio (1992-2016) en (mm)	197
Tabla 4.2.12. Tmáx en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C)	200
Tabla 4.2.13. Tmáx en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C)	202
Tabla 4.2.14. Tmáx en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C)	204
Tabla 4.2.15. Tmed en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C)	207
Tabla 4.2.16. Tmed en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C)	209
Tabla 4.2.17. Tmed en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C)	211
Tabla 4.2.18. Tmín en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C).....	214
Tabla 4.2.19. Tmín en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C).....	216
Tabla 4.2.20. Tmín en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C).....	218
Tabla 4.2.21. Radiación solar extraterrestre en mm/día para hemisferio sur	220
Tabla 4.2.22. ETP en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (mm).....	223
Tabla 4.2.23. ETP en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (mm)	225
Tabla 4.2.24. ETP en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (mm).....	227
Tabla 4.2.25. Qmed mens. en estación Capillapata Choccoro	230
Tabla 4.2.26. Qmed mens. en la estación Chicllarazo	230
Tabla 4.2.27. Qmed mens. en la estación Apacheta	231
Tabla 4.2.28. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Choccoro con Témez	233
Tabla 4.2.29. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Choccoro con abcd.....	235
Tabla 4.2.30. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Choccoro con GR2M.....	237
Tabla 4.2.31. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Choccoro con Lutz Scholz	239
Tabla 4.2.32. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Chicllarazo con Témez ..	242
Tabla 4.2.33. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Chicllarazo con abcd.....	244
Tabla 4.2.34. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Chicllarazo con GR2M ..	246
Tabla 4.2.35. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Chicllarazo con Lutz Scholz	248
Tabla 4.2.36. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Apacheta con Témez.....	251
Tabla 4.2.37. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Apacheta con abcd.....	253
Tabla 4.2.38. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Apacheta con GR2M	255

Tabla 4.2.39. Qmed mens. simulados (m^3/s) en bocatoma Apacheta con Lutz Scholz	257
Tabla 4.2.40. CN según usos de suelo en microcuenca de bocat. Choccoro	260
Tabla 4.2.41. CN según usos de suelo en subcuenca de bocat. Chicllarazo.....	260
Tabla 4.2.42. CN según usos de suelo en subcuenca de bocat. Apacheta	261
Tabla 4.2.43. Bondad de ajuste dist. Normal de datos de PPmax en 24 horas	263
Tabla 4.2.44. Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parám. de datos PPmax en 24 horas	264
Tabla 4.2.45. Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parám. de datos PPmax en 24 horas	265
Tabla 4.2.46. Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de PPmax en 24 horas	266
Tabla 4.2.47. H. U. SCS en la bocatoma Choccoro.....	268
Tabla 4.2.48. H. U. Snyder en la bocatoma Choccoro	269
Tabla 4.2.49. H. U. SCS en la bocatoma Chicllarazo.....	270
Tabla 4.2.50. H. U. Snyder en la bocatoma Chicllarazo.....	271
Tabla 4.2.51. H. U. SCS en la bocatoma Apacheta	272
Tabla 4.2.52. H. U. Snyder en la bocatoma Apacheta.....	273
Tabla 4.2.53. Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro.....	275
Tabla 4.2.54. Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro	276
Tabla 4.2.55. Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro	277
Tabla 4.2.56. Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro.....	278
Tabla 4.2.57. Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo.....	280
Tabla 4.2.58. Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo	281
Tabla 4.2.59. Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo	282
Tabla 4.2.60. Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo.....	283

Tabla 4.2.61. Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta	285
Tabla 4.2.62. Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta.....	286
Tabla 4.2.63. Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta.....	287
Tabla 4.2.64. Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta	288

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág
<i>Figura 1.2.1.</i> El ciclo hidrológico.....	10
<i>Figura 1.2.2.</i> Cuenca hidrológica	11
<i>Figura 1.2.3.</i> Formación de precipitación en las nubes.....	15
<i>Figura 1.2.4.</i> Flujo superficial del agua.....	20
<i>Figura 1.2.5.</i> Zonas y procesos del agua subsuperficial.....	20
<i>Figura 1.2.6.</i> Tipos de hidrograma en función a la cuenca	23
<i>Figura 1.2.7.</i> Flujos y almacenamiento del modelo de Témez.....	29
<i>Figura 1.2.8.</i> Esquema del modelo abcd	32
<i>Figura 1.2.9.</i> Esquema del modelo GR2M.....	33
<i>Figura 1.2.10.</i> Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia	37
<i>Figura 1.2.11.</i> Hidrograma unitario triangular del SCS	41
<i>Figura 1.2.12.</i> H. U. estándar de Snyder (1938)	43
<i>Figura 1.2.13.</i> Hidrograma unitario requerido de Snyder	45
<i>Figura 2.1.1.</i> Mapa de ubicación de la región Ayacucho, las provincias.....	55
<i>Figura 2.1.2.</i> Mapa de ubic. de distritos de Chuschi, Paras y Vinchos	56
<i>Figura 2.1.3.</i> Mapa de ubic. de bocatomas de la Irrigación Cachi.....	57
<i>Figura 2.2.1.</i> Mapa de Ubic. de estaciones meteorológicas	59
<i>Figura 2.2.2.</i> Dato satelital de precipitación M2TMNXFLX v5.12.4.....	62
<i>Figura 2.2.3.</i> Dato satelital de precipitación TRMM_3B43 v7.....	62
<i>Figura 2.2.4.</i> Dato satelital de precipitación TRMM_3B42 Daily v7	63
<i>Figura 2.2.5.</i> Dato satelital de precipitación GPM_3IMERGM v04	63
<i>Figura 2.2.6.</i> Dato satelital de temperatura M2SMNXSLV v5.12.4.....	64
<i>Figura 2.3.1.</i> Información MED del MINEDU - Perú	65
<i>Figura 2.3.2.</i> Proceso de ubic. de las zonas en estudio	66
<i>Figura 2.3.3.</i> Obtención puntos topográficos en zonas en estudio.....	66
<i>Figura 2.3.4.</i> Obtención de datos geomorfológicos de cuencas	67
<i>Figura 2.3.5.</i> Transformación de precipitación en excedente - Témez	72
<i>Figura 2.3.6.</i> Ley de excedentes - Témez.....	73
<i>Figura 2.3.7.</i> Relación de infiltración y excedente - Témez	74
<i>Figura 2.3.8.</i> Escorrentía subterránea - Témez	74
<i>Figura 2.3.9.</i> Esquema general - Témez.....	76
<i>Figura 2.3.10.</i> Hietograma de diseño	92

<i>Figura 2.3.11.</i> Hidrograma unitario medio.....	93
<i>Figura 2.3.12.</i> Abstracciones de precipitación de SCS	94
<i>Figura 2.3.13.</i> Esquema de trabajo del software HEC HMS	96
<i>Figura 2.3.14.</i> Componentes del software HEC-HMS.....	97
<i>Figura 3.2.1.</i> Regionalización datos de precipitación observados	103
<i>Figura 3.2.2.</i> Polígono de Thiessen de precipitaciones en la zona en estudio	104
<i>Figura 3.2.3.</i> Análisis de datos de precipitación - vector regional.....	107
<i>Figura 3.2.4.</i> Índice acumulado de datos de precipitación - vector regional	108
<i>Figura 3.2.5.</i> Histograma PP - microcuenca de bocatoma Choccoro.....	109
<i>Figura 3.2.6.</i> Histograma PP - subcuenca de la bocatoma Chicllarazo.....	110
<i>Figura 3.2.7.</i> Histograma de PP - subcuenca de la bocatoma Apacheta	110
<i>Figura 3.2.8.</i> PP media mensual - cuencas en estudio (1975 – 2016).....	111
<i>Figura 3.2.9.</i> PP anual - cuencas en estudio (1975 – 2016)	112
<i>Figura 3.2.10.</i> T° máx. microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016).....	115
<i>Figura 3.2.11.</i> T máx. subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)	116
<i>Figura 3.2.12.</i> T máx. subcuenca de bocat. Apacheta (1975 – 2016).....	116
<i>Figura 3.2.13.</i> T máx. mens. en cuencas hidrográficas en estudio (1975 – 2016).....	117
<i>Figura 3.2.14.</i> T med. microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016).....	118
<i>Figura 3.2.15.</i> T med. subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)	118
<i>Figura 3.2.16.</i> T med. subcuenca de bocat. Apacheta (1975 – 2016).....	119
<i>Figura 3.2.17.</i> T med. mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016).....	120
<i>Figura 3.2.18.</i> T mín. microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016)	121
<i>Figura 3.2.19.</i> T mín. subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)	121
<i>Figura 3.2.20.</i> T mín. subcuenca de bocatoma Apacheta (1975 – 2016).....	122
<i>Figura 3.2.21.</i> T mín. cuencas hidrográficas en estudio (1975 – 2016).....	123
<i>Figura 3.2.22.</i> ETP microcuenca de la bocat. Choccoro (1975 – 2016).....	124
<i>Figura 3.2.23.</i> ETP subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975 – 2016).....	125
<i>Figura 3.2.24.</i> ETP subcuenca de bocatoma Apacheta (1975 – 2016)	125
<i>Figura 3.2.25.</i> ETP en cuencas en estudio (1975 – 2016).....	126
<i>Figura 3.2.26.</i> ETP en cuencas en estudio (1975 – 2016).....	127
<i>Figura 3.3.1.</i> Qprom en estaciones hidrométricas en zonas en estudio.....	128
<i>Figura 3.4.1.</i> Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Choccoro (1988 – 2003).....	130
<i>Figura 3.4.2.</i> Qprom calibrados en microcuenca de bocat. Choccoro (1988 – 1995)..	130

<i>Figura 3.4.3.</i> Qprom validados en microcuenca de la bocat. Choccoro (1996 – 2003)	131
<i>Figura 3.4.4.</i> Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Chicllarazo (1988 – 2003)	131
<i>Figura 3.4.5.</i> Qprom calibrados en microcuenca de bocat. Chicllarazo (1988 – 1995)	132
<i>Figura 3.4.6.</i> Qprom validados en microcuenca de bocat. Chicllarazo (1996 – 2003)	132
<i>Figura 3.4.7.</i> Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Apacheta (1994 – 2003)	133
<i>Figura 3.4.8.</i> Qprom calibrados en microcuenca de la bocat. Apacheta (1994 – 1998)	133
<i>Figura 3.4.9.</i> Qprom validados en microcuenca de bocatoma Apacheta (1999 – 2003)	134
<i>Figura 3.6.1.</i> Histograma de PPmax 24 horas (1992 – 2016) en zonas en estudio	137
<i>Figura 3.6.2.</i> Intensidad –duración – frecuencia de PPmax en zonas en estudio	142
<i>Figura 3.6.3.</i> Hietogramas de diseño para las zonas en estudio	144
<i>Figura 3.6.4.</i> Simulación de avenidas máximas con HEC-HMS 4.0	146
<i>Figura 3.6.5.</i> H. U. SCS en microcuenca de bocatoma Choccoro	147
<i>Figura 3.6.6.</i> H. U. Snyder en microcuenca de bocatoma Choccoro	147
<i>Figura 3.6.7.</i> Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Choccoro	149
<i>Figura 3.6.8.</i> H. U. SCS en la bocatoma Chicllarazo	150
<i>Figura 3.6.9.</i> H. U. Snyder en bocatoma Chicllarazo	150
<i>Figura 3.6.10.</i> Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocat. Chicllarazo	151
<i>Figura 3.6.11.</i> H. U. SCS en la bocatoma Apacheta	152
<i>Figura 3.6.12.</i> H. U. Snyder en la bocatoma Apacheta	153
<i>Figura 3.6.13.</i> Qmáx con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Apacheta	154

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Precipitaciones mensuales en estaciones de referencia.....	173
Anexo B. Registro de PP mensuales en zona homogénea a la cuenca alta de la Irrigación Cachi	176
Anexo C. Precipitación en las cuencas hidrográficas en estudio.....	189
Anexo D. Precipitación máxima en 24 horas en la zona en estudio	196
Anexo E. Temperatura máxima mensual en la zona en estudio.....	199
Anexo F. Temperatura media mensual en la zona en estudio	206
Anexo G. Temperatura mínima mensual en la zona en estudio.....	213
Anexo H. Tabla de Radiación solar extraterrestre	220
Anexo I. ETP en las cuencas hidrográficas en estudio	222
Anexo J. Qmed mensual observados en las estaciones hidrométricas	229
Anexo K. Qmed mensual simulados en la bocatoma Choccoro	232
Anexo L. Qmed mensual simulados en la bocatoma Chicllarazo.....	241
Anexo M. Qmed mensual simulados en la bocatoma Apacheta	250
Anexo N. Número de curva de las cuencas en estudio.....	259
Anexo O. Bondad de ajuste de datos de PPmax en 24 horas en cuencas en estudio	262
Anexo P. H. U. SCS y Snyder en cuencas en estudio.....	267
Anexo Q. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro	274
Anexo R. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo	279
Anexo S. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta.....	284
Anexo T. Mapas	289

RESUMEN

Se realizó la evaluación y comparación de seis modelos de simulación de caudales en las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi; se analizó el modelo digital de terreno con los cuales se obtuvo los parámetros geomorfológicas de las cuencas hidrográficas en estudio, se analizó los datos de precipitación, evapotranspiración potencial, y parámetros propios de los modelos en estudio; seguidamente se simuló los caudales medios mensuales con los modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz, realizando la calibración y validación de datos simulados y observados; la simulación de caudales máximos para periodos de 2,5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, se realizó con los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder; los cuales se verificaron con los datos observados; se comparó la eficiencia de modelos con criterios estadísticos (NS, NSL, r, R, y BIAS), se analizó la sensibilidad de los parámetros de los modelos con la herramienta SOLVER del software Microsoft Excel; de la evaluación realizada en la elección de los métodos de simulación de caudales que pueden ser utilizados en cuencas hidrográficas no aforadas similares a las cuencas en estudio, se concluyó que para la simulación de los caudales medios mensuales, el modelo abcd es muy eficiente (muy recomendable), los modelos GR2M y Lutz Scholz son recomendables, y el modelo Témez no es recomendable; así mismo para simulación de avenidas máximas para diferentes periodos de retorno, los métodos de HU SCS y Snyder se califican muy recomendables.

Palabras Clave: escorrentía, simulación, modelación, calibración, Témez, abcd, GR2M, Lutz Scholz, SCS, Snyder.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Las cuencas de los puntos de captación del Irrigación Cachi pertenecen al “sistema de los andes, cerros altos y bajos, con vegetación natural escasa encontrándose quebradas con cultivo de secano” (PPA, 2003 - 2008). Los ríos Chicllarazo, Choccoro y Apacheta son los tributarios principales del río Cachi que también es uno de los tributarios del río Mantaro. “La Irrigación Cachi, responde a un proyecto hidráulico multipropósito en dotación de agua para consumo humano, ampliación de la frontera agrícola y la generación de energía eléctrica” Corporación de Fomento y Desarrollo Económico Social de Ayacucho (CFDESA, 1983), y para lograr estos propósitos la mayor fuente de captación de agua es de los puntos de captación mencionadas.

Actualmente, en la cuenca de la Irrigación Cachi ya se está sintiendo la escasez del agua relacionado al incremento poblacional, el cual está promovido por los diferentes usos al recurso hídrico, en uso poblacional y ampliación de la frontera agrícola (CORREO, 2015), sin embargo, esta escasez no sólo se debe a la acción del hombre, sino también al cambio climático que experimenta la región, lo cual influye directamente sobre la oferta natural del agua (CORREO, 2016).

Las incertidumbres y preguntas no resueltas en el ámbito hidrológico son importantes (Allen, et al. 2006), los únicos estudios hidrológicos en el ámbito del Irrigación Cachi se han realizado con el objetivo de conocer las reservas hídricas, y no se hizo “comparación, calibración y validación de modelos precipitación-escorrentía” (Pizarro, et al. 2005) para ver los comportamientos de los caudales de los ríos en los puntos de captación bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta, Además se tiene un desconocimiento parcial acerca de las características de sus eventos de crecida.

Del análisis geomorfológico de la cuenca y la red de drenaje, se desprende que la concentración de aguas precipitadas se ve favorecida por las pendientes y en parte por los índices de compacidad y elongación que determinan la forma de la cuenca, la densidad de drenaje es influenciada por una amplia cobertura vegetal y litología, además de regular las tasas de filtración y alimentación del flujos subsuperficial , en general las características geomorfológicas no incrementan los caudales, sino atenúan los efectos y la vigorosidad de las crecidas en la cuenca.(Viramontes et al, 2007).

En este tema, quedan sin resolver problemas como la respuesta hidrológica de las subcuencas a los eventos de precipitaciones intensas, el grado de implicación de los factores físicos de la cuenca (geomorfología, suelos, vegetación, etc.) en el origen y características de las crecidas; o el grado de intervención de eventos extremos en la modificación configuracional del cauce y sus inmediaciones (Diez, 2003).

Justificación de la investigación

La complejidad en las exigencias básicas que debe cumplir cualquier investigación que la estimación de caudales, lejos de frenar o paralizar los trabajos, ha contribuido a la propagación de los mismos en las últimas décadas. Sin embargo, muchos de ellos tienen defectos en su especialización, planteando aspectos puntuales y no integrados (Diez, 2001 - 2003).

El estudio de las cuencas hidrográficas completa se justifica en la propia temática a abordar (geomorfología y escorrentía de caudales) los métodos de su análisis requieren una visión integrada del contexto de las cuencas considerando sus elementos en el análisis que llevan a una serie de consecuencias y realizando síntesis con las relaciones entre ellos (Diez, 2003), y con el presente trabajo se podrá seleccionar el modelo precipitación-escorrentía, para entender el comportamiento de caudales medios y máximos (Ocampo & Vélez, 2014), en los puntos de captación de la Irrigación Cachi, así mismo el modelo validado servirá para futuras investigaciones en otras cuencas diferentes a las zonas de estudio.

La validación de modelos hidrológicos, es un proceso complejo de análisis y toma de decisiones, en la aplicación de los modelos precipitación-escorrentía a paso mensual el objetivo principal, es determinar las eficiencias de los modelos bajo la evaluación de

procesos de calibración, validación y sensibilidad en la cuenca del río. La finalidad es aplicar a aquellos espacios que no tienen data de caudales, donde si se cuenta con información de precipitación y temperatura. (Alcántara, Montalvo, Mejía e Ingol, 2014).

La elección de los puntos de captación que se encuentran de los ríos Choccoro, Chicllarazo y Apacheta se presentó como la solución idónea, para entender la escorrentía de caudales medios mensuales y avenidas máximas para diferentes periodos de retorno, “para ello debemos de tener un modelo eficiente de estimación de caudales de la cuenca” (Lujano, et al. 2015), ya que esta información es vital para evaluar la sostenibilidad del Irrigación cachi. El conocimiento de diversos parámetros en el comportamiento de caudales es fundamental para el diseño adecuado de infraestructuras hidráulicas (MTC, 2017), desafortunadamente los datos de aforo a partir de los cuales se deducen los parámetros mencionados son escasos en la mayor parte de los lugares del Perú, particularmente en el ámbito rural (Córdova, 2015). Sin embargo, las existencias de registros de precipitación suelen ser mucho más amplio, por lo que es habitual el empleo de modelos precipitación-escorrentía para la simulación de caudales, a partir de los cuales se obtienen los parámetros de diseño necesarios.

Objetivo General

Analizar la evaluación y comparación de seis modelos de simulación de caudales y su validación en las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi – Ayacucho - 2016.

Objetivos específicos

1. Definir y analizar los modelos de simulación de caudales en las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi.
2. Comparar los modelos de simulación de caudales con los caudales medidos en las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi.
3. Analizar la sensibilidad de los parámetros que afectan en la variación de caudales en las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes de investigación

1.1.1 Antecedentes de la Irrigación Cachi

Instituto Nacional de Planificación (INP, 1966), se efectuaron estudios geológicos, y estudios hidrológicos en el río Cachi para evaluar cantidades de agua disponibles que se derivarían de Casacancha con fines de generación hidroeléctrica y uso agrícola.

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI, 1981), Se realiza la reactualización de los estudios básicos en el río Cachi, para la derivación de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ de agua con fines de domésticos, energía hidroeléctrica y uso agrícola.

Corporación de Fomento y Desarrollo Económico Social de Ayacucho (CFDESA, 1983), se efectuaron estudios hidrológicos en la cuenca del Río Cachi, para evaluar la disponibilidad hídrica con fines de derivar agua de los ríos Apacheta, Choccoro y Chicllarazo y luego embalsarlo en Cucho quesera, además de realizó estudios de sismicidad y geología.

1.1.2 Antecedentes de investigaciones realizadas

Sandoval (2000), analizó las relaciones precipitación – escorrentía evaluando los modelos de Grunsky, Peñuelas, Turc y Coutagne, para la estimación de caudales medios anuales, en las cuencas de los ríos Purapel y Achibueno, en la VII región de Chile.

González (2002), estableció un marco comparativo entre cuencas en relación a su morfología, la cual queda definida por su forma, relieve y red de drenaje, la investigación se llevó a cabo de 10 cuencas hidrográficas, la mitad en la cordillera de la costa y la otra mitad en la cordillera de los andes, en la VII región de Chile.

Verdú (2003), realizó un análisis y modeló la respuesta hidrológica y fluvial en una extensa cuenca de montaña mediterránea del río Isábena, en España.

Tarazona (2005), analizó y validó los caudales obtenidos con el modelo matemático “Precipitación-Descarga” del Experto Lutz Scholz, en la subcuencas del río Santa, en Perú.

Castillo (2005), Comparó los caudales máximos generados para eventos de precipitación pequeños, medios y grandes, a escala anual y para eventos individuales, en dos microcuencas vecinas entre períodos de pre y post cosecha, en la X región de Chile.

Nieto (2007), presentó la aplicación de tres modelos hidrológicos precipitación-escorrentía: TANQUE, NAM, SMA, posteriormente a estos tres modelos les agrego modelos estocásticas para mejorar la aproximación, trabajó en la cuenca del río Cañete – Perú.

López y Delgado (2009), Analizaron las variables que intervienen para la estimación de caudales utilizando el SIG, para luego realizar la delación hidrológica, finalmente validaron los resultados comparándolos con datos tomados en campo, en la Subcuenca Lempa Alto que se ubica en Guatemala, El Salvador y Honduras.

Dallos (2011), Recopiló información preliminar de parámetros como la clasificación del suelo, geología, aspectos bióticos y uso de suelo, necesarios para comprender los procesos de lluvia – escorrentía en la cuenca quebrada Palmichala – Colombia.

Calderón (2012), realizó la modelación conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos en el caso de estudio en la cuenca media del río Sonora, en México.

Pino (2013), la caracterización e interpretación geomorfológica e hidrológica de la cuenca hidrográfica del río Caplina, con especial incidencia en el estudio de las crecidas fluviales y su aplicación a la gestión de riberas, en Tacna - Perú.

Robles y Vega (2013), realizaron una Simulación Hidrológica usando del Software Watershed Modeling System para demostrar que este Software es de gran importancia para la obtención de datos hidrológicos de la cuenca del río AIJA, en Ancash – Perú.

Zubieta (2013), desarrolló el modelado hidrológico distribuido y evaluó la utilidad de las estimaciones de lluvia por sensoramiento remoto como variable de entrada a partir de la modelación lluvia – escorrentía en la cuenca amazónica peruana.

Célleri (2014), realizó una comparación del régimen hidrológico en tres microcuencas de páramo con diferente cobertura del suelo: una microcuenca con un sistema lacustre, una microcuenca con cobertura de pajonal natural inalterado y una microcuenca cubierta de pajonal que ha tenido cambios en su cobertura y uso de suelo en parte de su superficie, siendo estos cambios por pastoreo intensivo sobre pasto (cultivado) y pajonal, cultivos con labranza y plantaciones de pino y bosque nativo, en la cuenca del río Ishcayrumi - Ecuador.

Córdova (2015), analizó el empleo de las técnicas estadísticas de regionalización hidrológica para predecir los caudales medios mensuales a partir de definir una correlación con sus parámetros geomorfológicos en la cuenca del río Mantaro, aplicados a una cuenca peruana.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 El ciclo hidrológico

Según Linsley et al. (1977), el ciclo hidrológico es un punto útil, aunque académico, desde el cual comienza el estudio de la hidrología, comienza con la evaporación de agua en los océanos, el vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles de aire. Bajo condiciones adecuadas el vapor de condensa para formar las nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación, la precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diversas maneras , la mayor parte de esta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas, otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo o a través de este hasta alcanzar los canales de las corrientes, la porción restante penetra más profundamente en el suelo para hacer parte del suministro de agua subterránea, bajo la influencia del gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos, sin embargo, una parte importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos (p.1).

Según Aparicio (1992), el ciclo hidrológico no tiene principio ni fin, y su descripción se puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo efectos de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayecto hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltrada y de la corre por la superficie se evapora nuevamente. De la precipitación que llega a las corrientes, una parte se infiltra y otra llega hasta los océanos y otros grandes cuerpos de agua, como presas y lagos. Del agua infiltrada, una parte es absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos del agua, o bien hacia las zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar (p.17).

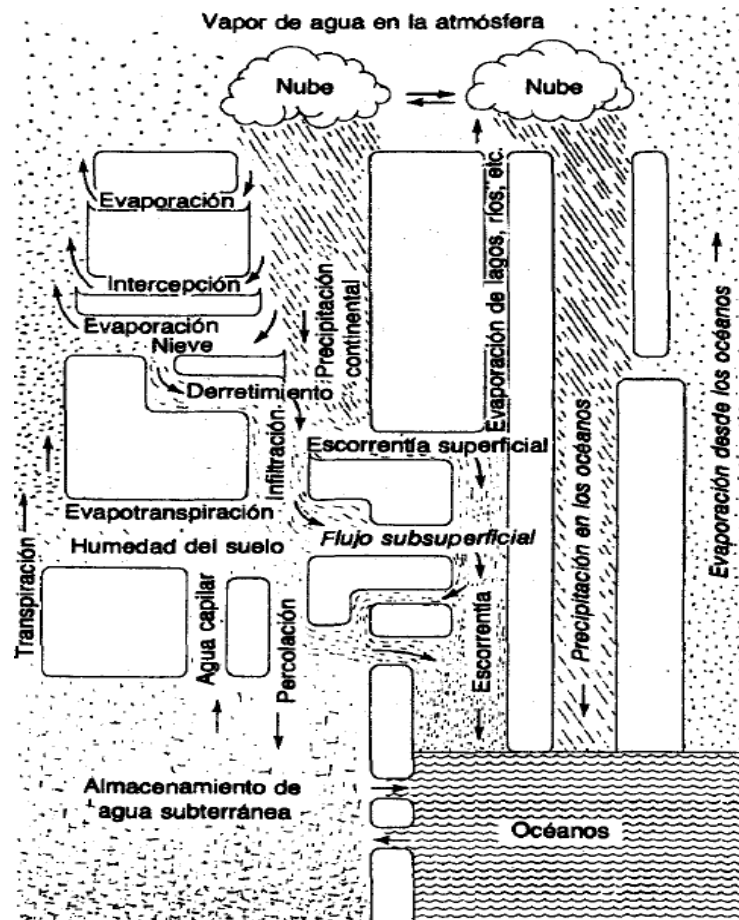


Figura 1.2.1. El ciclo hidrológico

El esquema del ciclo del agua, fuente: Linsley et al. (1977), p.2.

Según Villón (2002), “el ciclo hidrológico es un conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido, gaseoso), como en su forma (agua superficial, agua subterránea, etc.)” (p.16).

1.2.2 Cuenca hidrográfica

Según Villón (2002), La cuenca de drenaje de una corriente, es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido (p.21).

Según Aparicio (1992), Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida (p.19).

Según Fattorelli y Fernández (2011), la cuenca hidrográfica es un sistema que presenta como principal entrada la lluvia, y como salidas el caudal, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación (p.207).

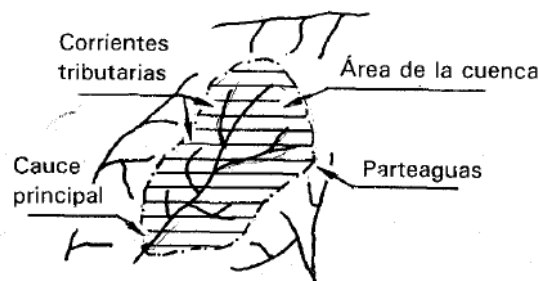


Figura 1.2.2. Cuenca hidrológica

Características de la cuenca y los cauces de mayor importancia, fuente: Aparicio, F (1992), p.20.

Características morfológicas de cuencas hidrográficas

Según Linsley et al. (1977), la relación entre las características físicas, prácticamente estáticas, de la cuenca y las características hidrológicas, altamente estocásticas, de la misma, debe ser de gran complejidad. Por consiguiente, cabe pensar que simplemente no ha sido posible aún obtener las relaciones más adecuadas (p.347).

Según Fattorelli y Fernández (2011), Los factores que intervienen en los estudios hidrológicos son muy diversos: topografía, geología, edafología, climatología,

vegetación, etc. La influencia de estos elementos no puede ser reducida a expresiones puramente matemáticas, pero el estudio de ciertas relaciones puede dar una idea cualitativa del problema (p.209).

En el presente estudio se centró en los parámetros que influyen en la generación de caudales en una cuenca.

Área de cuenca

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografía aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función las curvas de nivel representadas. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía - características morfológicas (Ibáñez et al, 2017, p. 5).

Las terminologías dadas para diferentes sub áreas que conforman una cuenca hidrográfica, dependiendo su extensión se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1.2.1. *Terminologías de cuenca hidrográfica*

Área en Km²	Nombre
< 5.0	Unidad
5.0 – 20.0	Sector
20.0 – 100.0	Microcuenca
100.0 – 300.00	Subcuenca
> 300.0	Cuenca

Con el fin de uniformizar la terminología dada a las diferentes subáreas que conforman una cuenca hidrográfica, dependiendo de su extensión. Fuente: Jiménez H. (1986), p. 13.

Perímetro de la cuenca

El perímetro de la cuenca, informa sucintamente sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas (Ibáñez et al., 2017, p. 6).

Longitud de cauce principal de la cuenca

La longitud de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal, siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba, y al igual que la

superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos (Ibáñez et al., 2017, p. 6).

Ancho de la cuenca

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L); se designa por la letra W de forma que:

$$W = \frac{A}{L} \quad (1.2.1)$$

Dónde:

- A es la superficie de la cuenca en km² y
- L es la longitud de la cuenca en km.

Desnivel altitudinal

Es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja.

Se relaciona con la variabilidad climática y ecológica puesto que una cuenca con mayor cantidad de pisos altitudinales puede albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura (Ibáñez et al., 2017, p. 7).

Pendiente media del cauce

Es la relación existente entre el desnivel altitudinal del cauce y su longitud.

$$j = \frac{h}{L} \quad (1.2.2)$$

Donde:

- j es la pendiente media del cauce,
- h es el desnivel altitudinal y
- L es la longitud del cauce.

Pendiente media de la cuenca

Se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo (Ibáñez et al., p. 8).

$$J = 100 \frac{\sum Li * E}{A} \quad (1.2.3)$$

Donde:

- J es la pendiente media de la cuenca,
- Li es la Longitud de cada una de las curvas de nivel (km),
- E es la Equidistancia de las curvas de nivel (km) y
- A es la superficie de la cuenca (km²).

Altura media

La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes (Ibáñez et al., 2017, p. 9).

1.2.3 El tiempo atmosférico y la hidrología

Según Linsley et al. (1977), Las características hidrológicas de una región están determinadas por su estructura geológica, geográfica y, en forma dominante, por su clima. Entre los factores climatológicos que afectan las características hidrológicas de una región están la cantidad y distribución de la precipitación; la existencia de hielo y nieve; y los efectos del viento, la temperatura y la humedad en la evapotranspiración y en la fusión de la nieve (p.7).

Según Dallos (2011), el estudio climático busca conocer el comportamiento de los diferentes elementos que determinan las condiciones y propiedades climáticas o atmosféricas para un período de tiempo determinado los cuales son: la presión atmosférica, la temperatura, la humedad, la dirección y velocidad del viento, la precipitación, el brillo solar y la nubosidad.

Precipitación

Según Villón (2002), la precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a esta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvias, granizadas, garúas y nevadas (p.69).

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La precipitación requiere la celebración de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas

de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostienen por el calor latente de vaporización liberado a medida que el vascular del agua sube y se condensa (Chow et al., 1994, p. 66).

La precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales.

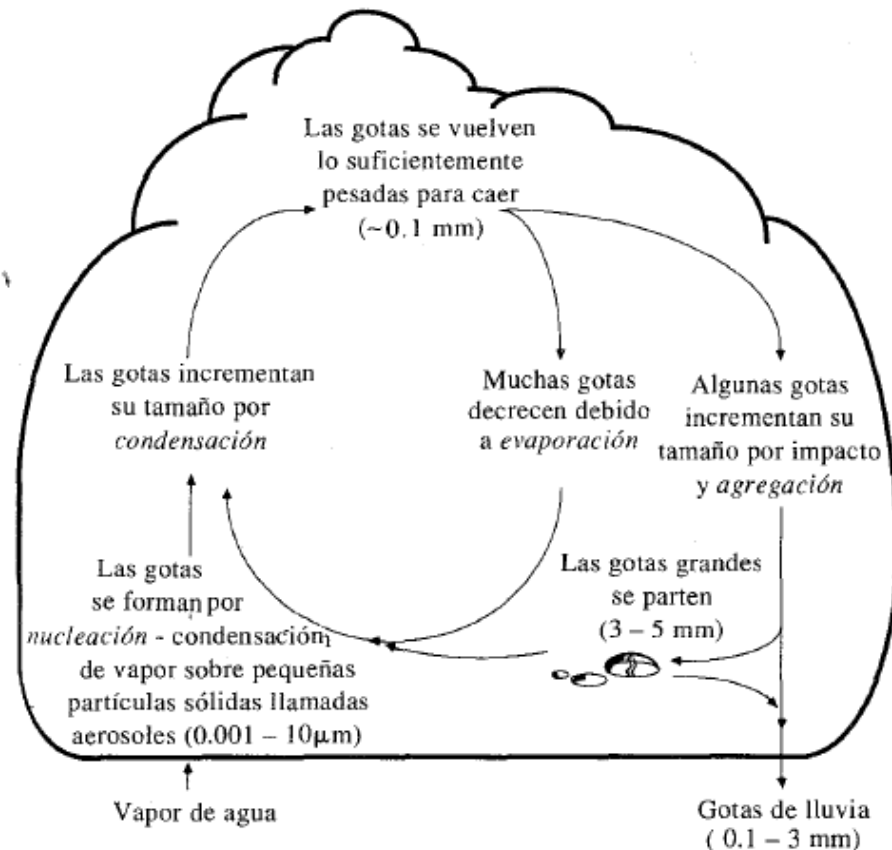


Figura 1.2.3. Formación de precipitación en las nubes

Las pequeñas gotas de agua en las nubes se forman por nucleación de vapor sobre los aerosoles, para luego pasar por varios ciclos de condensación- evaporación a medida que circulan en la nube, hasta que alcanza un tamaño suficientemente grande para caer a través de la base de la nube. Fuente: Chow et al. (1994), p.67.

M2TMNXFLX v5.12.4

El modelo Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para la Aplicación de Investigación y Aplicaciones MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2), la NASA hizo un re análisis atmosférico es un

reanálisis atmosférico de la NASA para la era satelital utilizando el Modelo del Sistema de Observación de la Tierra GEOS-5 (Goddard Earth Observing System Model, Version 5) con su Sistema de Asimilación de Datos Atmosféricos ADAS (Atmospheric Data Assimilation System), versión 5.12.4. El proyecto MERRA se centra en el análisis del clima histórico para una amplia gama de tiempo y escalas de tiempo climático.

MERRA-2 se inició como un proyecto intermedio entre el envejecimiento MERRA datos y la próxima generación de análisis del sistema terrestre previsto para el futuro reanálisis acoplado. Sin una inversión sustancial para actualizar las rutinas de asimilación de datos de MERRA, el sistema carecía de la capacidad de analizar las últimas observaciones. Además, se han implementado numerosos avances en el sistema GEOS5 desde que se congeló el sistema MERRA en 2008. Por lo tanto, se realizó una nueva integración completa de reanálisis. MERRA-2 cubre el período 1980-presente, continuando como un análisis climático en curso, según lo permitan los recursos (Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), 2015) .

TRMM_3B43 v7

La Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales TRMM (), es una misión conjunta de Estados Unidos y Japón para monitorear la precipitación tropical y subtropical y estimar su calentamiento latente asociado.

El conjunto de datos 3B43 es la versión mensual del conjunto de datos 3B42, este conjunto de datos es el resultado del algoritmo TMPA, Algoritmo y proporciona estimaciones de precipitación en las regiones TRMM que tienen el sesgo (casi-cero) de la precipitación estimada y el muestreo denso alta con datos de microondas de calidad con relleno utilizando estimaciones infrarrojas calibradas por microondas.

Proporciona una mejor estimación de precipitación en una banda de latitud que abarca 50o N a 50o S, una expansión de la región TRMM, de todas las fuentes de datos globales, a saber, datos de microondas de alta calidad, datos de infrarrojos y análisis de pluviómetros. El tamaño de datos es mensual (Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), 2011).

GPM_3IMERGM v04

La misión de medición global de la precipitación GPM (The Global Precipitation Measurement) es una red internacional de satélites que proporcionan las observaciones globales de próxima generación de la lluvia y la nieve. Basándose en el éxito de la Misión de Medición de las Precipitaciones Tropicales (TRMM).

Las Recuperaciones Multisatélite Integradas para GPM, IMERG (Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM), son el algoritmo unificado de los Estados Unidos que proporciona el producto de precipitación multisatélite para el equipo GPM de EE.UU.

Las estimaciones de precipitación de los diversos sensores de microondas pasivas por satélite (PMW) que comprenden la constelación GPM se calculan utilizando la versión 2014 del algoritmo Goddard Profiling Algorithm (GPROF2014), luego se intercalibran con el producto GPM (George Huffman, 2015).

Tormenta

Según Linsley et al. (1977), una tormenta incluye un patrón de tiempo-intensidad, una distribución espacial y una precipitación total. Realmente es imposible asignarle una frecuencia de ocurrencia a un evento tan complejo. Generalmente solo se considera la precipitación total. Sin embargo, debido a que el patrón intensidad-tiempo y la distribución espacial de la lluvia afectan al volumen de escorrentía y el caudal pico, tormentas con la misma precipitación total rara vez producen el mismo caudal pico. Además, una tormenta ocurre dentro de una secuencia de eventos que fijan las condiciones antecedentes en la hoya y a su vez afectan el volumen de escorrentía y la forma del hidrograma (p.299).

Según Chow et al. (1994), Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales (p.455).

TRMM_3B42_Daily v7

Este producto de precipitación acumulado diario se genera a partir de la TMPA de 3 horas de calidad de investigación (3B42). Se produce en el NASA GES DISC, como un

producto de valor agregado. Suma simple de recuperaciones válidas en una celda de cuadrícula se aplica para el día de datos. El resultado se da en (mm). El resultado se da en (mm). El tiempo de inicio y finalización de cada gránulo diario se enumeran en los atributos globales del archivo, y se toman de forma correspondiente a partir del primer y último gránulo de 3 horas que participan en la agregación. Por lo tanto, el período de tiempo cubierto por un gránulo diario asciende a 24 horas, que pueden inspeccionarse en los atributos globales del archivo (Center, Goddard Earth Sciences Data and Information Services, 2016).

Temperatura

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía (Ordoñez, 2012, p. 11).

M2SMNXSLV v5.12.4

El Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para la Aplicación de Investigación y Aplicaciones MERRA-2 (The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2), es un reanálisis atmosférico de la NASA para la era satelital utilizando el Modelo del Sistema de Observación de la Tierra GEOS-5 (Goddard Earth Observing System Model, Version 5) con su Sistema de Asimilación de Datos Atmosféricos ADAS (Atmospheric Data Assimilation System). El proyecto MERRA se centra en el análisis del clima histórico para una amplia gama de tiempo y escalas de tiempo climático y coloca la NASA EOS serie de observaciones en un contexto climático.

MERRA-2 se inició como un proyecto intermedio entre el envejecimiento MERRA datos y la próxima generación de análisis del sistema terrestre previsto para el futuro reanálisis acoplado. Sin una inversión sustancial para actualizar las rutinas de asimilación de datos de MERRA, el sistema carecía de la capacidad de analizar las últimas observaciones. Además, se han implementado numerosos avances en el sistema GEOS5 desde que se congeló el sistema MERRA en 2008. Por lo tanto, se realizó una nueva integración completa de reanálisis. MERRA-2 cubre el período 1980-presente, continuando como un análisis climático en curso, según lo permitan los recursos (Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), 2015) .

Evaporación y transpiración

Según Linsley et al. (1977), la evaporación de superficies de agua, suelo, nieve, hielo y de cualquier otra superficie, más la transpiración. El uso consuntivo es la evaporación total de un área más el agua utilizada directamente para construir los tejidos de las plantas (p.144).

Según Aparicio (1992), la evaporación es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a su superficie, ha estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera. Y la transpiración es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas; esta agua es tomada por las plantas, naturalmente del suelo (p.47).

Según Villón (2002), la evaporación es una etapa permanente del ciclo hidrológico. Hay evaporación en todo momento y en toda superficie húmeda. Considerada un fenómeno puramente físico, la evaporación es el paso del agua del estado líquido al estado gaseoso; sin embargo, hay otra evaporación provocada por la actividad de las plantas, el cual recibe el nombre de transpiración (p.305).

La evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, las cuales son: el suministro de energía y al transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido (Chow et al.,1994, p. 93).

Ecuación de Hargreaves

Cuando no se tiene disponibilidad de datos meteorológicos de radiación solar, humedad relativa o velocidad del viento, estos deberían ser estimados usando los procedimientos presentados en esta sección. Sin embargo, como una opción alternativa, la evapotranspiración se puede estimar usando la ecuación de Hargreaves (Allen et al., 2006, p. 64).

Escurrimiento

Según Linsley et al. (1977), el camino seguido por una gota de agua desde el momento en el cual alcanza la tierra hasta cuando llega al cauce de una corriente es incierto. Es conveniente imaginar tres caminos principales: escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y flujo de agua subterránea (p.211).

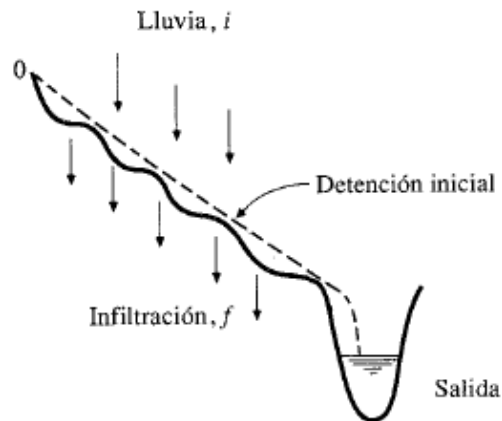


Figura 1.2.4. Flujo superficial del agua

Con el flujo superficial existe un almacenamiento de presiones en los rendimientos de la superficie y un almacenamiento por detención superficial proporcional a la profundidad del mismo flujo superficial. Fuente: Chow et al. (1994), p.132.

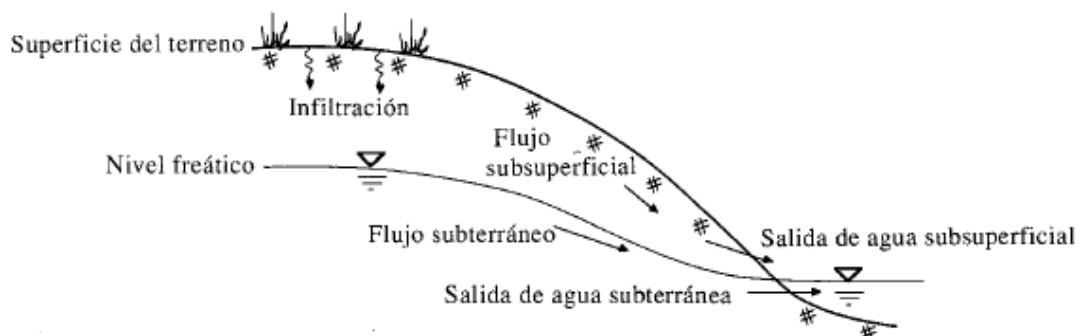


Figura 1.2.5. Zonas y procesos del agua subsuperficial

tres procesos importantes que son la infiltración del agua superficial en el suelo para convertirse en humedad del suelo, el flujo subsuperficial o flujo no saturado a través del suelo, y el flujo de agua subterránea o flujo saturado a través de los estratos de suelo o roca. Fuente: Chow et al. (1994), p.102.

Según Aparicio (1992), el escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (p.27).

Según Villón (2002), el escurrimiento es otra componente, y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca (estación de aforo) (p.135).

Según López y Delgado (2009), el escurrimiento se refiere a los diversos medios por los que el agua líquida se desliza cuesta abajo por la superficie del terreno. En los climas no excepcionalmente secos, incluidos la mayoría de los llamados desérticos, la escorrentía es el principal agente geológico de erosión y transporte (p.15).

Infiltración

Según Linsley et al. (1977), la infiltración es el movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra, diferente de la percolación que es el movimiento del agua a través del suelo. Una vez que el agua está en contacto con el suelo, el agua gravitacional penetra hacia abajo a través de los intersticios más gruesos, mientras que los más pequeños toman agua por capilaridad. El agua gravitacional, en su trayecto de descenso, también es interceptada por intersticios capilares. A medida que los poros capilares de la superficie se llenan de agua, la tasa de infiltración disminuye. En suelos homogéneos, la infiltración disminuye gradualmente hasta que la zona de aeración es saturada. Normalmente, el suelo es estratificado y las capas inferiores son menos permeables que las capas superficiales; en este caso, la tasa de infiltración se reduce a la tasa de percolación del estrato menos permeable (p.213).

Según Chow et al. (1994), la infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo (p.110).

Según Chereque (2003), la infiltración es el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos fenómenos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. El agua que se infiltra en exceso de la escorrentía - subsuperficial puede llegar a formar parte del agua subterránea, la que eventualmente puede llegar a los cursos de agua (p.61).

Balance hidrológico

Según Imata (1990), el cálculo del balance hídrico en una cuenca fluvial es siempre el principal objetivo; a partir del balance en cuencas fluviales se calculan los balances

hídricos generales y se evalúan los recursos de agua para diferentes países, regiones y continentes. Los componentes principales del balance hídrico son: la precipitación, escorrentía, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas.

Según López y Delgado (2009), un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un Diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área (p.17).

Según Fattorelli y Fernández (2011), El Balance Hidrológico relaciona las variables que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial y subterráneo y flujo de agua subterránea. Se aplica cuando se realiza una distribución de los recursos hidráulicos a nivel global, o en cuencas particulares. Es imprescindible en los estudios de regulación de embalses y en los proyectos de suministro de agua para acueducto, riego y generación hidroeléctrica (p.21).

Según Calderón (2012), El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada. En general, la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance (p.20).

1.2.4 Hidrometría

Según Chereque (2003), Para llegar a conocer los recursos hidráulicos de una cuenca es necesario averiguar el caudal, diariamente, a la misma hora, y durante el mayor número posible de años. Así es como se llega a conocer el régimen de los ríos. Todos los países cuidan de organizar este servicio, estableciendo estaciones de aforo y publicando los resultados. En el Perú esta labor la realiza principalmente Senamhi (p.99).

Hidrograma

Según Linsley et al. (1977), en los estudios hidrológicos en los cuales está involucrado el caudal de un río, es necesario hacer una distinción entre estas componentes del flujo total. El primer paso en tales estudios es dividir los hidrogramas observados en sus componentes, antes de analizar la relación entre precipitación y escorrentía, determinando la forma característica de los hidrogramas para una hoya o estudiando las características de los periodos de estiaje (p.183).

Según Chow et al. (1994), un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función de tiempo en un lugar dado la corriente (p.207).

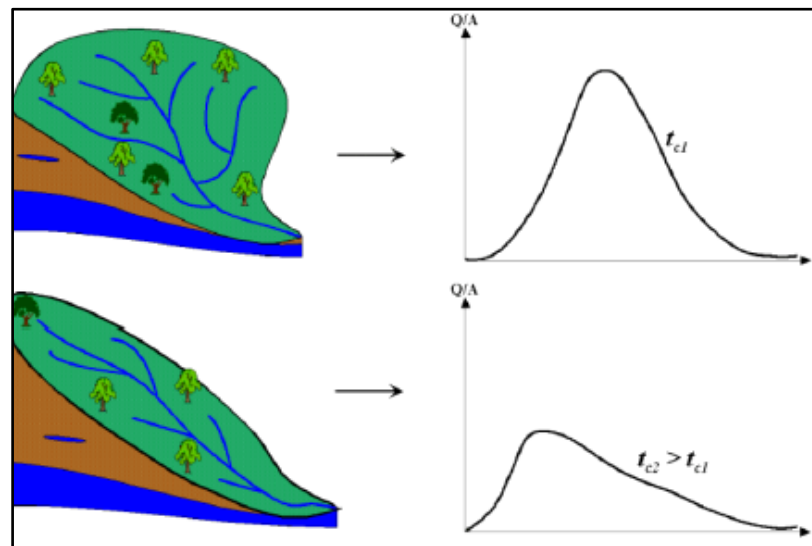


Figura 1.2.6. Tipos de hidrograma en función a la cuenca

Comparación de dos hidrogramas en función de la forma de la cuenca, es decir para este caso a mayor pendiente de la cuenca la respuesta del hidrograma es más directa. Fuente: Ordoñez, J (2012), p.44.

Tipos de caudales

Al manejar datos hidrométricos frecuentemente se encuentran diversos términos técnicos que pueden ser confundidos por su similitud. Por ello se explican algunos de ellos:

Caudal máximo instantáneo

Es aquel caudal de máximo valor que se obtiene de los caudales máximos instantáneos para un determinado período de retorno, puede ser caudal horario, diario, mensual o anual. En esta tesis se usan caudales anuales para la obtención de análisis y resultados (Palacios, 2010, p. 16).

Caudal máximo diario

Es aquel caudal de máximo valor que se obtiene de los caudales medios diarios registrados en un mes o en un año (Palacios, 2010, p. 16).

Caudal medio mensual

El caudal medio mensual es la media de los caudales medios diarios del mes en examen (M = número de días del mes, 28; 30; o, 31, según corresponda) (Palacios, 2010, p. 17).

Relación caudal pico/caudal diario

Es la relación que existe entre el caudal máximo instantáneo y el caudal máximo diario. Generalmente, se admite un valor promedio de 1.6 para esta relación, sabiendo que los resultados de numerosos estudios de crecidas extremas en el mundo dan valores de dicho coeficiente variando entre 1.2 y 2,2 (con valor promedio 1.6) con una probabilidad de 90%. Sin embargo, los valores pueden alcanzar valores mucho más elevados para cuencas pequeñas (Palacios, 2010, p. 17).

Tabla 1.2.2. *Relación caudal pico/caudal diario*

Superficie de cuenca (Km²)	Qpico/Qdiario
S > 3000	1.2
1000 < S > 3000	1.3
800 < S > 1000	1.4
600 < S > 800	1.6
400 < S > 600	2.0
200 < S > 400	2.5
S < 200	3.0 – 6.0

Relación caudal pico/caudal diario, en la vertiente del Pacífico, en el norte de Perú, fuente: Palacios C. (2010), p.17.

1.2.5 Análisis de los datos climáticos

Según Tarazona (2005), la mayoría de las cuencas y las condiciones desarrolladas están en un constante estado de transición; por esta razón, los datos históricos pueden ser válidos sólo para una condición desarrollada e inválidos para otra; por ello, la confianza de la hidrología como una disciplina científica está realmente basada sobre la disponibilidad de suficientes datos (en cantidad y calidad) para verificar las teorías alrededor del fenómeno natural (p.22).

Relleno de datos

Según Brown (1976), el método de la “Water Resources Council” recomienda la realización de ajustes de datos faltantes y dudosos. Los datos faltantes y dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas, como es el caso de las muestras presentadas en diferentes estudios.

Espacialización de datos

Según IAPAR (1998), para la utilización de los datos de precipitación la especialización es muy importante, para determinar las áreas de influencia de los pluviómetros por medio de la técnica de polígonos de Thiessen y por el método de las Isoyetas, teniendo en cuenta los Softwares de Sistemas de Información Geográfica.

Interpolación

Según Marquínez (2003), las distintas metodologías de interpolación, y se han hecho además diversos estudios para tratar de identificar aquella metodología que explique el modelo que mejor se ajuste a la variable precipitación para un área determinada. Tradicionalmente se han empleado métodos simples, como los lineales o cuadráticos, en los cuales los valores interpolados se derivan exclusivamente a partir de los valores de precipitación dados en los observatorios. Con las herramientas más avanzadas del SIG y la inclusión de herramientas geoestadísticas, se han desarrollado nuevas metodologías que incluyen en el procedimiento de interpolación variables topográficas y geográficas como información secundaria.

Método del vector regional

Es un método de cálculo orientado a tres tareas definidas: la crítica de datos, la homogenización y la extensión-completación de datos de precipitación. El vector regional elabora una estación ficticia (vector) que sea una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona. El vector se calcula bajo el concepto de precipitación media extendida, salvando los problemas del peso de las estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas. Se emplea el método de mínimos cuadrados para encontrar los índices pluviométricos regionales anuales Z_i y la precipitación media extendida P_j (Luna & Lavado, 2015, p. 48).

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_{ij}}{P_i} - Z_i \right) \quad (1.2.4)$$

Donde:

- i es el índice del año,
- j es el índice de la estación,
- N es el número de años,
- M es el número de estaciones,
- P_{ij} es la precipitación anual en la estación j el año i,
- P_j es la precipitación media extendida al período de N años, y
- Z_i es el índice pluviométrico regional del año i.

Para ejecutar este método se hizo uso del paquete computacional Hydraccess, y proporciona información diversa en hojas de Microsoft Excel masa (Luna & Lavado, 2015, p. 48).

El paquete computacional Hydraccess, ejecuta el MVR y proporciona información diversa en hojas de cálculo Microsoft Excel. La determinación de la calidad de una estación, es función de diferentes parámetros calculados; los parámetros más importantes, que dan una buena idea del comportamiento de una estación son: (a) La Desviación Standard de los Desvíos (D.E.D), compara la desviación de una estación respecto al vector, un valor fuerte indica desviaciones fuertes. (b) Correlación entre la estación y el vector, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensiblemente más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona (Espinoza, 2005, p. 2).

Interpolación por Kriging

El método del Kriging es probablemente el más exacto, pero requiere más tiempo de máquina. El método presentado en el software Hydraccess es el Kriging Ordinario, y con se calcula la precipitación media de una cuenca.

Este método de interpolación es la base de la Geoestadística, la cual se define como el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio. La herramienta básica del kriging es el semivariograma, que es la función que describe la relación entre las

diferencias de los valores y las distancias entre todos los posibles pares de puntos (ANA, 2015, ps. 114-115).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2 \quad (1.2.5)$$

Donde:

- $\gamma(h)$ es la semivarianza de los datos, solo depende de la separación entre x y $x+h$ y no de la posición del punto x ,
- $Z(x_i)$ es el valor medido de la precipitación en el punto x_i ,
- $Z(x_i+h)$ es el valor medido de la precipitación en otro punto que dista h del anterior, y
- $N(h)$ es el Número de puntos separados a una distancia h .

1.2.6 Simulación de caudales medios

Según Ponce (1989), Un modelo de cuenca (cuenca o cuenca de río) es un grupo de abstracciones matemáticas que describen fases relevantes del ciclo hidrológico, con el objetivo de simular la conversión de la precipitación en escurrimiento. En principio, las técnicas de modelación de cuencas son aplicables a cuencas de cualquier tamaño, ya sean pequeñas (pocas hectáreas), de tamaño medio (cientos de kilómetros cuadrados) o grandes (miles de kilómetros cuadrados). En la práctica, sin embargo, las aplicaciones de la modelación son generalmente confinadas al análisis de cuencas para el cuales la descripción de variaciones espaciales temporales y-o variaciones espaciales de precipitación está garantizada. Usualmente este es el caso para cuencas de tamaño medio y grande.

Según López y Delgado (2009), el modelo hidrológico es una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente representamos es la 'cuenca hidrográfica' y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas (inputs) al sistema y salidas (outputs) a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo (p.21).

Según Calderón (2012), el modelo hidrológico es un modelo matemático que permite la representación del fenómeno en el sistema real a un plano abstracto y después permite la reinterpretación en la realidad las predicciones del modelo (p.24).

Modelo hidrológico Témez

Los principios teóricos empleados para el desarrollo del modelo de Témez (1977) son generales, de manera que se puede aplicar el método a diferentes intervalos de tiempo (semanas, meses, años...). Sin embargo, en opinión de Témez (2007) es necesario tener en cuenta que los periodos temporales empleados no deben de ser excesivamente reducidos, por ejemplo, del orden de un día o unas horas, ya que este método considera que el agua se equilibra entre las distintas etapas del ciclo hidrológico (precipitación, infiltración, escorrentía...) (Cabrera, 2014, p. 127).

El modelo de precipitación–aportación de Témez es de valoración global, de manera que no se consideran las variaciones espaciales y se trabaja solamente con los valores medios en la superficie total de la cuenca considerada. De este modo, conviene limitar su aplicación directa a cuencas no muy extensas (inferiores a 10.000 km²) para atenuar el efecto de la distribución de la lluvia en su interior y para que en ella exista una cierta homogeneidad climática, edafológica y geológica. Las grandes cuencas podrían dividirse en otras menores dentro del campo de aplicación del método y luego componer sus resultados (Cabrera, 2014, p. 127).

De acuerdo al esquema anterior se tiene el balance de humedad que realiza el modelo está constituido por el flujo entrante de precipitación (P_i), el cual se reparte entre una serie de flujos salientes, de flujos intermedios y de almacenamientos intermedios. Los distintos componentes de flujos y almacenamientos se ilustran en la siguiente figura.

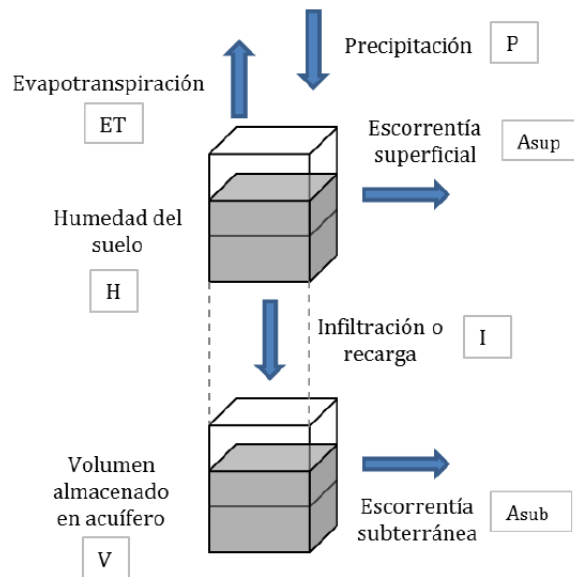


Figura 1.2.7. Flujos y almacenamiento del modelo de Témez

Los distintos componentes de flujos y almacenamientos. Fuente: Paredes et al. (2014), p.14.

Donde:

- Flujos de entrada: la precipitación (P)
- Flujos de salida: la evapotranspiración real (E), la aportación superficial (Asup) y la aportación de origen subterráneo (Asub)
- Flujos intermedios: únicamente la infiltración (I), agua que pasa de la parte superior del suelo a la zona inferior o acuífero, donde se considera que el tiempo de paso de este flujo por el suelo es inferior al tiempo de simulación (el mes), por lo que la infiltración se identifica con la recarga al acuífero durante el mes “t” (Rt).
- Almacenamientos intermedios: la humedad del suelo (Ht), y el volumen almacenado en el acuífero (Vt)

En el modelo de Témez, el agua que procede de la precipitación (P) se distribuye de tres formas diferentes:

- El excedente (T), que a su vez se descompone en un flujo de infiltración al acuífero desde la zona superior del suelo (It), y en un flujo que discurre superficialmente (Asup). Este flujo superficial se evacua a través del cauce dentro del período presente de simulación. Parte del agua almacenada en la zona inferior o acuífero desagua en el intervalo de tiempo presente (Asubt) y la otra parte permanece dicho almacenamiento subterráneo para salir en meses posteriores.

- La evapotranspiración real (Et) de una parte o de toda la humedad almacenada en la zona superior del suelo (Ht)
- La humedad del suelo (Ht) que se almacena en la zona superior del suelo, cuyo límite es la capacidad máxima de almacenamiento hídrico del (Hmax)

La siguiente tabla muestra un resumen de los parámetros del modelo y los rangos orientativos entre los que éstos pueden oscilar. Aunque su valor finalmente calibrado puede superar estos límites.

Tabla 1.2.3. Rangos de parámetros del modelo de Témez

	Hmax (mm)	C	I_{max} (mm)	Alfa (mes-1)
Min	50	0.2	10	0.001
Max	250	1	150	0.9

Los parámetros del modelo Témez y los rangos orientativos entre los que éstos pueden oscilar. Fuente: Paredes et al. (2014), p.19.

Las tablas siguientes muestran una aproximación de los parámetros Hmax e I_{max} en función de los usos del suelo y del tipo de suelo.

Tabla 1.2.4. Valores aproximados de Hmax según usos del suelo

Uso del suelo	Hmax (mm)
Superficies artificiales	40
Espacios con poca vegetación	100
Tierras de labor en secano	155
Tierras de labor en regadío	215
Praderas y pastizales naturales	150
Sistemas agrícolas heterogéneos	195
Cultivos permanentes	210
Vegetación arbustiva	135
Bosque mixto	220
Bosques de frondosas y coníferas	230
Zonas húmedas, superficies de agua y artificiales	300

Aproximación de los parámetros Hmax en función de los usos del suelo. Fuente: Paredes et al. (2014), p.20.

Tabla 1.2.5. *Valores aproximados de I_{max} según litología del terreno*

Litología	I_{max} (mm)
Mat. aluvial de origen indiferenciado	400
Calizas y dolomías	1000
Margas	85
Margas yesíferas	75
Yesos	64
Materiales arenosos	450
Materiales gravo-arenosos	500
Calcarenitas (Macigno)	250
Arcosas	150
Rañas	95
Granitos	65
Rocas metamórficas	20
Gneiss	55
Pizarras	40
Rocas volcánicas	275

Aproximación de los parámetros I_{max} en función de los usos del tipo del suelo. Fuente: Paredes et al. (2014), p.20.

Modelo hidrológico abcd

El modelo “abcd” es un modelo hidrológico no lineal el cual tiene como entradas la precipitación y la evapotranspiración potencial de la cuenca, para producir el flujo en la salida de manera agregada. El modelo representa la humedad almacenada en el suelo y el subsuelo, la escorrentía directa, la interrelación entre el río y el acuífero y la pérdida por evapotranspiración (Loaiza, 2016, p. 25).

El modelo Thomas fue desarrollado como su nombre lo indica en 1981, el cual se le conoce también como modelo abcd. Este modelo de balance hídrico de carácter agregado establece mediante determinación de cuatro (4) parámetros el caudal afluente en una cuenca (Correa & Díaz, 2005, p. 40).

El modelo se basa en el balance hídrico dentro de un sistema que interacciona con el cauce principal. Este considera que el suelo está dividido en tres zonas, una primera parte es donde se presenta todo lo relacionado al almacenamiento superficial y es representado como Sc, para la segunda zona que es la no saturada Sw, se puede asimilar la recarga que experimenta el acuífero Rg a la infiltración I debido a que el caudal subsuperficial Qs es despreciado por el modelo por ser en comparación con la

precipitación muy pequeño, la última zona saturada presenta un almacenamiento S_g . Lo cual podemos observar en la siguiente figura.

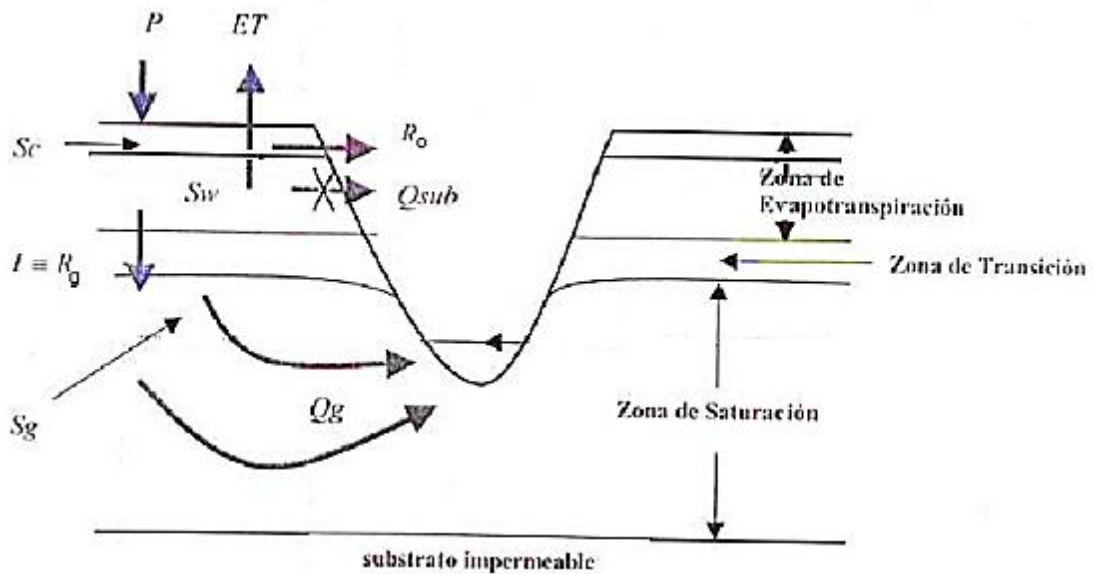


Figura 1.2.8. Esquema del modelo abcd

Esquema del modelo abcd donde se observa la escorrentía directa R_o , y la recarga real R_g . Fuente: Loaiza (2016), p.25.

Modelo hidrológico GR2M

GR2M es un modelo agregado que simula caudales en intervalos temporales. El modelo transforma la precipitación en escorrentía mediante la aplicación de dos funciones: una función de producción y una función de transferencia.

GR2M es un modelo agregado que simula caudales en intervalos temporales. El modelo transforma la precipitación en escorrentía mediante la aplicación de dos funciones: una función de producción y una función de transferencia (Paredes et al., 2014, p. 43).

Su estructura consta de dos depósitos: el depósito de suelo y el depósito de agua gravitacional. La Figura muestra el diagrama del modelo GR2M con los principales procesos hidrológicos que producen escorrentía y que son tomados en cuenta por el modelo.

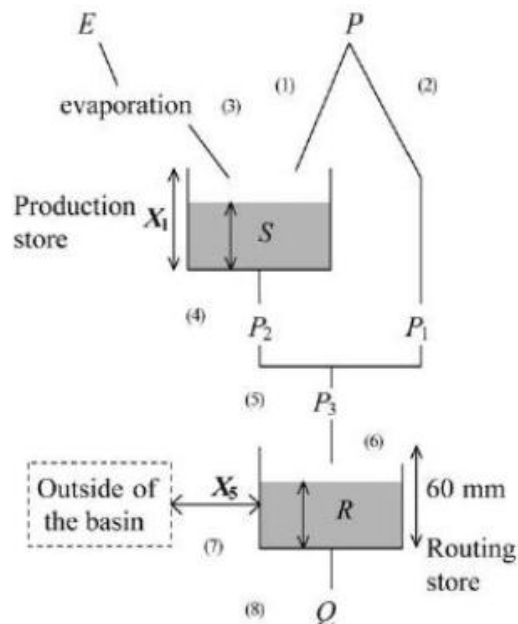


Figura 1.2.9. Esquema del modelo GR2M

Diagrama del modelo GR2M con los principales procesos hidrológicos que producen escorrentía y que son tomados en cuenta por el modelo. Fuente: Paredes et al. (2014), p.43.

Donde:

- P es la precipitación media de la cuenca.
- P_1 es la escorrentía superficial.
- E es la evapotranspiración actual.
- P_2 es la percolación profunda.
- S es el almacenamiento del depósito de suelo al inicio del periodo de análisis.
- R es el almacenamiento del depósito de agua gravitacional al inicio del periodo de análisis.
- Q es el caudal a la salida de la cuenca.
- X_1 es la capacidad máxima de almacenamiento del depósito de suelo y la del depósito gravitacional se asume de 60mm.

Modelo hidrológico Lutz Scholz

Este modelo hidrológico cuenta con una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales para el año promedio, y una estructura estocástica para la generación de series extendidas de caudal; fue desarrollado por el experto Lutz Scholz para cuencas de la sierra peruana entre 1979 y 1980 en el marco de la Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II.

Este modelo fue implementado con fines de pronosticar caudales a escala mensual, teniendo una utilización inicial en estudios de proyectos de riego y posteriormente extendiéndose el uso del mismo a estudios hidrológicos con prácticamente cualquier finalidad (abastecimiento de agua, hidroelectricidad etc.). Los resultados de la aplicación del modelo a las cuencas de la sierra peruana, han producido una correspondencia satisfactoria respecto a los valores medidos (Aguirre, 2014, p. 1).

Ecuación del balance hídrico

La ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual en mm/mes es la siguiente:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i \quad (1.2.6)$$

Donde:

- CM_i es el caudal mensual (mm/mes),
- P_i es la precipitación mensual sobre la cuenca (mm/mes),
- D_i es el déficit de escurrimiento (mm/mes),
- G_i es el gasto de la retención de la cuenca (mm/mes) y
- A_i es el abastecimiento de la retención (mm/mes)

Asumiendo:

- 1) Que para períodos largos (en este caso 1 año) el Gasto y Abastecimiento de la retención tienen el mismo valor.

$$G_i = A_i \quad (1.2.7)$$

- 2) Que para el año promedio una parte de la precipitación retorna a la atmósfera por evaporación. Reemplazando $(P-D)$ por $(C*P)$, y tomando en cuenta la transformación de unidades (mm/mes a m³/seg) la ecuación (1) se convierte en:

$$Q = c' * C * P * AR \quad (1.2.8)$$

Donde:

- Q es el caudal (m³/s),
- c' es el coeficiente de conversión del tiempo (mes/seg),
- C es el coeficiente de escurrimiento,
- P es la precipitación total mensual (mm/mes) y
- AR es el área de la cuenca (m²)

1.2.7 Simulación de Avenidas máximas

Una avenida conocida también como crecida de un río, etc. es la elevación del nivel de un curso de agua mucho mayor que el flujo medio del río; durante la crecida, el caudal de un curso de agua aumenta en tales proporciones que el lecho del río puede resultar insuficiente para contenerlo.

Periodo de Retorno

Además de estos conceptos imprescindibles para estudiar un aguacero, resulta interesante conocer el período de retorno del mismo; para así poder predecir, de alguna forma, cada cuanto tiempo es posible que acontezca un evento de esta naturaleza. Definir este nuevo concepto, exige considerar los aguaceros como aleatorios puros, de manera que sus valores constituyan una población estadística (Robredo, 2017, p. 6).

El periodo de retorno es uno de los parámetros, más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas, como por ejemplo; el vertedero de una presa, los diques para control de inundaciones; o una obra que requiera cruzar un río o arroyo con seguridad como por ejemplo un puente (Villón, 2002, p. 242).

Modelos de distribución de probabilidades

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferente períodos de retomo, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos (Antequera, 2014, p. 16-17).

Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos (Segeber & Villodas, 2007, p. 23).

Existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas usadas en eventos hidrológicos. Sin embargo, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2011) recomienda las siguientes algunas de ellas para la determinación de caudales máximos, mostrada a continuación:

- 1) Distribución Normal
- 2) Distribución Log-normal 2 parámetros

- 3) Distribución Gamma 2 parámetros
- 4) Distribución Gumbel

Con estos criterios se establecen las precipitaciones máximas en 24 horas, y caudales instantáneos en 24 horas, para los períodos de retorno que se deseen (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años etc.).

La distribución de frecuencias de valores máximos de un evento meteorológico depende principalmente de su naturaleza. La distribución Gumbel (1934) ha sido empleada con buenos resultados para el estudio de frecuencias de valores extremos de las variables meteorológicas, aunque en la actualidad también se utilizan otras distribuciones. De tal manera que, aplicándose a los valores máximos diarios de series anuales de lluvias, se han logrado ajustes muy precisos para los mismos (Robredo, 2017, p. 7).

Corrección por intervalo fijo de observación

los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomadas de un intervalo de observación único y fijo, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementadas en un 13%, conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas. (Caballero, 2015, p. 23)

Curvas intensidad - duración – frecuencia (IDF)

Una definición más detallada es la entregada por Mintegui y López (1990), quienes señalan que las curvas IDF representan a las duraciones en las abscisas y a la altura o intensidad de precipitación en las ordenadas, donde cada curva representada corresponde a una frecuencia (o período de retorno), de tal forma que las gráficas de estas curvas representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los puntos de una misma curva a un idéntico período de retorno (Pizarro et al., 2007, p. 12).

Sobre los datos precipitación en 24 horas se realiza un estudio estadístico de probabilidad de ocurrencia, basado en datos de diversos aguaceros que hayan tenido lugar a lo largo del tiempo, se pueden elaborar curvas que relacionen, además, la

probabilidad de un determinado valor. En este caso tendríamos las curvas de altura-duración-frecuencia o intensidad-duración-frecuencia (Robredo, 2017, p. 8).

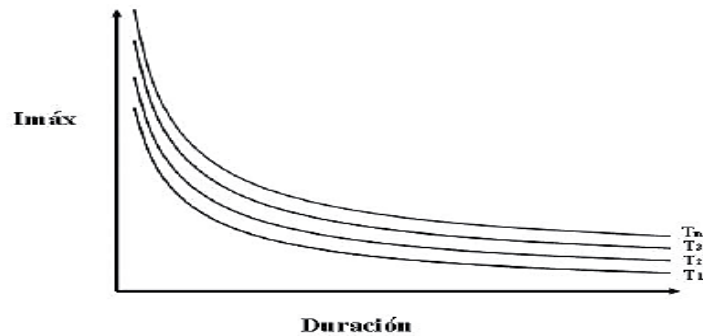


Figura 1.2.10. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Relación teórica entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno. Fuente: Pizarro et al. (2007), p.12.

La figura muestra gráficamente la relación teórica entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno. En ella se observa que la intensidad decrece a mayor duración y a su vez, para una tormenta de cualquier duración, se tendrá mayor intensidad a mayor período de retorno.

Hietograma de diseño

El hietograma es un gráfico que expresa las alturas de lluvia caídas por unidad de tiempo. Para representarlo, en las abscisas se lleva el tiempo en horas ó intervalos aún menores, incluso de unos cuantos minutos si interesa y en las ordenadas la lluvia caída en la unidad de tiempo elegida, medida en mm (Robredo, 2017, p. 6).

En ocasiones no es suficiente el dato de que (por ejemplo) la precipitación máxima para las 5 horas más lluviosas es de 84 mm. Es posible que necesitemos conocer la evolución de esos 84 mm. A lo largo de esas 5 horas (Sánchez, 2017, p. 1).

Una de las maneras de obtenerlo es a partir de las curvas IDF, dentro de ellas el Método del Bloque Alternativo, es una manera sencilla. (Alternating block method, Chow et al).

Método del bloque alternativo

El método del bloque alternativo es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva-duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$ (Chow et al., p. 477).

Tiempo de concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante, al tiempo que máximo; el punto hidrológicamente más alejado es aquél desde el que el agua de escorrentía emplea más tiempo en llegar a la salida (Ibáñez, et al., 2017, p. 3).

El tiempo de concentración, o tiempo mínimo necesario para que toda la cuenca esté aportando agua al punto de salida, es un parámetro característico de cada cuenca y depende de los siguientes factores:

- del tamaño de la cuenca: a mayor tamaño mayor t_c
- de la topografía: a mayor accidentalidad o pendiente, menor t_c
- la forma: a igualdad de otros factores, las cuencas alargadas presentan menores t_c que las cuencas apaisadas o redondeadas.

Desde el punto de vista empírico, en la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración de las cuencas hidrográficas, desarrolladas por diferentes autores para diferentes regiones del mundo (Vélez & Gutiérrez, 2010, p. 5).

En el presente estudio para el cálculo del tiempo de concentración usaremos los métodos recomendados por Vélez & Gutiérrez, 2010, y se mencionan a continuación.

Kirpich

$$T = 0.02 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (1.2.9)$$

Dónde:

- T es el tiempo de concentración (minutos),
- L es la longitud máxima a la salida (m) y
- S es el pendiente medio del lecho (m/m).

California Culvert Practice

$$t_c = 60 \left[\frac{0.87075L^3}{H} \right]^{0.385} \quad (1.2.10)$$

Donde:

- t_c es el tiempo de concentración (min),
- L es la longitud del curso de agua más largo (km) y
- H es la diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m).

Tiempo de rezago

Se encuentran en la literatura la relación propuesta por el “Soil Conservation Service”, SCS, quien propone que es 0,6 veces el tiempo de concentración (Vélez & Gutiérrez, 2010, p. 7).

Hidrograma Unitario (HU)

Introducido por L. K. Sherman (1932), se define como el Hidrograma de Escorrentía Directa (HED) resultante de 1 mm de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje, a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. Sherman basó su teoría en la existencia de una relación lineal entre la precipitación escurrida y la escorrentía (Pérez, 2007, p. 10).

Se considera las siguientes suposiciones básicas:

El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva, lo que se traduce como condición que las lluvias seleccionadas para su derivación sean de corta duración para obtener una forma adecuada del hidrograma.

- El exceso de precipitación está uniformemente distribuido a través de toda el área de drenaje. Esta suposición implica que el área de la cuenca no puede ser excesivamente grande, en general no mayores a 5000 km².
- El tiempo base de HED resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante
- Las ordenadas de todos los HED de un tiempo base común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma
- Para una cuenca dada, el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca.

Generalmente estas condiciones no son satisfechas a la perfección, pero una buena elección de la información hidrológica entrega resultados más que aceptables (Pérez, 2007, p. 11).

Para la utilización práctica del modelo se requieren los principios de linealidad y superposición.

Dados estos principios de linealidad y superposición inherentes al modelo, es posible obtener los HED para cualquier tormenta, compuesta por distintos bloques de precipitación mediante el uso de la convolución discreta.

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (1.2.11)$$

Donde:

- Q_n es el caudal de escorrentía directa en el instante n,
- P_m es la precipitación efectiva del bloque m y
- U_{n-m+1} son caudales por unidad de precipitación efectiva en el HU

En general, un hidrograma unitario (HU) es la respuesta hidrológica de una cuenca hidrográfica ante una precipitación unitaria (volumen unitario de lluvia neta), uniformemente distribuida en espacio y tiempo. Las lluvias netas se suponen de distribución uniforme y de intensidad constante en toda el área de drenaje de la cuenca. Los hidrogramas unitarios sintéticos son aquellos HU's derivados de forma empírica, que se puede utilizar en cuencas no aforadas; estos HU's tratan de establecer el tiempo base y el tiempo al caudal pico de este hidrograma en función de las características morfométricas de la cuenca hidrográfica, cuyo valor puede obtenerse fácilmente de la cartografía de la zona (Vargas, 2010, p. 25).

Hidrograma unitario del SCS

El desarrollo de hidrogramas unitarios sintéticos se basa en el siguiente principio:

- Si el volumen del hidrograma de escorrentía superficial es conocido (volumen es igual al área de la cuenca hidrográfica multiplicado por una unidad de profundidad de escorrentía superficial),
- El caudal pico puede ser calculado suponiendo una cierta forma del hidrograma unitario.

Si se supone una forma triangular (véase Figura), el volumen es igual a:

$$V = \frac{U_p t_b}{2} = Ax(1) \quad (1.2.12)$$

Donde:

- V es el volumen bajo el hidrograma unitario triangular (m3),
- U_p es el caudal pico (m3/s),
- t_b es el tiempo base del hidrograma unitario triangular (h),
- A es el área de drenaje de la cuenca hidrográfica (km2) y
- (1) es una unidad de profundidad de escorrentía (mm)

$$U_p = \frac{2A}{t_b} \quad (1.2.13)$$

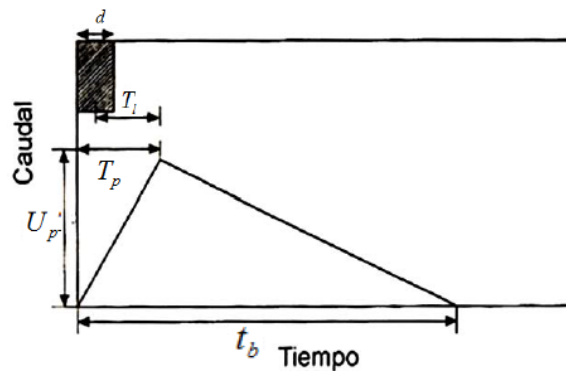


Figura 1.2.11. Hidrograma unitario triangular del SCS

Esquema de hidrograma unitario triangular donde se observa el T_l que es el tiempo de retardo o rezago de la cuenca

Para un milímetro de lluvia efectiva el caudal pico resulta igual a:

$$U_p = \frac{0.208A}{T_p} \quad (1.2.14)$$

Donde:

- T_p es el tiempo al pico del hidrograma unitario triangular (h)

Para el cálculo del tiempo al pico (T_p) se pueden emplear las siguientes ecuaciones:

$$T_p = \frac{d}{2} + T_l \quad (1.2.15)$$

$$T_p = \frac{d}{2} + 0.6T_c \quad (1.2.16)$$

Donde:

- d es la duración de la precipitación de excesos (h),

- T_c es el tiempo de concentración de la cuenca (h) y
- T_l es el tiempo de rezago de la cuenca (h)

El método del número de curva (CN) ha establecido una ecuación por medio de la cual se puede obtener el valor del tiempo de rezago (Lag Time – l T), sin embargo, no es posible conocer la certeza de este resultado; por tal motivo, en el presente trabajo para llevar a cabo la aplicación del HU del SCS se realizará un análisis de la sensibilidad e incertidumbre de este parámetro, con el fin de analizar su comportamiento en la estimación de la escorrentía superficial.

La metodología utilizada para realizar el cálculo del tiempo de rezago Lag Time según el HU del SCS es:

$$T_l = \frac{l^{0.8}[25400 - 22.86(CN)]^{0.7}}{14104(CN)^{0.7}S_L^{0.5}} \quad (1.2.17)$$

Donde:

- l es la longitud axial (m) y
- S_L es el pendiente de ladera (%).

La relación del tiempo base y el tiempo al pico del hidrograma unitario triangular está dada por la siguiente ecuación:

$$t_b = \frac{8}{3}T_p \quad (1.2.18)$$

Hidrograma unitario de Snyder

En 1938, Snyder introdujo el concepto del hidrograma unitario sintético. Mediante el análisis de las condiciones de escurrimiento en un gran número de cuencas, Snyder fue capaz de desarrollar valores para la duración de la escorrentía y niveles máximos de inundación para los diferentes tipos de cuencas bajo condiciones variables. Su procedimiento permite a los hidrólogos estudiar y analizar las cuencas de drenaje en las áreas de 10 a 10.000 kilómetros cuadrados para los registros que no estaban disponibles o no eran fiables. Esto incluyó un gran número de cuencas en los Estados Unidos (Vargas, 2010, p. 29).

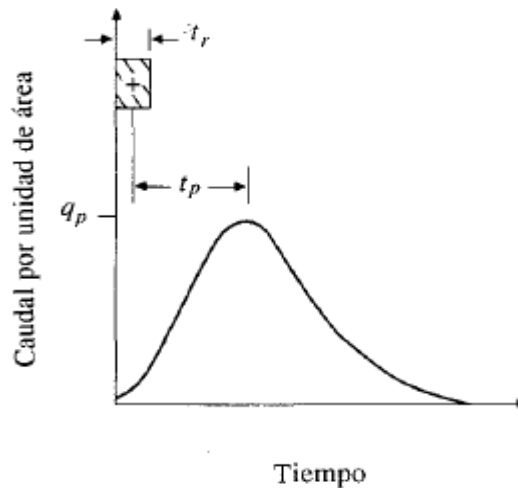


Figura 1.2.12. H. U. estándar de Snyder (1938)

Hidrograma unitario estándar para $t_p = 5.5t_r$. Fuente: Chow et al. (1994), p.231.

Chow et al. (1994), Snyder definió el hidrograma unitario estándar como aquel cuya duración de lluvia t_r está relacionada con el retardo de la cuenca t_p (p.232).

$$t_p = 5.5t_r \quad (1.2.19)$$

Para un hidrograma unitario estándar encontró que el retardo de la cuenca para un hidrograma unitario es:

$$t_p = 0.75C_t(LL_c)^{0.3} \quad (1.2.20)$$

Donde:

- t_p es el tiempo de retardo (h),
- L es la longitud del cauce principal (km),
- L_c es la longitud centroide (km) y
- C_t es el coeficiente basado en cuencas instrumentadas (en un rango de 1.35 - 2.65).

El caudal pico q_p por unidad de área de drenaje del hidrograma unitario estándar es:

$$q_p = \frac{2.75C_p}{t_p'} \quad (1.2.21)$$

Donde:

- C_p es el coeficiente basado en cuencas instrumentadas (en un rango de 0.56- 0.69).

El tiempo de retardo corregido t_p' es:

$$t_p' = t_p - 0.25(t_r - d) \quad (1.2.22)$$

Donde:

- t_p' es el tiempo de retardo corregido (h) y
- d es la duración de la precipitación de excesos (h)

El caudal pico del hidrograma unitario estándar es:

$$U_p = q_p A \quad (1.2.23)$$

- A es el área de drenaje de la cuenca hidrográfica (km²).

El caudal pico del hidrograma unitario se da en (m³/s) /cm, por lo tanto, es necesario dividir el caudal entre diez con el fin de expresar su valor en milímetros.

Según Chow et al. (1994) , el tiempo base t_b en horas del hidrograma unitario puede determinarse utilizando el hecho de que el área bajo el hidrograma unitario es equivalente a una escorrentía directa de 1 cm (1 pulg en el sistema inglés de unidades). Suponiendo una forma triangular para el hidrograma unitario.

$$t_b = \frac{5.56}{q_p} \quad (1.2.24)$$

El tiempo al pico del hidrograma unitario está dado por la siguiente ecuación:

$$T_p = t_p' + \frac{d}{2} \quad (1.2.25)$$

El método de Snyder fue muy utilizado por el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers, 1959). Su experiencia condujo a dos fórmulas empíricas que ayudan a determinar la forma del hidrograma unitario de Snyder.

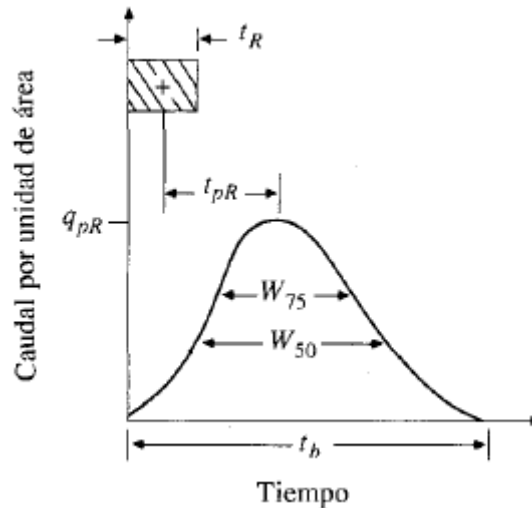


Figura 1.2.13. Hidrograma unitario requerido de Snyder

Hidrograma unitario requerido para $t_{pR} \neq 5.5t_{rR}$. Fuente: Chow et al. (1994), p.231.

$$W_{75} = \frac{1.22}{q_p^{1.08}} \quad (1.2.26)$$

$$W_{50} = \frac{2.14}{q_p^{1.08}} \quad (1.2.27)$$

Donde W_{50} es el ancho del hidrograma unitario para el 50% del caudal pico (h), y W_{75} es el ancho del hidrograma unitario para el 75% del caudal pico (h). Estos anchos de tiempo deben ser proporcionados de tal manera que una tercera parte quede localizada antes del caudal pico y que las dos terceras partes restantes lo sean después de este.

Método SCS para abstracciones o pérdidas

Este método fue elaborado por U.S. Soil Conservation Service y se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de las características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal (Robredo, 2017, p. 22).

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de tierra (Chow et al., 1994, p. 153).

Los suelos se clasifican en uno de los cuatro grupos siguientes:

- Grupo (A). Es el que ofrece menor escorrentía. Incluye los suelos que presentan mayor permeabilidad, incluso cuando están saturados. Comprenden los terrenos profundos, sueltos, con predominio de arena o grava y con muy poco limo o arcilla.

- Grupo (B). Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del Grupo I, aquellos otros de textura franco-arenosa de mediana profundidad y los francos profundos.
- Grupo (C). Incluye los suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados.
- Grupo (D). Es el que ofrece mayor escorrentía. Incluye los suelos que presentan gran impermeabilidad, tales como los terrenos muy arcillosos profundos con alto grado de tumefacción, los terrenos que presentan en la superficie o cerca de la misma una capa de arcilla muy impermeable y aquellos otros con subsuelo muy impermeable próximo a la superficie.

Tabla 1.2.6. *Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia = 0.2s)*

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Área abierta, césped, parques, campos de golf, cementerios,	39	61	74	80
etc. óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	49	69	79	84
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%				
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales /72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio			
impermeable ⁴	77	85	90	92
1/8 acre o menos	61	75	83	87

¹ Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap.9.

² Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

³ Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los sucesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

⁴ Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
1/4 acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
1/2 acre	25	51	68	79	84
1 acre	20				
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras:					
	Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Los Valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos. Fuente: Chow et al. (1994), p.154.

En cuanto a la cubierta vegetal se establecen distintas clases con gradaciones, de pobres a buenas para la infiltración, en sus condiciones hidrológicas. Cuanto más denso es el cultivo, mejor es su condición hidrológica para la infiltración y menor es el valor del número N representativo de la escorrentía (Robredo, 2017, p. 25).

Software Hidroesta 2

El software permite el cálculo de los parámetros estadísticos, cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple así como regresión polinomial, evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones, calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia, realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviogramas, los cálculos de aforos realizados con molinetes o correntómetros, el cálculo de caudales máximos, con métodos empíricos y estadísticos, cálculos de la evapotranspiración y cálculo del balance hídrico (Villón, 2005, p. 67).

Software HEC HMS 4.0

El sistema de modelaje hidrológico (HMS por sus siglas en inglés) fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC por sus siglas en inglés) perteneciente al Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos, basado en algoritmos de varios modelos desarrollados. Este modelo está diseñado para simular el proceso

⁵ En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

precipitación-escorrentía en cuencas dentríticas que puede tener uno o más reservorios como parte de su sistema de drenaje. Todo esto dentro de una interfaz gráfica de usuario clara y fácil de usar.

1.2.8 Calibración de modelos hidrológicos

Una vez que se ha identificado el modelo y se ha programado, necesitamos aplicarlo al problema concreto que nos ocupa. Para ello necesitamos en primer lugar obtener los valores de los parámetros que utiliza el modelo estos pueden medirse directamente en el campo (sería la manera de proceder en un modelo físico) u obtenerse utilizando técnicas de optimización que a partir de unos valores conocidos de las variables de entrada produzcan los correspondientes resultados en las variables de estado y de salida (sería la manera de proceder en los modelos empíricos) (Alonso & Palazón, 2008, p. 61).

Uno de los errores más habituales cuando se trabaja en la modelización de sistemas ambientales es medir primero en el campo y modelizar después sobre estos datos. El modo de proceder más adecuado sería empezar por una correcta identificación del problema que, al menos nos permitiera conocer cuáles son los parámetros que habrá que medir. Si el modelo se ha construido podremos haber hecho incluso un análisis de sensibilidad que nos permita determinar que parámetros merece la pena medir con mayor precisión y mayor resolución espacial (Alonso & Palazón, 2008, p. 61).

Cuando estamos trabajando con un modelo empírico, los valores de los parámetros deben calibrarse a partir de una muestra de valores de entrada y de salida del modelo y de una función objetivo cuyo valor debe minimizarse. Los valores de los parámetros, tras calibrar el modelo, deben tener valores con cierto sentido físico, si no es así puede que el modelo tenga poder predictivo para el conjunto de datos utilizado en la calibración, pero tendrá muy poca capacidad explicativa y será muy poco generalizable (Alonso & Palazón, 2008, p. 62).

1.2.9 Medidas de la bondad del ajuste

En la calibración de modelos hidrológicos generalmente se utiliza “criterios de exactitud” con el fin de cuantificar la bondad del ajuste del modelo y de esta manera evaluar la capacidad predictiva del modelo (Chuquín, 2016, p. 13).

Validación es el proceso de comprobar que los resultados aportados por los modelos para las variables de salida y de estado no son muy diferentes a los medidos en la realidad. Existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo (Alonso & Palazón, 2008, p. 62).

Para la evaluación de la performance de un modelo es recomendable usar criterios de eficiencia complementándose con la evaluación del error de volumen absoluto o relativo (Krause et al., 2005).

Es por ello que para evaluar la performance del modelo se ha seleccionado los siguientes criterios de evaluación:

- el coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NS),
- el coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe, logarítmico (NSL),
- coeficiente de correlación,
- coeficiente de determinación,
- Bias Scores (Comparación de medias), y
- prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

El coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NS)

El rango de valores de NS se encuentra entre 1 (ajuste perfecto) y $-\infty$. Un coeficiente de eficiencia menor de cero indica que el valor medio de la serie observada podría ser un mejor pronosticador que el modelo (Vegas et al., 2015, p. 8).

Tabla 1.2.7. *Criterio de eficiencia 1 Nash-Sutcliffe*

Nash	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 -0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Los parámetros calibrados óptimos en función de este índice tienden a representar lo mejor posible los picos altos (caudales elevados) mientras que los bajos tiende a subestimarlos. Fuente: Cabrera J (2017), p. 6; y Chuquín (2016), p. 14.

Tabla 1.2.8. *Criterio de eficiencia 2 Nash-Sutcliffe*

Nash	Ajuste
<0.65	insatisfactorio
0.65 – 0.8	aceptable
0.8 – 0.9	bueno
>0.9	Muy bueno

Indicador adimensional de la bondad de ajuste. Fuente: Lujano et al. (2015), p. 3.

Este indicador puede ser utilizado para cualquier escala de tiempo.

El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe, logarítmico (NSL)

Empleado cuando los valores de la media modelada son demasiados grandes, es decir que toma importancia cuanto mayor es la cantidad de caudales bajos (Chuquín, 2016, p. 15).

Para reducir el problema de sensibilidad a los valores extremos que presenta el NS se calcula el NSL con los valores logarítmicos de los valores observados y simulados. A través de la transformación logarítmica los valores picos son aplanados y los valores más bajos se mantienen más o menos al mismo nivel teniendo como resultado un incremento en la sensibilidad del NSL sobre la sobreestimación o subestimación sistemática del modelo (Vegas et al., 2015, p. 8).

Coefficiente de correlación

El coeficiente de correlación de Spearman es exactamente el mismo que el coeficiente de correlación de Pearson, calculado sobre el rango de observaciones. La correlación estimada entre X e Y se halla calculando el coeficiente de correlación de Pearson para el conjunto de rangos apareados (Martínez et al., 2009, p. 7).

Al momento de utilizar prueba estadística correlación de Spearman, es necesario tener en cuenta el objetivo de la investigación, el hecho de que las dos variables tiendan a crecer o decrecer juntas no indica que la una tenga un efecto directo o indirecto sobre la otra. Ambas pueden estar influidas por otras variables de modo que se origine una fuerte relación matemática.

Tabla 1.2.9. *Criterio de eficiencia 1 por coeficiente de correlación*

Interpretación	Rango
Perfecta	$r = 1$
Excelente	$0.9 < r < 1$
Buena	$0.8 < r < 0.9$
Regular	$0.5 < r < 0.8$
Mala	$r < 0.5$

Indicador adimensional de la bondad de ajuste. Fuente: Martínez et al. (2009), p. 9.

Tabla 1.2.10. *Criterio de eficiencia 2 por coeficiente de correlación*

Interpretación	Rango
Entre fuerte y perfecta	$0.76 < r < 1$
Entre moderada y fuerte	$0.51 < r < 0.75$
Débil	$0.26 < r < 0.5$
Escasa o nula	$0 < r < 0.25$

Indicador adimensional de la bondad de ajuste. Fuente: Martínez et al. (2009), p. 9.

Coefficiente de determinación

Esta medida es el Coeficiente de Determinación, que es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson, y da la proporción de variación de la variable Y que es explicada por la variable X (variable predictora o explicativa). Si la proporción es igual a 0, significa que la variable predictora no tiene NULA capacidad predictiva de la variable a predecir (Y). Cuanto mayor sea la proporción, mejor será la predicción. Si llegara a ser igual a 1 la variable predictora explicaría TODA la variación de Y, y las predicciones NO tendrían error (Chorro, 2017).

Tabla 1.2.11. *Criterio de eficiencia por coeficiente de determinación*

R	Ajuste
<0.65	insatisfactorio
0.65 – 0.85	satisfactorio
0.85 – 0.95	bueno
>0.95	Muy bueno

Indicador adimensional de la bondad de ajuste. Fuente: Lujano et al. (2015), p. 3.

Bias Scores (Comparación de medias)

El BIAS mide el error total de la descarga simulada. El BIAS presenta tanto valores positivos como negativos: los valores positivos indican una subestimación de la descarga total simulada; valores negativos indican una sobrestimación del volumen total simulado, y un valor de cero indica un ajuste perfecto.

Indica la tendencia promedio de los datos simulados de ser mayores o menores que los datos observados (Gupta et al., 1999). Un BIAS positivo implica que la tendencia del modelo es a simular valores a la izquierda de las observaciones, y viceversa cuando es negativo. Moriasi et al. (2007), menciona que el valor óptimo del BIAS es 0.0. (Lujano et al., 2015, p. 3)

Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

La prueba Kolmogorov-Smirnov se aplica para contrastar la hipótesis de normalidad de la población, la distribución del estadístico de Kolmogorov-Smirnov es independiente de la distribución poblacional especificada en la hipótesis nula y los valores críticos de este estadístico están tabulados (Alea et al., 2005).

1.2.10 Sistemas de información geográficas SIG en la hidrología

Según Burrough (2000), integrar los SIG y los modelos hidrológicos implica conectar los datos geoespaciales que describen el entorno físico, con los modelos de procesos hidrológicos que describen el movimiento del agua a través del medio.

Según Morad y Pérez (2001), hay dos contribuciones que justifican la utilización de los SIG en la hidrología. Una de ellas está dirigida al sentido productivo ya que permiten manipular gran cantidad de información, mientras que la segunda, se dirige a la capacidad y las aportaciones en la aprehensión de los modelos y los sistemas hidrológicos.

Según López y Delgado (2009), la forma de una superficie determina el modo en que el agua pueda fluir a través de la misma. Las herramientas de análisis hidrológico de ArcGIS proveen un método que permite describir las características físicas de una superficie. Utilizando un modelo de elevación digital, es posible delinear un sistema de drenaje y cuantificar las características del sistema. Estas herramientas permiten determinar para cualquier ubicación de la cuenca el área de contribución para cualquier punto de interés y la cantidad de agua que puede recibir dicho punto (p.26).

1.3 Definición de términos básicos

- **Ciclo.** Período de tiempo o cierto número de años que, acabados, se vuelven a contar de nuevo.

- **Penetrar.** Pasar a través de un cuerpo.
- **Interceptar.** Detener algo en su camino.
- **Corriente.** Movimiento de traslación continuado, ya sea permanente, ya accidental, de una masa de materia fluida, como el agua o el aire, en una dirección determinada.
- **Punto.** Dato, informe, documento, etc., para iniciar o completar el conocimiento exacto de algo.
- **Respuesta.** Efecto que se pretende conseguir con una acción.
- **Relación.** Resultado de comparar dos cantidades expresadas en números.
- **Tormenta.** Perturbación atmosférica violenta acompañada de aparato eléctrico y viento fuerte, lluvia, nieve o granizo.
- **Movimiento.** Estado de los cuerpos mientras cambian de lugar o de posición.
- **Conductividad.** Dicho de una cosa: Que tiene virtud de conducir
- **Histórico.** Averiguado, comprobado, cierto.
- **Dato.** Información dispuesta de manera adecuada para su tratamiento por un ordenador.
- **Influencia.** Dicho de una cosa: Producir sobre otros ciertos efectos; como el hierro sobre la aguja imantada, la luz sobre la vegetación, etc.
- **Modelo.** Esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, que se elabora para facilitar su comprensión y el estudio de su comportamiento.
- **Balance.** Estudio comparativo de las circunstancias de una situación, o de los factores que intervienen en un proceso, para tratar de prever su evolución.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Ubicación de la zona de estudio

2.1.1 Ubicación política

La presente tesis de investigación se desarrolló en el ámbito de la cuenca del río Cachi, la zona de estudio se encuentra dentro de las cuencas de las tres bocatomas principales de la Irrigación Cachi.

Tabla 2.1.1. *Ubic. política de las bocatomas de la Irrigación Cachi*

Bocatomas	Departamento	Provincia	Distrito
Apacheta	Ayacucho	Cangallo	Paras
Choccoro	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Chiclarazo	Ayacucho	Cangallo	Chuschi

. Ubicación política de las bocatomas, que son los puntos de aforo para el estudio. Fuente: elaboración propia



Figura 2.1.1. Mapa de ubicación de la región Ayacucho, las provincias.

La figura en la izquierda muestra la ubicación de la región de Ayacucho dentro de Perú, la figura a la derecha muestra la ubicación de las provincias de Cangallo y Huamanga, dentro del cual se encuentra la cuenca de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.



Figura 2.1.2. Mapa de ubic. de distritos de Chuschi, Paras y Vinchos

Se muestra la ubicación de los distritos donde se encuentra la cuenca alta de la Irrigación Cachi, donde también se encuentran las bocatomas principales. Fuente: elaboración propia.

Los puntos de captación se encuentran ubicados en los ríos Choccoro, Chicllarazo y Apacheta, y se encuentran dentro de los distritos de Vinchos, Chuschi y Paras, provincias de Huamanga y Cangallo, de la región Ayacucho.

2.1.2 Ubicación geográfica

En el cuadro se indica el sistema de coordenadas UTM de los puntos de captación de la Irrigación Cachi, que también son los puntos de aforo para la delimitación de las subcuencas hidrográficas.

Tabla 2.1.2. Ubic. UTM WGS84 de bocatomas de Irrigación Cachi

Bocatomas	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Altitud
Apacheta	538403.00 m E	8524081.00 m S	4181 m.s.n.m
Choccoro	556101.00 m E	8516455.00 m S	4055 m.s.n.m
Chicllarazo	558312.00 m E	8511962.00 m S	3856 m.s.n.m

Ubicación geográfica de las bocatomas, que son los puntos de aforo para el estudio. Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestra el mapa de ubicación geográfica de las cuencas hidrográficas de las bocatomas del Irrigación Cachi.

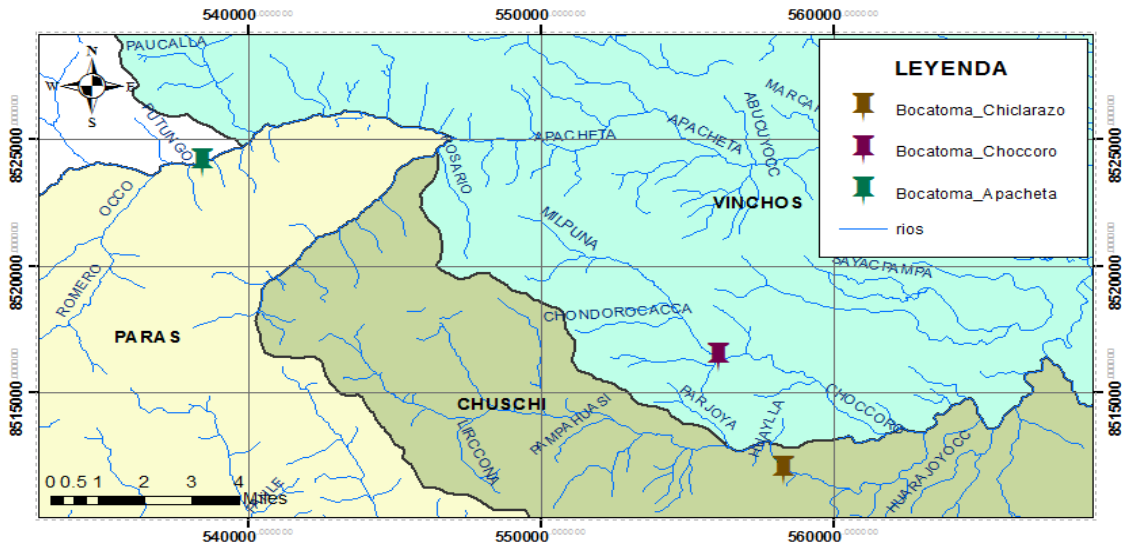


Figura 2.1.3. Mapa de ubic. de bocatomas de la Irrigación Cachi

Ubicación de la bocatoma Choccoro que se encuentra dentro del territorio del distrito de Vinchos, la bocatoma Chicllarazo dentro del territorio del distrito de Chuschi, y la bocatoma Apacheta dentro del distrito de Paras. Fuente: elaboración propia.

2.1.3 Zonas de vida

Las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro y Chicllarazo, se encuentran en las zonas de vida bosque húmedo Montano Subtropical (bh-MS) y paramo muy húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS), mientras que la cuenca de la bocatoma Apacheta se encuentra en las zonas de vida paramo muy húmedo Subalpino Subtropical (pmh-SaS) y tundra pluvial Alpino Subtropical (tp-AS).

2.1.4 Vías de comunicación

Las zonas en estudio en la tesis tienen varias redes de caminos en base a un eje troncal de carreta que es vía libertadores, tomando con referencia la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Tomando como partida la ciudad de Ayacucho hasta las zonas en estudio se tiene las siguientes vías de acceso:

Tabla 2.1.3. Vía de acceso I a las bocatomas de Irrigación Cachi

Descripción	Distancia	Tiempo	Tipo
Ayacucho - Casacancha	41 km	1:15 h	Carretera asfaltada
Casacancha – Unión Potrero	31.7 km	1:15 h	Carretera Afirmada
Unión Potrero – Bocat. Chicllarazo	6.5 km	0:20 h	Carretera Afirmada
Bocat. Chicllarazo – Bocat. Choccoro	6.8 km	0:25 h	Trocha Carrozable
Bocat. Choccoro – Rumichaca	29.2 km	1:15 h	Trocha Carrozable
Rumichaca – Bocat. Apacheta	7.5 km	0:10 h	Carretera asfaltada

Vías de acceso alternativa I a las bocatomas, que son los puntos de aforo para el estudio. Fuente: elaboración propia, trazado y calculado de Google Maps.

Tabla 2.1.4. *Vía de acceso II a las bocatomas de Irrigación Cachi*

Descripción	distancia	Tiempo	Tipo
Ayacucho - Rumichaca	73.3 km	2:00 horas	Carretera asfaltada
Rumichaca - Bocat. Apacheta	7.5 km	0:10 h	Carretera asfaltada
Rumichaca – Bocat. Choccoro	29.2 km	1:15 h	Trocha Carrozable
Bocat. Choccoro – Bocat. Chiclarazo	6.8 km	0:25 h	Trocha Carrozable

Vías de acceso alternativa II a las bocatomas, que son los puntos de aforo para el estudio. Fuente: elaboración propia, trazado y calculado de Google Maps.

2.2 Materiales y equipos

2.2.1 Información cartográfica

Se obtuvo información cartográfica en formato shape (.shp) a escala 1:100 000 del Ministerio de Educación del Perú, la carta que abarca la zona de estudio es 27-n y 27-ñ de la zona 18 sur. Asimismo, se obtuvo información en forma de puntos de coordenadas UTM con la ayuda de los softwares Google Earth pro y Global Mapper v 17.

2.2.2 Información de datos de entrada

Información de datos observados

Se obtuvo información de datos meteorológicos de referencia que son necesarios para ver el comportamiento de los caudales en las cuencas hidrográficas, y para desarrollar la presente tesis los datos meteorológicos usados son registros de precipitación, temperatura y descarga, por medio del servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI) y la autoridad nacional del agua (ANA).

Para la ejecución de la presente tesis, se obtuvo información proveniente de un total de 32 estaciones localizadas en las cuencas del río Mantaro, cuenca del río Pampas y la cuenca del río Pisco.

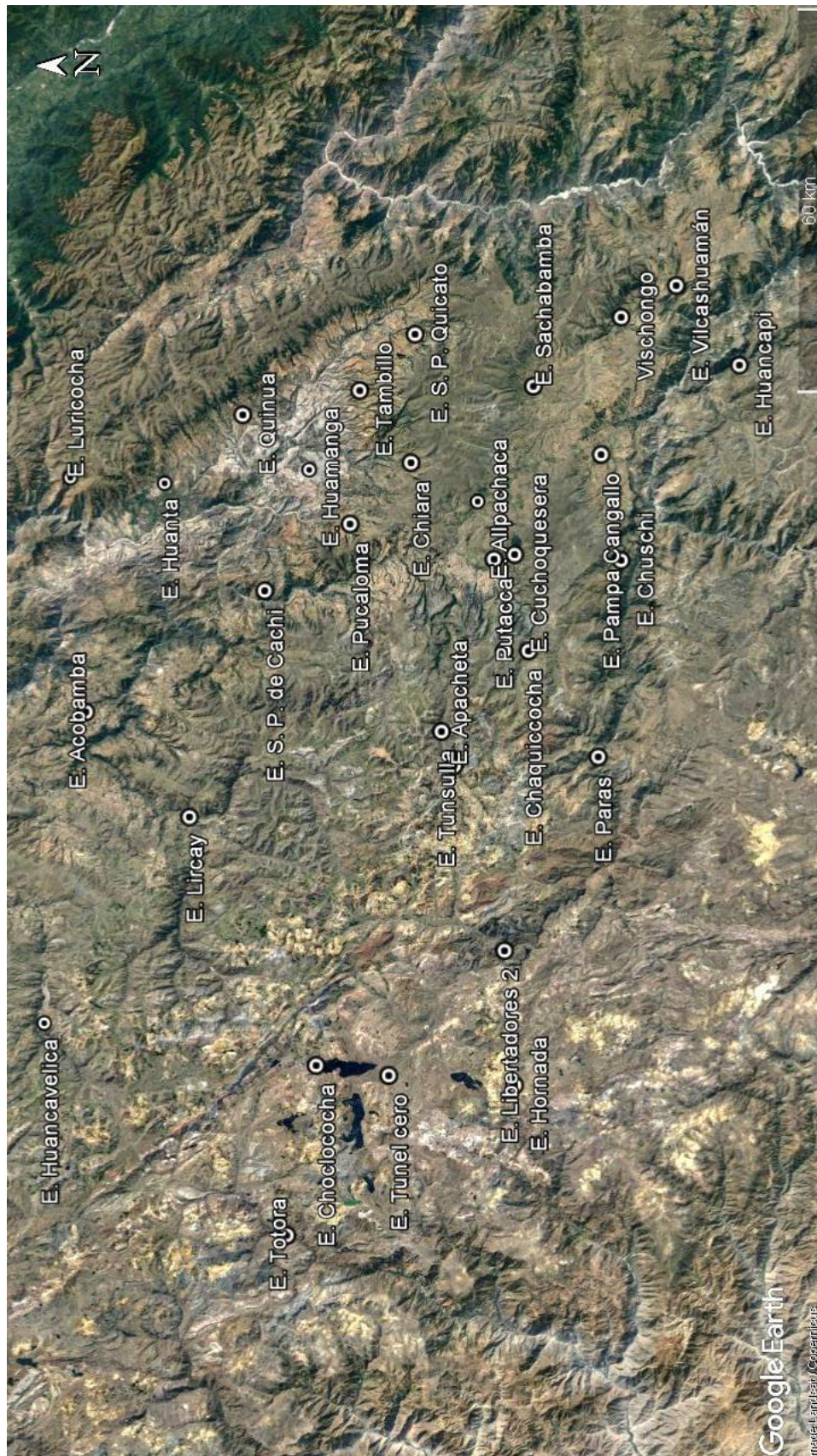


Figura 2.2.1. Mapa de Ubic. de estaciones meteorológicas

Ubicación de las estaciones meteorológicas de referencia. Fuente: elaboración propia en software Google Earth Pro

Tabla 2.2.1. *Estaciones meteorológicas de referencia*

Nombre de Estación	Cuenca hidrográfica	Tipo de estación	Coordenadas UTM			Ubicación Política		
			Este	Norte	Altitud	Región	Provincia	Distrito
Wayllapampa	Mantaro	Pluviométrica	415469.53	1445744.20	2470	Ayacucho	Huamanga	Quinua
Huanta	Mantaro	Climática	582525.86	8568731.63	2682	Ayacucho	Huanta	Huanta
Huamanga	Mantaro	Climática	584559.35	8546349.36	2761	Ayacucho	Huamanga	Ayacucho
Chuschi	Pampas	Climática	570319.98	8498260.53	3141	Ayacucho	Cangallo	Chuschi
Lircay	Mantaro	Climática	530565.11	8564850.64	3150	Huancavelica	Angaraes	Lircay
Huancapi	Pampas	Climática	600753.64	8479850.28	3186	Ayacucho	Víctor fajardo	Huancapi
San Pedro de Cachi	Mantaro	Climática	565707.86	8553226.32	3188	Ayacucho	Huamanga	Santiago de Pischa
Acobamba	Mantaro	Climática	546901.48	8580795.12	3236	Huancavelica	Acobamba	Acobamba
Vischongo	Pampas	Climática	608187.43	8498132.46	3278	Ayacucho	Vilcashuamán	Vischongo
Tambillo	Mantaro	Climática	596832.09	8538524.60	3295	Ayacucho	Huamanga	Tambillo
Quinua	Mantaro	Climática	593091.46	8556593.73	3316	Ayacucho	Huamanga	Quinua
Paras	Pampas	Climática	539795.73	8501853.04	3330	Ayacucho	Cangallo	Paras
Pampa Cangallo	Pampas	Climática	586787.00	8501301.00	3374	Ayacucho	Cangallo	Pampa Cangallo
Vilcashuamán	Pampas	Climática	613080.00	8489631.80	3394	Ayacucho	Vilcashuamán	Vilcashuamán
Pucaloma	Mantaro	Climática	576028.29	8540026.13	3489	Ayacucho	Huamanga	Socos
San Pedro de Quicato	Mantaro	Climática	605503.36	8529966.45	3497	Ayacucho	Huamanga	Acocro
Chiara	Mantaro	Climática	585480.19	8530627.86	3510	Ayacucho	Huamanga	Chiara
Allpachaca	Mantaro	Climática	579401.79	8520354.67	3541	Ayacucho	Huamanga	Chiara
Putacca	Mantaro	Climática	570480.81	8517869.85	3571	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Sachabamba	Pampas	Climática	597357.58	8511754.37	3584	Ayacucho	Huamanga	Chiara

Nombre de Estación	Cuenca hidrográfica	Tipo de estación	Coordenadas UTM			Ubicación Política		
			Este	Norte	Altitud	Región	Provincia	Distrito
Huancavelica	Mantaro	Climática	498673.45	8587131.53	3676	Huancavelica	Huancavelica	Huancavelica
Cuchoquesera	Mantaro	Climática	571183.00	8514710.00	3737	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Luricocha	Mantaro	Climática	583201.23	8583014.75	3790	Ayacucho	Huanta	Luricocha
Tunsulla	Mantaro	Climática	543786.00	8526013.00	3985	Ayacucho	Cangallo	Paras
Choccoro	Mantaro	Climática	556201.03	8516378.01	4038	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Chaquiccocha	Mantaro	Pluviométrica	556219.03	8512642.97	4039	Ayacucho	Cangallo	Chuschi
Libertadores	Pampas	Climática	509879.52	8516392.32	4090	Huancavelica	Huaytará	Pilpichaca
Tотора	Pisco	Climática	465676.19	8549940.93	4100	Huancavelica	Castrovirreyna	Castrovirreyna
Apacheta	Mantaro	Climática	538499.82	8524109.31	4185	Ayacucho	Cangallo	Paras
Hornada	Pisco	Climática	489144.92	8514909.84	4430	Huancavelica	Huaytará	Pilpichaca
Tunel cero	Pampas	Climática	490689.87	8534182.14	4512	Huancavelica	Huaytará	Pilpichaca
Choclococha	Pampas	Climática	492262.27	8545300.25	4556	Huancavelica	Castrovirreyna	Santa Ana

Las estaciones meteorológicas de referencia analizadas y usadas para la ejecución de la investigación. Fuente: elaboración propia

Tabla 2.2.2. Estaciones hidrométricas de la Irrigación Cachi

Nombre de Estación	Cuenca hidrográfica	Tipo de estación	Coordenadas UTM			Ubicación Política			
			Este	Norte	Altitud	Región	Provincia	Distrito	
Capillapata	Choccoro	Mantaro	hidrométrica	556201.00	8516378.00	4051	Ayacucho	Huamanga	Vinchos
Chicllarazo	Mantaro	hidrométrica	558313.18	8511956.33	3856	Ayacucho	Cangallo	Chuschi	
Bocatoma	Apacheta	Mantaro	hidrométrica	538403.29	8524074.52	4181	Ayacucho	Cangallo	Paras

Las estaciones hidrométricas usadas en la investigación. Fuente: elaboración propia

Datos satelitales de precipitación

Los datos satelitales de precipitación de los bases de datos: M2TMNXFLX de 1975 hasta 1997, TRMM_3B43 de 1998 hasta marzo del 2014, TRMM_3B42 Daily v7 de 1998 hasta 2016 y GPM_3IMERGM de abril 2014 hasta 2016.

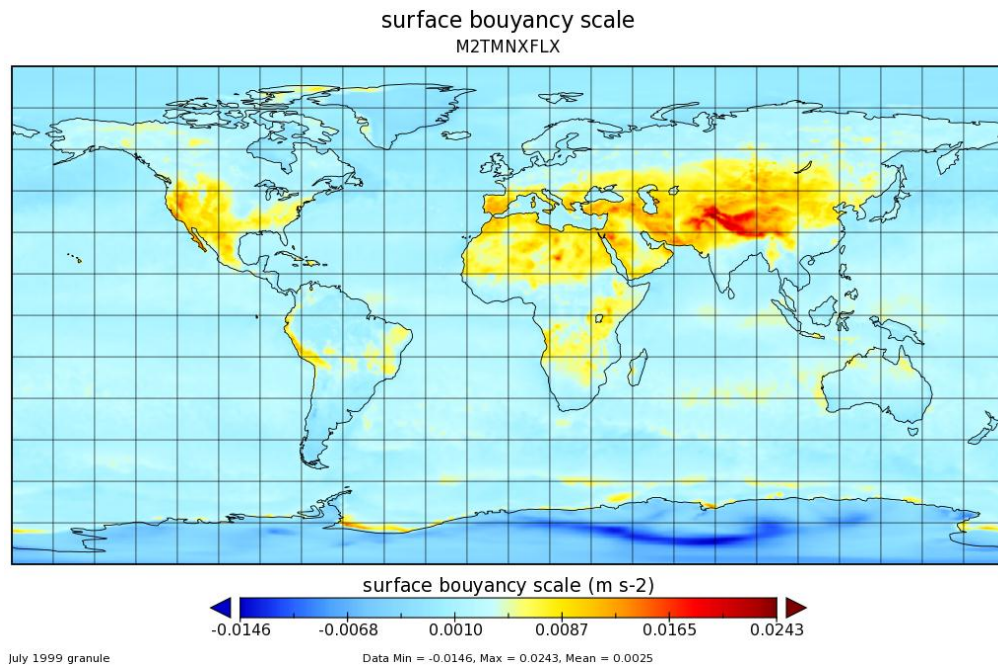


Figura 2.2.2. Dato satelital de precipitación M2TMNXFLX v5.12.4
Datos satelitales de precipitación a nivel mundial de 1975 hasta 1997. Fuente:
https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/datasets/M2TMNXFLX_5.12.4/summary

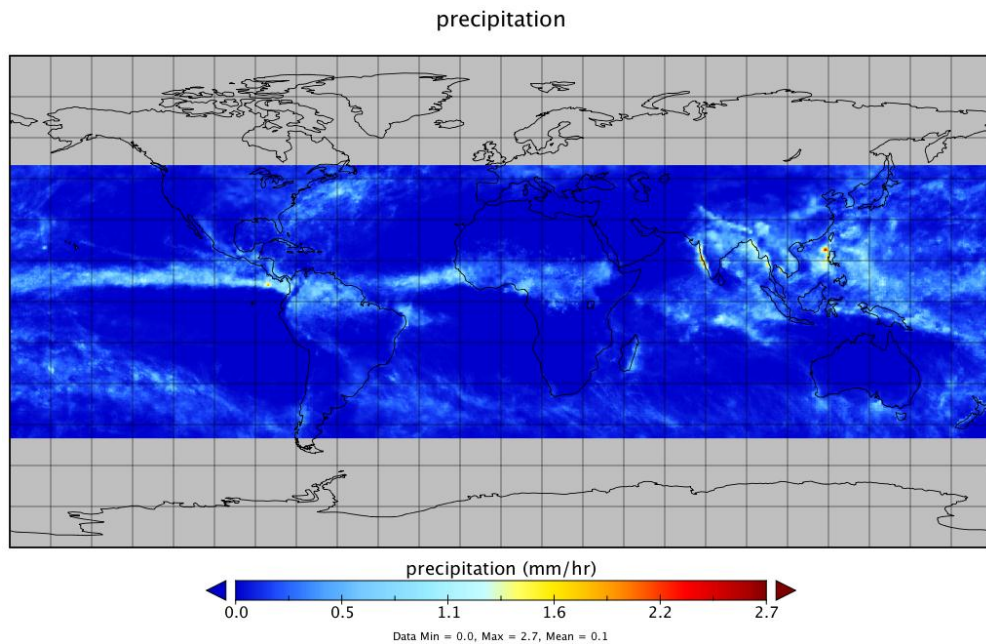


Figura 2.2.3. Dato satelital de precipitación TRMM_3B43 v7
Datos satelitales de precipitación a nivel mundial de 1998 hasta marzo de 2014. Fuente:
<https://disc.gsfc.nasa.gov/api/images/5915ddede01b045fab4ed83e/file>

3B42_Daily.20160229.7

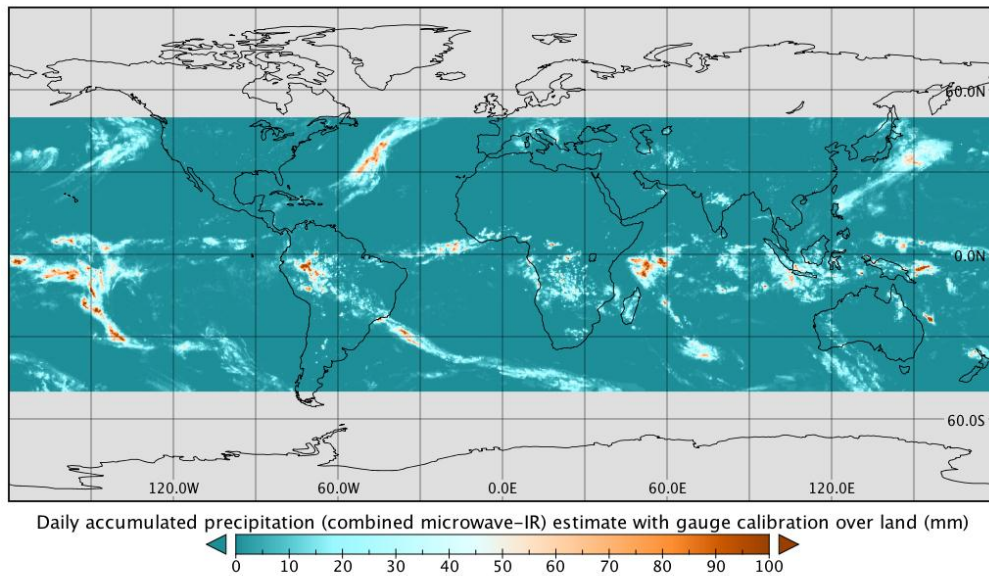


Figura 2.2.4. Dato satelital de precipitación TRMM_3B42 Daily v7

Datos satelitales de precipitación a nivel mundial de 1998 hasta 2016. Fuente: <https://disc.gsfc.nasa.gov/api/images/5915ddede01b045fab4ed823/file>

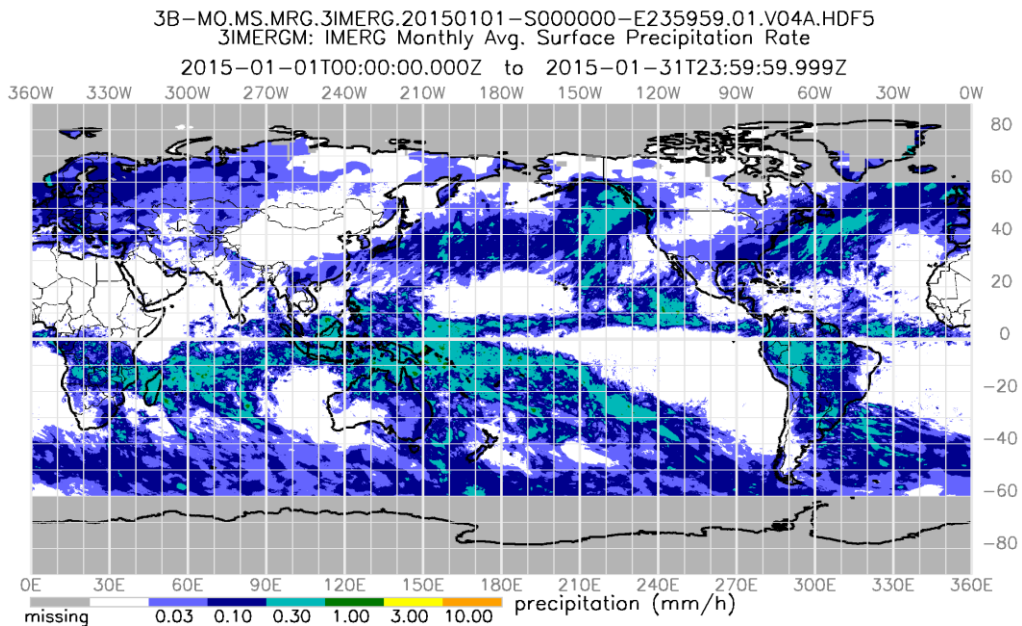


Figura 2.2.5. Dato satelital de precipitación GPM_3IMERGM v04

Datos satelitales de precipitación a nivel mundial de abril 2014 hasta 2016. Fuente: <https://docserver.gesdisc.eosdis.nasa.gov/public/project/GPM/browse/3B-MO-BR.MS.MRG.3IMERG.20150101-S000000-E235959.01.V04A.PNG>

Datos satelitales de temperatura

Los datos satelitales de temperatura de los bases de datos: M2SMNXSLV de 1980 hasta 2016.

Variance of HOURNORAIN

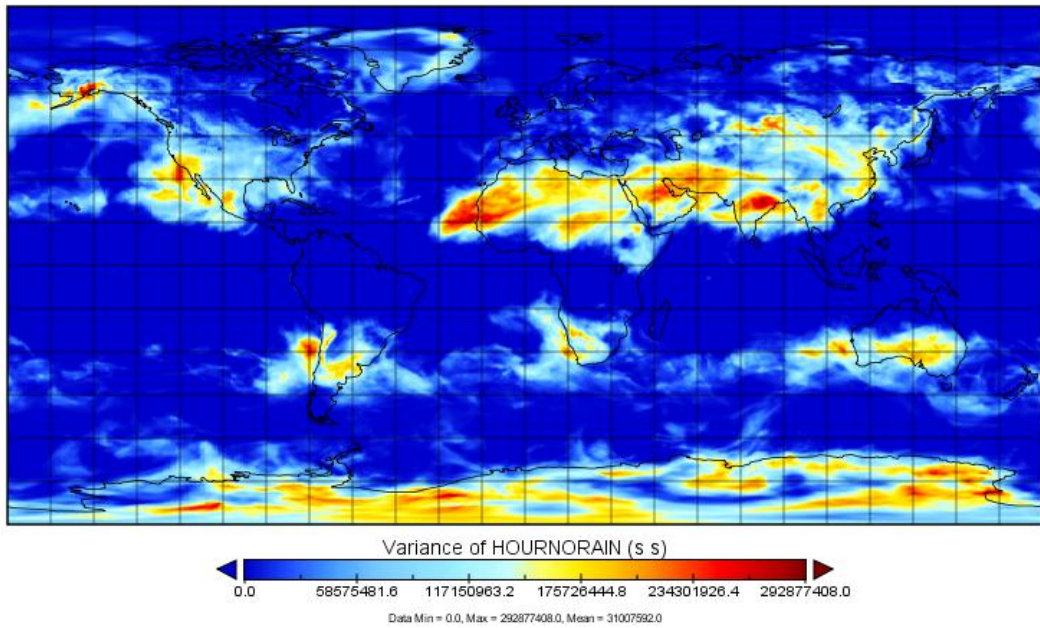


Figura 2.2.6. Dato satelital de temperatura M2SMNXSLV v5.12.4

Datos satelitales de precipitación a nivel mundial de 1980 hasta 2016. Fuente: <https://disc.gsfc.nasa.gov/api/images/5915dd9ee01b045fab4ecbf2/file>

2.2.3 Equipos y herramientas informáticas

Para la presente ejecución de tesis se utilizaron los siguientes equipos:

- 01 computadora core I5
- 01 laptop core I5
- 01 disco duro externo
- 01 impresora multifuncional brother
- 01 micrófono
- 01 parlante micronics

Asimismo, se utilizaron los siguientes softwares de cómputo:

- Google Earth Pro
- Global Mapper 17
- ArcMap 10.5
- Word 2013
- Dragon NaturallySpeaking 12.0
- Excel 2013
- Hydraccess
- HEC-HMS 4.0

2.3 Metodología

El procesamiento de modelos de precipitación-escorrentía evaluados en la presente investigación, requirió de información necesaria e indispensable para la ejecución del mismo, los datos disponibles atraviesan una etapa de tratamiento y depuración para posteriormente procesarla. Los modelos hidrológicos evaluados requieren para su modelación la siguiente información:

- Modelo digital del terreno de la cuenca hidrográfica.
- Información georreferenciada: Subcuencas aportantes de la cuenca, red hidrográfica fluvial de la cuenca, localización espacial de las estaciones de aforo, lagunas, usos principales del suelo, topografía, etc.
- Datos meteorológicos mensuales (Precipitación, Temperatura, ETP).
- Caudales mensuales de las estaciones de aforo.

2.3.1 Información georreferenciada

La información cartográfica se obtuvo del sistema de información geográfica del ministerio de educación, descarga de información espacial del MED, donde la cartografía base tiene las siguientes características:

- Información topográfica según formato de la carta nacional en escala 1:100000.
- La información de la hoja consta de hidrografía, hipsografía.
- La hoja descargada es 27-n de la zona 18 sur.
- Formato: Shape (*.shp)
- Sistema de coordenadas geográficas es GCS_WGS_1984

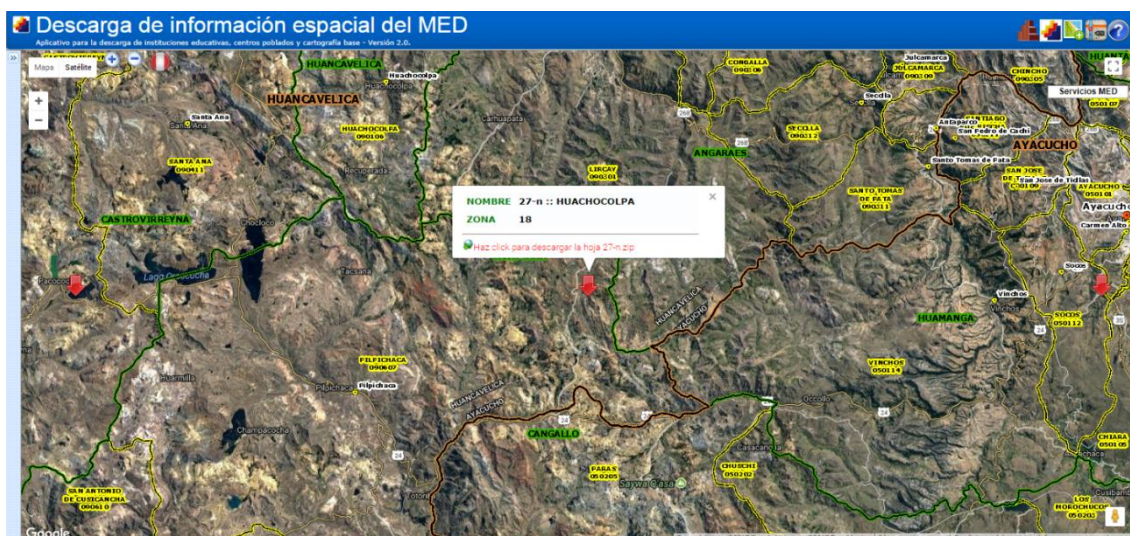


Figura 2.3.1. Información MED del MINEDU - Perú

Carta nacional en escala 1/100000 hoja 27-n zona 18 sur, que corresponde a la zona en estudio. Fuente: elaboración propia fuente: <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>

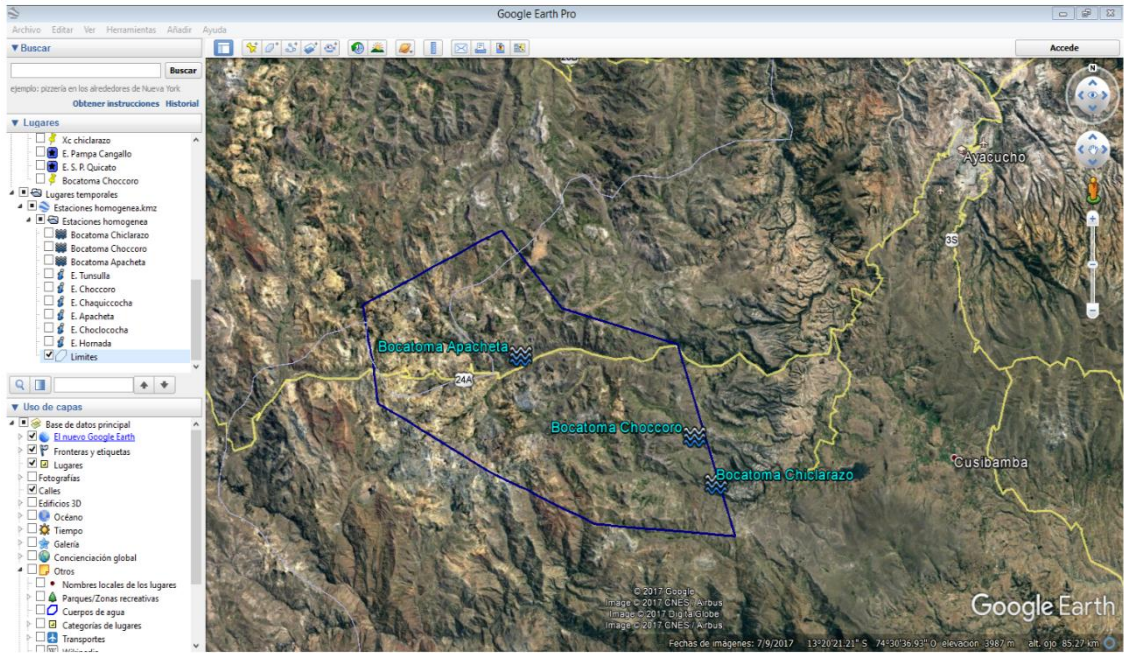


Figura 2.3.2. Proceso de ubic. de las zonas en estudio

Zonas en estudio ubicados con imágenes satelitales para su posterior procesamiento. Fuente: elaboración propia fuente: Google Earth pro

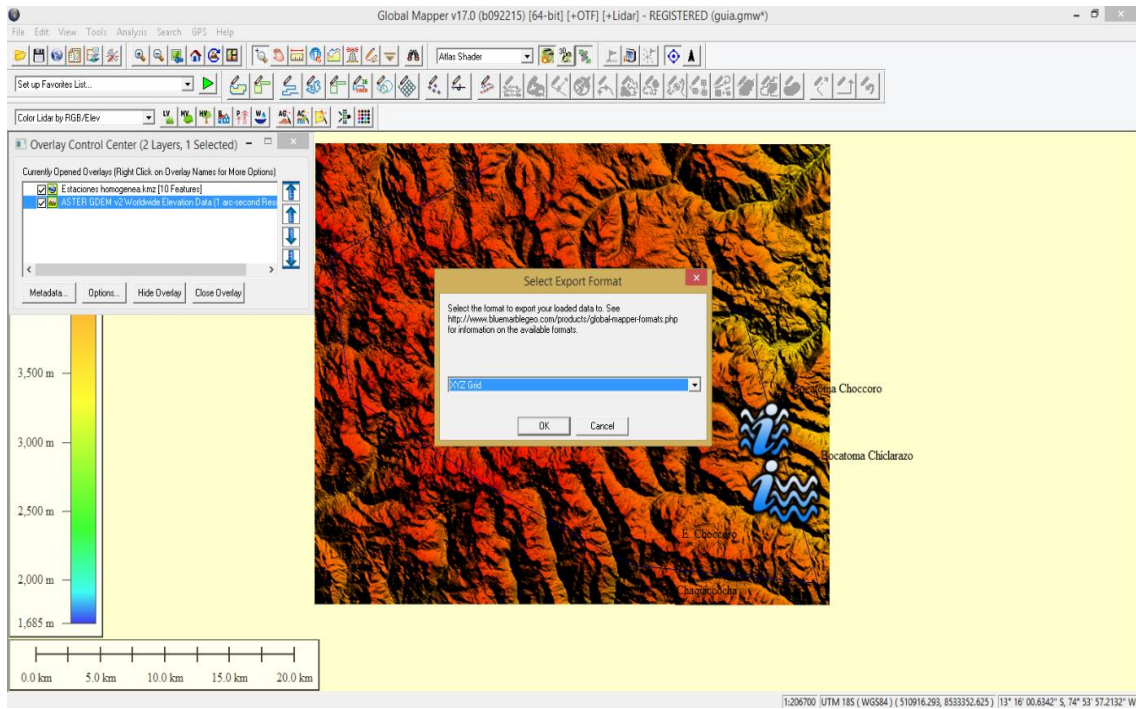


Figura 2.3.3. Obtención puntos topográficos en zonas en estudio

Procesamiento de modelos de elevación digital del terreno, y su exportación como puntos topográficos con resolución de 20 metros. Fuente: elaboración propia fuente: Global Mapper v 17

Ubicado la zona en estudio, se ubicó los puntos de aforo, y las zonas en estudio con el software Google Earth Pro.

Asimismo, se obtuvo información de la zona estudio en forma de puntos de coordenadas UTM con la ayuda del software Global Mapper v 17, donde los datos de elevación del mundo usado es la base de datos ASTER GDEM v2 con una resolución de 30 m.

Con las informaciones obtenidas se realizó la obtención de los parámetros geomorfológicos de las subcuencas de las bocatomas en estudio, que son necesarios para realizar los modelamientos hidrológicos, con el software ArcMap v 10.5.

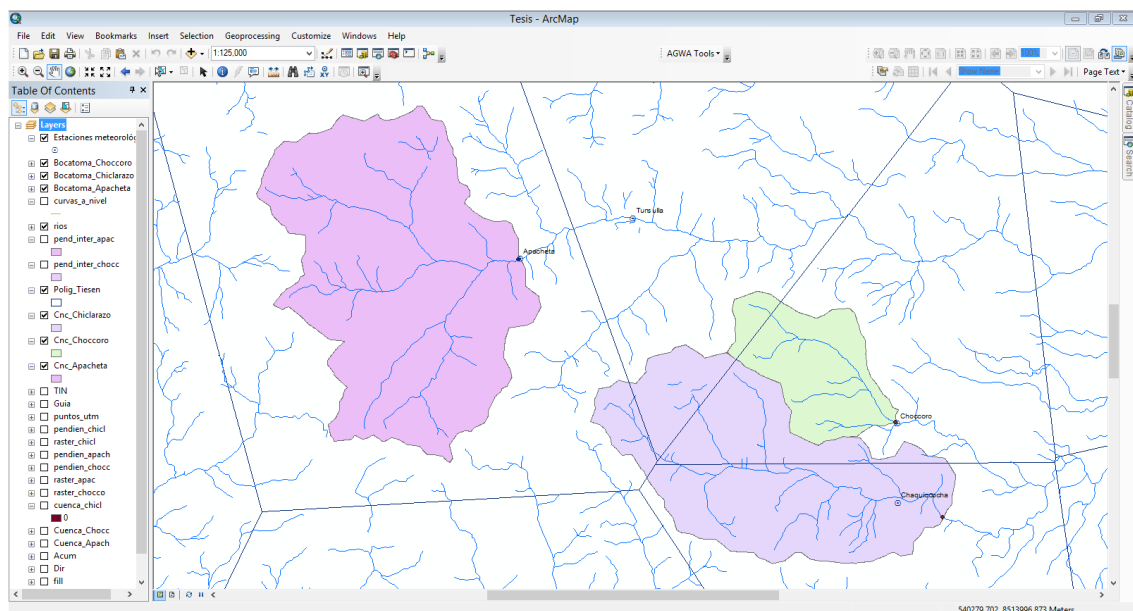


Figura 2.3.4. Obtención de datos geomorfológicos de cuencas

Obtención de los parámetros geomorfológicos a partir de modelo de elevación digital de terreno obtenido de los puntos topográficos y la carta nacional obtenido de Ministerio de Educación. Fuente: elaboración propia en ArcMap v 10.5

2.3.2 Datos meteorológicos

En el presente estudio para la modelación hidrológica en la subcuencas en estudio, se utilizaron los datos meteorológicos, principalmente la precipitación y la temperatura que juegan un rol importante como datos de entrada a los modelos hidrológicos, y que son responsables de escorrentía que se producen en las cuencas en estudio.

Precipitación media mensual

La precipitación es el proceso meteorológico más importante en la hidrología de las cuencas, junto con la evapotranspiración interactúa con el agua superficial en las cuencas.

“El objetivo de analizar la pluviometría es cuantificar los diferentes niveles de pluviosidad en cada una de las subcuencas a analizar para relacionarlos con su capacidad de producción de escorrentía” (Paulini, 2005, p. 37).

Para realizar el análisis pluviométrico se contó con los datos de 32 estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de lo que se ha definido como cuencas de las bocatomas Apacheta, Choccoro y Chicllarazo, muchas de estas estaciones tuvieron datos incompletos, los que se han rellenado mediante el método del vector regional.

Una vez que se tuvo los datos completos de las estaciones de referencia en zona homogénea, la consistencia de datos se evaluó verificando la desviación estándar de desvíos.

Para poder trabajar con el método del vector regional, las estaciones de referencia deben de estar en zonas homogéneas, para lo cual se ha trabajado con las estaciones meteorológicas de Apacheta, Choccoro, Chicllarazo, Choclococha, Túnel Cero y Hornada, con los datos existentes de estas estaciones meteorológicas se completó el relleno de los datos faltantes de las mismas.

Por ello, se decidió considerar como periodo de análisis, los años comprendidos entre 1975-2016, usándose un periodo de análisis de 42 años.

Para la generación de las precipitaciones medias en las cuencas de estudio, primero se verificó si era factible utilizar el método de regionalización de datos precipitación versus la altitud, se realizó el análisis de regionalización de datos Precipitación vs. Altitud con las estaciones de referencia, pero se puede observar que el coeficiente de correlación es bajo, por ello hay debilidad en la correlación de datos.

Se utilizó el método de polígonos de Thiessen, para el cual también se verificó sus áreas de influencia de estaciones meteorológicas, pero la densidad de las estaciones meteorológicas de referencia es muy baja y como ejemplo la estación de Apacheta abarca a más de 100 km², y los diferentes estudios recomiendan que como mínimo debería de haber una estación meteorológica por 20 km².

Como alternativa de solución se verificó la correlación de la estimación de lluvias por satélite / datos de lluvia observada en las estaciones Choccoro, Chaquiccocha y Apacheta, en donde midiendo su eficiencia de los datos satelitales es débil (se muestra en los resultados). Pero las precipitaciones estimadas por el algoritmo 3B43 del TRMM para la zona evaluada, muestran una eficiencia buena, afirmando que reproducen con cierta precisión el patrón del ciclo estacional considerándose datos fiables, los cuales pueden ser utilizados como datos de entrada en modelos hidrológicos en zonas sin información, constituyendo como una alternativa en el fortalecimiento de la gestión de recursos hídricos en cuencas hidrográficas (Lujano, Felipe, Lujano, & Quispe, 2015, p. 6); pero este caso sucede en otros lugares distintos a la sierra peruana.

Interpolación por Kriging

El método consiste en establecer para cada punto de la grilla un variograma que evalúa la influencia de las estaciones próximas en función de su distancia al punto, y de su rumbo. El Kriging es así el único método que puede tomar en cuenta un eventual gradiente espacial de la información. El parámetro Pepita (Nugget) del Kriging se ha fijado a 0,2 y no es modificable por el utilizador, por el momento.

Los datos de precipitación en los puntos medios de las cuencas de las bocatomas Apacheta, Choccoro y Chicllarazo, se obtuvieron Interpolación por Kriging, los cuales fueron analizados con el método del vector regional en el cual se analizó su desviación estándar de desvíos, y las estaciones de referencia para analizar estos datos satelitales son las estaciones meteorológicas de Apacheta, Choccoro, Chicllarazo, choclococha, túnel cero y Hornada, todos ellos están muy cercanos a la zona en estudio.

Cabe recalcar que, al aplicar el método de regional, e Interpolación por Kriging se realizó con el software Hydracces, primero la desviación estándar de desvíos sale alta, para obtener mejores resultados se tiene que realizar iteraciones, hasta que la desviación estándar de desvíos sea <0.2 .

Precipitación máxima en 24 horas

Este procedimiento se utiliza para la determinación de una tormenta máxima probable, la cual se requiere para determinar el caudal pico y para encontrar el hidrograma de la creciente máxima probable por medio de un análisis de lluvia-escorrentía. El

procedimiento está basado en la información deducida de las mayores tormentas registradas en una región (Chow, Maidment, & Mays, 1994, p. 487).

Se usó información de precipitación máxima en 24 horas anual, de estaciones meteorológicas Choccoro, Tunsulla y Apacheta y los datos satelitales TRMM_3B42_Daily v7; del cual se obtuvo las precipitaciones máximas diarias por año de cada estación, finalmente se obtuvo los datos de precipitación máxima para toda la zona de la cuenca Alta de la Irrigación Cachi, ya que la cuenca en estudio es pequeño y homogéneo. Con los datos obtenidos se obtuvo las curvas intensidad – duración – frecuencia de la precipitación máxima.

Temperatura

Los datos de temperatura máxima, media y mínima fueron obtenidos a partir de datos satelitales M2SMNXSLV de 1980 hasta 2016, los cuales fueron calibrados con los datos observados las estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta, de la calibración se obtuvo un factor de ajuste, con los cuales se corrigió a los datos satelitales de temperatura para su posterior uso en el cálculo de la evapotranspiración con el método Hargreaves.

Evapotranspiración

Los datos de la Evapotranspiración fueron calculados empleando el modelo de Hargreaves en base a la temperatura máxima y mínima obtenida para cada centroide de las microcuencas bajo estudio. En este punto es importante establecer el tipo de suelo o cobertura de cada microcuenca a modelar, dado que la ETP cambia de un punto a otro de acuerdo al tipo de cultivo/suelo.

$$ET_o = 0.0023(T_{media} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}R_a \quad (2.3.1)$$

Donde:

- ET_o es la evapotranspiración calculada según Hargreaves en mm/día.
- R_a es la radiación solar extraterrestre mm/día.
- $T_{max} - T_{min}$ la diferencia entre la media de temperaturas máximas y de mínimas °C y
- T_{media} es la temperatura media del aire °C.

2.3.3 Estaciones de aforo

Caudales medios mensuales observados

Las cuencas hidrográficas en estudio cuentan con estaciones de aforo en el lugar de las bocatomas, Choccoro, Chicllarazo y Apacheta. Los cuales fueron usados para la calibración y validación de los caudales simulados.

Avenidas máximas observadas

Los caudales máximos diarios anual, se obtuvieron del registro histórico de caudales medios en las estaciones hidrométricas de bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta, estos fueron convertidos a caudales máximos instantáneos a través de la relación caudal pico/caudal diario que se obtuvo en diferentes investigaciones en el norte del Perú y (Palacios, 2010, p. 17), lo cual para cuencas pequeñas menores a 200 Km² es de 3 – 6, el valor aumenta cuando el tamaño de la cuenca es pequeño. Con la finalidad de extender las series de datos disponibles se han multiplicado por seis (6) a los caudales diarios porque las cuencas hidrográficas en estudio son muy pequeñas.

Al igual que en el análisis de la precipitación máxima en 24 horas, los caudales máximos instantáneos fueron analizados estadísticamente para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, a través de las siguientes distribuciones probabilísticas: Normal, Log Normal, Gamma y Gumbel, las cuales fueron evaluadas a través de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con la finalidad de determinar la distribución que mejor se ajuste a la serie de datos analizada.

2.3.4 Simulación de caudales medios

Modelo hidrológico Témez

Cálculo del excedente

Se considera que una fracción del agua que precipita sobre el terreno (Pt) es almacenada en la zona superior del suelo (Ht), y que el resto, el excedente (Tt), se distribuye entre la aportación de origen superficial (Asupt) y la infiltración hacia el acuífero (It) o recarga (Rt).

El excedente total (T) se calcula según la siguiente ley:

$$T_i = 0 \quad \text{si } P_i \leq P_{oi} \quad (2.3.2)$$

$$T_i = \frac{(P_i - P_{oi})^2}{P_i + \delta_i - 2P_{oi}} \quad \text{si } P_i > P_{oi} \quad (2.3.3)$$

Siendo:

$$\delta_i = H_{max} - H_{i-1} + ETP_i \quad (2.3.4)$$

$$P_{oi} = CPO(H_{max} - H_{i-1}) \quad (2.3.5)$$

Donde:

- T es el excedente en el mes i,
- P es la precipitación en el mes i (mm),
- H_{max} es la capacidad máxima de almacenamiento del suelo (mm), que depende de las características del suelo y la vegetación donde tiene lugar la evapotranspiración,
- H_{i-1} es el almacenamiento de agua en el suelo (mm) al final del mes i-1,
- ETP_i es la evapotranspiración potencial del mes (mm) en el intervalo de tiempo i. Es la máxima evapotranspiración que se produciría en condiciones óptimas de humedad, y
- CPO el coeficiente de inicio de excedente. Un factor adimensional, que toma valores en torno a 0.30 (Témez, 1977) y define el inicio de la escorrentía antes de que se alcance el máximo de humedad en el suelo H_{max} .

De este modo, cuando la cantidad de lluvia es inferior a P_{oi} toda el agua de lluvia se almacena como humedad del suelo, siendo susceptible de convertirse en evapotranspiración, y el excedente total es nulo. A partir del valor de P_{oi} , la precipitación incrementa simultáneamente el excedente y la componente de humedad del suelo. Tal y como se observa en la figura, la curva que expresa los excedentes. No es lineal, parte de 0 para $P=P_o$ y tiende a $P - \delta$ para lluvias altas.

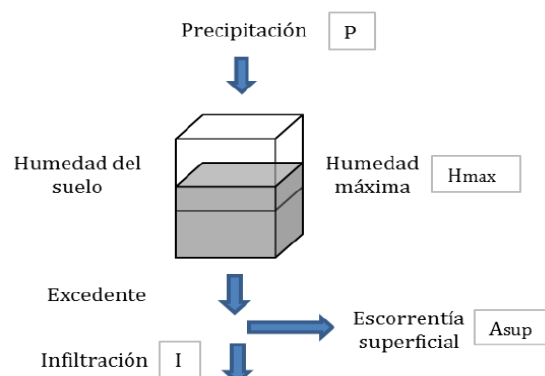


Figura 2.3.5. Transformación de precipitación en excedente - Témez

Esquema que muestra el paso agua. Fuente: Paredes et al. (2014), p.18.

Cálculo del almacenamiento superficial e infiltración

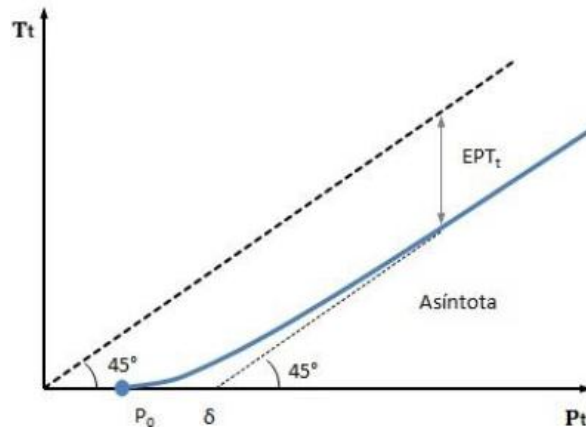


Figura 2.3.6. Ley de excedentes - Témez

Ley del excedente. Fuente: Paredes et al. (2014), p.19.

Una vez estimado el excedente (T_i), la humedad en el suelo al final de cada mes se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$H_i = \max(0, H_{i-1} + P_i - T_i - ETP_i) \quad (2.3.6)$$

Que representa el cierre del balance entre el agua que queda en el suelo y la ETP. Si el resultado es negativo la humedad del suelo al final del periodo es nula, y la evapotranspiración potencial no se habrá desarrollado en su totalidad.

La evapotranspiración real que se produce (ETR_i), imponiendo la condición de que su máximo es la potencial, obtiene mediante la siguiente expresión:

$$ETR_i = \min(H_{i-1} + P_i - T_i, ETP_i) \quad (2.3.7)$$

La infiltración al acuífero es función del excedente y del parámetro denominado infiltración máxima (I_{max}), que expresa la máxima cantidad de agua que puede infiltrarse en el terreno en un mes, a través de la siguiente expresión empírica:

$$I_i = I_{max} \frac{T_i}{T_i + I_{max}} \quad (2.3.8)$$

De la anterior expresión se deduce que a medida que el excedente aumenta también lo hace la infiltración y que ésta tiende asintóticamente a su máximo, I_{max} . Además, si el excedente es nulo, la infiltración también lo es. La infiltración máxima (I_{max}) no depende exclusivamente de las propiedades del terreno, sino también de la intensidad y

concentración de las precipitaciones. Suele tomar valores comprendidos entre 100 mm/mes y 400 mm/mes dependiendo de que la lluvia sea esporádica o persistente (Témez, 1977) aunque estos no deben considerarse como límites para calibrar un modelo.

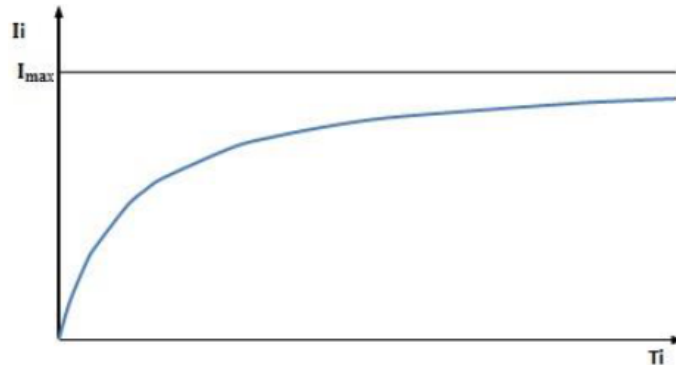


Figura 2.3.7. Relación de infiltración y excedente - Témez

Ecuación que relaciona la infiltración al acuífero con el excedente existente. Fuente: Paredes et al. (2014), p.19.

Cálculo de la aportación superficial

La parte del excedente que no infiltra al acuífero se convierte en escorrentía superficial al final del mes “i”, según la siguiente expresión:

$$A_{supi} = T_i - I_i \quad (2.3.9)$$

Cálculo de la aportación subterránea

La aportación subterránea producida durante el mes “t” (A_{subt}) está formada por el drenaje del agua almacenada en el acuífero (V_t) por encima del umbral de salida a la red fluvial.

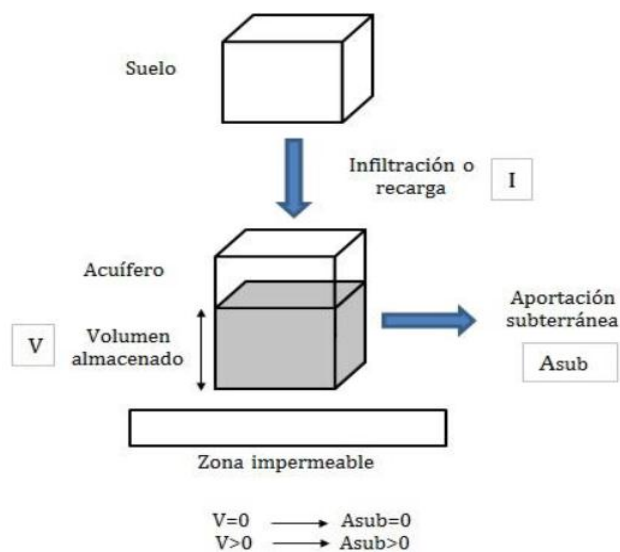


Figura 2.3.8. Escorrentía subterránea - Témez

Producción de escorrentía subterránea. Fuente: Paredes et al. (2014)p.19.

Para simular el comportamiento del acuífero se plantea el modelo unicelular, el cual está basado en la función exponencial que representa la curva de agotamiento de un manantial. La variable de estado es el volumen almacenado en el acuífero (V_t). El caudal cedido a la red superficial (Q_i) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_i = \alpha V_1 \quad (2.3.10)$$

Donde

- α es una constante con dimensiones de [T-1]

Si se aplica al acuífero una ecuación de balance de masa del tipo representado por la ecuación diferencial ordinaria siguiente:

$$\frac{dV_i}{dt} = I_i - Q_i \quad (2.3.11)$$

Donde

- I_i son las entradas al acuífero en el tiempo i (recargas),
- Q_i son las salidas del acuífero en el tiempo i (extracciones), y
- V_i es el volumen almacenado en el acuífero en el tiempo i .

Suponiendo la recarga concentrada en la mitad del mes resulta que:

$$V_i = V_{i-1} e^{-\alpha} + I_i e^{-\frac{\alpha}{2}} \quad (2.3.12)$$

$$Q_i = Q_{i-1} e^{-\alpha} + \alpha I_i e^{-\frac{\alpha}{2}} \quad (2.3.13)$$

Con esto el aporte subterráneo será de la siguiente manera:

$$A_{subi} = V_{i-1} - V_i + I_i \quad (2.3.14)$$

Y finalmente tendremos la escorrentía total que tiene la siguiente forma:

$$A_{Ti} = A_{supi} + A_{subi} \quad (2.3.15)$$

Resumen del modelo Témez

En el presente estudio se usó un modelo simplificado de lluvia-escorrentía de paso mensual.

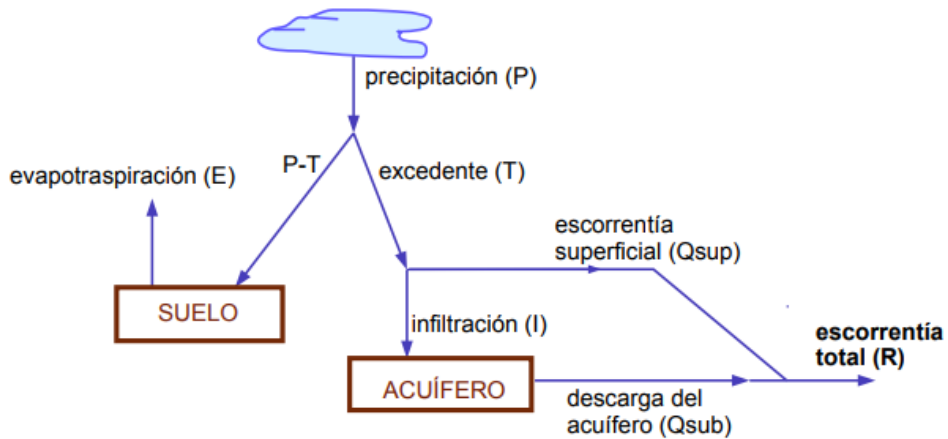


Figura 2.3.9. Esquema general - Témez

Descripción esquemática del flujo del agua. Fuente: Collazos, G. (2009).

En resumen, el modelo de Témez contempla el ajuste de cuatro parámetros: H_{max} , C , I_{max} y α . Los parámetros H_{max} y C regulan el almacenamiento de agua en el suelo, I_{max} separa la escorrentía superficial de la subterránea y el parámetro α regula el drenaje subterráneo. Es también necesaria la definición de las condiciones iniciales de simulación, es decir, la determinación de la humedad inicial del suelo (H_0) y del almacenamiento inicial en el acuífero (que podría aproximarse por $V_0 = Q_0 / \alpha$). El efecto de los valores iniciales se reduce a medida que transcurre el tiempo, por lo que estos resultan, en la mayoría de los casos, poco significativos.

Modelo hidrológico abcd

Para el desarrollo del modelo de Thomas, inicialmente es aplicada la ecuación de continuidad a un volumen de control el cual cuenta con un almacenamiento $S_w + S_c$, y está compuesta por la zona de evapotranspiración, con esto tenemos que:

$$P_i - ET_i - I_i - Ro_i = \Delta S_w = S_w_i - S_w_{i-1} \quad (2.3.16)$$

$$P_i - ET_i - Rg_i - Ro_i = \frac{\Delta S_w}{\Delta t} = S_w_i - S_w_{i-1} \quad (2.3.17)$$

Donde:

- Donde P_i es la precipitación,
- ET_i es la evapotranspiración real,
- Rg_i es la recarga o infiltración al subsuelo,
- Ro_i es la escorrentía directa,
- ΔS_w es el cambio en el almacenamiento del suelo,

- S_{wi} es contenido de humedad inicial, y
- S_{wi-1} es el contenido de humedad final

Si se parte la ecuación anterior y se agrupa los términos se tiene lo siguiente:

$$(P_i + S_{wi-1}) - (ET_i + S_{wi}) = R_{oi} + I_i \quad (2.3.18)$$

Al igualar y juntar los términos las variables W_i (agua disponible) e Y_i como:

$$W_i = P_i + S_{wi-1} \quad (2.3.19)$$

$$Y_i = ET_i + S_{wi} \quad (2.3.20)$$

Luego,

$$(W_i - Y_i) = R_{oi} + I_i \quad (2.3.21)$$

Por pruebas de ensayo se sabe que el contenido de humedad en el suelo disminuye de forma exponencial y Thomas se basa en esta experiencia asumiendo este criterio relacionándolo con la ETP según:

$$S_{wi} = Y_i \times e^{-ETP/b} \quad (2.3.22)$$

Thomas (1981) define la variable de estado Y_i como una función no lineal del agua disponible según los parámetros a (adimensional) y b :

$$Y_i = \frac{W_i + b}{2a} - \left[\left(\frac{W_i + b}{2a} \right)^2 - \frac{W_i b}{a} \right]^{0.5} \quad (2.3.23)$$

El límite superior de Y_i es representado por el parámetro b . Thomas et al. (1983) hacen notar que, a excepción de estas propiedades, la función Y_i no tiene algún significado particular. Entonces se obtiene:

$$(W_i - Y_i) = R_{oi} + I_i \quad (2.3.24)$$

Para diferenciar la escorrentía de la recarga se asume un coeficiente de reparto c :

$$R_{oi} = (1 - c)(W_i - Y_i) \quad (2.3.25)$$

$$R_{gi} = c(W_i - Y_i) \quad (2.3.26)$$

El caudal subterráneo (Q_{gi}), es decir, aquella fracción del caudal observado en el río que proviene del almacenamiento en la zona saturada (S_{gi}), es:

$$Q_{gi} = d \times S_{gi} \quad (2.3.27)$$

Así como se aplicó la ecuación de continuidad al volumen de control con almacenamiento $S_w + S_c$, se realiza lo mismo para la zona saturada,

$$Rg_i - Qg_i = \Delta Sg = Sg_i - Sg_{i-1} \quad (2.3.28)$$

Sustituyendo se obtiene que:

$$Sg_i = \frac{Rg_i + Sg_{i-1}}{d + 1} \quad (2.3.29)$$

Finalmente, el caudal total simulado al final del periodo i ,

$$Qs_i = Ro_i + Qg_i \quad (2.3.30)$$

Con relación a los parámetros $abcd$ que aparecen en las ecuaciones descritas anteriormente, a que varía entre un rango de $0 \leq a \leq 1$ expresa la tendencia ante la presencia de un suelo que se encuentre completamente saturado que la escorrentía ocurra; b representa el límite superior a la suma de la evapotranspiración real y a la humedad; c hace referencia a esa fracción que se encuentra en el almacenamiento subterráneo que se incluye en la escorrentía, aunque no siempre se relaciona a esta fracción debido que no siempre toda la recarga se convierte en escorrentía superficial durante el intervalo de tiempo que se considere; d es el recíproco del tiempo de resistencia del agua subterránea, pero teniendo en cuenta que ese tiempo puede relacionarse con todo el acuífero, con la porción de esto más cercana al río, o simplemente con recorridos superficiales más rápidos. Los valores que se le asignen a estas variables dependerán de la zona en donde se está realizando el estudio.

Modelo hidrológico GR2M

Función de Producción

De acuerdo a la Figura del modelo GR2M, parte de la precipitación es absorbida por el depósito de suelo y otra (P_1) se dirige al depósito de agua gravitacional. El nuevo volumen de agua en el depósito de suelo (S_1) se calcula de la siguiente manera:

$$S_1 = \frac{S + X_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}} \quad (2.3.31)$$

Dónde:

- X_1 es la capacidad del reservorio suelo.

$$\varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right) \quad (2.3.32)$$

Asumiendo que no hay pérdidas, el volumen de agua antes de la infiltración debe ser el mismo después de ésta; entonces:

$$P1 = P + S - S1 \quad (2.3.33)$$

Después, el depósito de suelo será afectado por la evapotranspiración, reduciendo su volumen a S2. El nuevo volumen se calcula de la siguiente manera:

$$S2 = \frac{S1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S}{X1}\right)} \quad (2.3.34)$$

Donde:

$$\psi = \tanh\left(\frac{E}{X1}\right) \quad (2.3.35)$$

Parte de este nuevo volumen S2 será transferido al depósito de agua gravitacional y el remanente se convertirá en el volumen inicial S para el siguiente período de análisis. El nuevo valor de S será:

$$S = \frac{S2}{\left(1+\left(\frac{S2}{X1}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.3.36)$$

Luego, el volumen de agua que percola P2 se estimará como la diferencia entre S2 y S:

$$P2 = S2 - S \quad (2.3.37)$$

Función de Transferencia

Conocido el volumen de agua que percola, la precipitación efectiva que ingresa al depósito de agua gravitacional (P3), será:

$$P3 = P1 + P2 \quad (2.3.38)$$

Debido a que el depósito de agua gravitacional contaba con un volumen inicial R, su nuevo volumen será:

$$R1 = R + P3 \quad (2.3.39)$$

Sin embargo, debido a que existe un intercambio de volúmenes a nivel subsuperficial, el volumen del depósito se corrige por el factor X2:

$$R2 = X2R1 \quad (2.3.40)$$

Finalmente, el depósito de agua gravitacional se vacía siguiendo una función cuadrática, dándonos como resultado el caudal de salida:

$$Q = \frac{R2}{R2 + 60} \quad (2.3.41)$$

Como puede observarse, todos los volúmenes estimados dependen de dos variables a optimizar:

- X1 es la capacidad del depósito de suelo en milímetros, y
- X2 es el coeficiente de intercambios subterráneos (adimensional).

Modelo hidrológico Lutz Scholz

Coeficiente de escurrimiento

Se ha considerado el uso de la fórmula propuesta por L. Turc:

$$C = \frac{P - D}{P} \quad (2.3.42)$$

Donde:

- C es coeficiente de escurrimiento (mm/año),
- P es la precipitación Total anual (mm/año), y
- D es déficit de escurrimiento (mm/año)

Para la determinación de D se utiliza la expresión:

$$D = P \frac{1}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{\left(\frac{1}{2}\right)}} \quad (2.3.43)$$

$$L = 300 + 25(T) + 0.05(T)^3 \quad (2.3.44)$$

Siendo:

- L es coeficiente de Temperatura, y
- T es la temperatura media anual (°C).

Dado que no se ha podido obtener una ecuación general del coeficiente de escurrimiento para toda la sierra, se ha desarrollado la fórmula siguiente, que es válida para la región sur:

$$\bar{C} = 3.16E12 P^{-0.571} ETP^{-3.686} \quad r = 0.96 \quad (2.3.45)$$

$$\bar{D} = -1380 + 0.872P + 1.032ETP \quad r = 0.96 \quad (2.3.46)$$

Donde:

- C es el coeficiente de escurrimiento,
- D es el déficit de escurrimiento (mm/año),
- P es la precipitación total anual (mm/año),
- EP es la evapotranspiración anual según Hargreaves (mm/año), y

- r es el coeficiente de correlación.

Evapotranspiración

Los datos de la Evapotranspiración fueron calculados empleando el modelo de Hargreaves en base a la temperatura máxima y mínima obtenida para cada centroide de las microcuencas bajo estudio.

Precipitación efectiva

Para el cálculo de la Precipitación Efectiva, se supone que los caudales promedio observados en la cuenca pertenecen a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención. La precipitación efectiva se calculó para el coeficiente de escurrimiento promedio, de tal forma que la relación entre precipitación efectiva y precipitación total resulta igual al coeficiente de escorrentía (Aguirre, 2014, p. 4).

Para fines hidrológicos se toma como precipitación efectiva la parte de la precipitación total mensual, que corresponde al déficit según el método del USBR (precipitación efectiva hidrológica es la antítesis de la precipitación efectiva para los cultivos).

A fin de facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado el polinomio de quinto grado:

$$PE = a_0 + a_1P + a_2P^2 + a_3P^3 + a_4P^4 + a_5P^5 \quad (2.3.47)$$

Donde:

- PE es la precipitación efectiva (mm/mes),
- P es la precipitación total mensual (mm/mes), y
- a_i es el Coeficiente del polinomio.

El cuadro muestra los valores límite de la precipitación efectiva y el siguiente cuadro muestra los tres juegos de coeficientes, a_i , que permiten alcanzar por interpolación valores de C, comprendidos entre 0.15 y 0.45.

Tabla 2.3.1. *Límite superior para precipitación efectiva - Lutz Scholz*

Curvas	PE	condición
Curva I	PE=P-120.6	P>177.8 mm/mes
Curva II	PE=P-86.4	P>152.4 mm/mes
Curva III	PE=P-59.7	P>127.0 mm/mes

Los valores límite de la precipitación efectiva. Fuente: Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II 1980; obtenido de Najarro, S. (2015), p.15.

Tabla 2.3.2. *Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva.*

Descripción	Curva I	Curva II	Curva III
a ₀	-0.01800	-0.02130	-0.0280
a ₁	-0.01850	0.13580	0.2756
a ₂	0.001105	-0.002296	-0.004103
a ₃	-1.20E-05	4.35E-05	5.53E-05
a ₄	1.44E-07	-8.90E-08	1.24E-07
a ₅	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Coefficientes para el cálculo de la precipitación efectiva. Fuente: Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II 1980; obtenido de Najarro, S. (2015), p.16.

De esta forma es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y precipitación total:

$$C = \frac{Q}{P} = \sum_{i=1}^{12} \frac{PE_i}{P} \quad (2.3.48)$$

Donde:

- C es el coeficiente de escurrimiento,
- Q es el caudal anual,
- P es la precipitación total anual, y
- $\sum_{i=1}^{12} PE_i$ es la suma de la precipitación efectiva mensual.

Retención de la cuenca

Bajo la suposición de que exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, la contribución de la reserva hídrica al caudal se puede calcular según las fórmulas:

$$R_i = CM_i - P_i \quad (2.3.49)$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.3.50)$$

Donde:

- CM_i es el caudal mensual (mm/mes),
- PE_i es la precipitación Efectiva Mensual (mm/mes),
- R_i es la retención de la cuenca (mm/mes),
- G_i es el gasto de la retención (mm/mes),
- A_i es el abastecimiento de la retención (mm/mes),
- R_i es igual a G_i para valores mayores que cero (mm/mes), y

- R_i es igual a A_i para valores menores que cero (mm/mes).

Sumando los valores de G o A respectivamente, se halla la retención total de la cuenca para el año promedio, que para el caso de las cuencas de la sierra varía de 43 a 188 (mm/año).

Relación entre descargas y retención

Durante la estación seca, el gasto de la retención alimenta los ríos, constituyendo el caudal o descarga básica. La reserva o retención de la cuenca se agota al final de la estación seca; durante esta estación la descarga se puede calcular en base a la ecuación:

$$Q_t = Q_0 e^{-a(t)} \quad (2.3.51)$$

Donde:

- Q_t es la descarga en el tiempo t ,
- Q_0 es la descarga inicial,
- a es el Coeficiente de agotamiento, y
- t es el tiempo.

Al principio de la estación lluviosa, el proceso de agotamiento de la reserva termina, comenzando a su vez el abastecimiento de los almacenes hídricos. Este proceso está descrito por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real. En base a los hidrogramas se ha determinado que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa continuando de forma progresiva pero menos pronunciada, hasta el final de dicha estación (Aguirre, 2014, p. 6).

Coeficiente de agotamiento

El coeficiente de agotamiento de la cuenca tiene una dependencia logarítmica del área de la cuenca.

$$a = f(\ln AR) \quad (2.3.52)$$

El análisis de las observaciones disponibles muestra, además cierta influencia del clima, la geología y la cobertura vegetal. Se ha desarrollado una ecuación empírica para la sierra peruana (Aguirre, 2014, p. 7).

$$a = 3.1249 E 67 (AR)^{-0.1144} (EP)^{-19.336} (T)^{-3.369} (R)^{-1.429} \quad (2.3.53)$$

$$r = 0.86$$

En principio, es posible determinar el coeficiente de agotamiento real mediante aforos sucesivos en el río durante la estación seca; sin embargo, cuando no sea posible ello, se puede recurrir a las ecuaciones desarrolladas para la determinación del coeficiente "a" para cuatro clases de cuencas:

- ✓ Cuencas con agotamiento muy rápido. Debido a temperaturas elevadas (>10°C) y retención que va de reducida (50 mm/año) a mediana (80 mm/año):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.034 \quad (2.3.54)$$

- ✓ Cuencas con agotamiento rápido. Retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (puna):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.030 \quad (2.3.55)$$

- ✓ Cuencas con agotamiento mediano. Retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados):

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.026 \quad (2.3.56)$$

- ✓ Cuencas con agotamiento reducido. Debido a la alta retención (> 100 mm/año) y vegetación mezclada:

$$a = -0.00252(LnAR) + 0.023 \quad (2.3.57)$$

Donde:

- a es el coeficiente de agotamiento por día
- AR es el área de la cuenca (km²)
- EP es la evapotranspiración potencial anual (mm/año)
- T es la duración de la temporada seca (días)
- R es la retención total de la cuenca (mm/año)

Almacenamiento hídrico

La determinación de la lámina "L" que almacena cada tipo de estos almacenes está dado por:

- 5) Acuíferos:

$$L_A = -750(I) + 315 \quad (mm/año) \quad (2.3.58)$$

Siendo:

- L_A es la lámina específica de acuíferos y
- I es el pendiente de desagüe: $I \leq 15 \%$

6) Lagunas y Pantanos

$$L_L = 500 \text{ (mm/año)} \quad (2.3.59)$$

Siendo:

- L_L es la Lámina específica de lagunas y pantanos.

7) Nevados

$$L_N = 500 \text{ (mm/año)} \quad (2.3.60)$$

Siendo:

- L_N es la lámina específica de nevados.

Las respectivas extensiones o áreas son determinadas de los mapas o aerofotografías. Los almacenamientos de corto plazo no son considerados para este caso, estando los mismos incluidos en las ecuaciones de la precipitación efectiva (Aguirre, 2014, p. 9).

Abastecimiento de la retención

El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática. En la región del Cusco el abastecimiento comienza en el mes de noviembre con 5%, alcanzando hasta enero el valor del 80 % del volumen final. Las precipitaciones altas del mes de febrero completan el 20 % restante, y las precipitaciones efectivas del mes de marzo escurren directamente sin contribuir a la retención. Los coeficientes mensuales expresados en porcentaje del almacenamiento total anual se muestran en el cuadro.

Tabla 2.3.3. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvia

Mes	Cuzco	Huancavelica	Junín	Cajamarca
Oct	0	10	10	25
Nov	5	0	0	-5
Dic	35	35	25	0
Ene	40	30	30	20
Feb	20	20	30	25
Mar	0	5	5	35
Total	100	100	100	100

Almacenamiento hídrico durante la época de lluvia, valores en porcentaje. Fuente: Cooperación Técnica de la República de Alemania a través del Plan Meris II 1980; obtenido de Najarro, S. (2015), p.22.

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la Precipitación Efectiva PE_i. Se calcula mediante la ecuación:

$$A_i = a_i \left(\frac{R}{100} \right) \quad (2.3.61)$$

Siendo:

- A_i es el abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes),
- a_i es el coeficiente de abastecimiento (%), y
- R es la retención de la cuenca (mm/año).

Determinación del caudal mensual para el año promedio

Está basado en la ecuación fundamental que describe el balance hídrico mensual a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i \quad (2.3.62)$$

Donde:

- CM_i es el caudal del mes i (mm/mes),
- PE_i es la precipitación efectiva del mes i (mm/mes),
- G_i es el gasto de la retención del mes i (mm/mes), y
- A_i es el abastecimiento del mes i (mm/mes).

Generación de caudales mensuales para periodos extendidos

A fin de generar una serie sintética de caudales para períodos extendidos, se ha implementado un modelo estocástico que consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden.

$$Q_t = f(Q_{t-1}) \quad (2.3.63)$$

Con una variable de impulso, que en este caso es la precipitación efectiva.

$$Q = g(PE_t) \quad (2.3.64)$$

Con la finalidad de aumentar el rango de valores generados y obtener una óptima aproximación a la realidad, se utiliza además una variable aleatoria.

$$Z = z(S) \sqrt{(1-r^2)} \quad (2.3.65)$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales es:

$$Q_t = B1 + B2(Q_{t-1}) + B3(PE_t) + z(S)\sqrt{1-r^2} \quad (2.3.66)$$

Donde:

- Q_t es el caudal del mes t
- Q_{t-1} es el caudal del mes anterior
- PE_t es la precipitación efectiva del mes
- $B1$ es el factor constante o caudal básico.

Se calcula los parámetros $B1$, $B2$, $B3$, r y S sobre la base de los resultados del modelo para el año promedio por un cálculo de regresión con Q_t como valor dependiente y Q_{t-1} y PE_t , como valores independientes.

El proceso de generación requiere de un valor inicial, el cual puede ser obtenido en una de las siguientes formas:

- Empezar el cálculo en el mes para el cual se dispone de un aforo
- Tomar como valor inicial el caudal promedio de cualquier mes,
- Empezar con un caudal cero, calcular un año y tomar el último valor como valor Q_0 sin considerar estos valores en el cálculo de los parámetros estadísticos del período generado.

2.3.5 Simulación de avenidas máximas

La metodología para la simulación de avenidas máximas o caudales máximos para diferentes períodos de retorno se muestra a continuación.

Periodo de Retorno

$$p = \frac{1}{tp} \quad (2.3.67)$$

Donde:

- p es la probabilidad, y
- tp es el período de retorno

Determinación de distribución de probabilidades

Se escogió un modelo probabilístico por usar, que representa en forma satisfactoria el comportamiento de la variable.

Distribución normal

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución normal, si su función densidad, es:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi S}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{X}}{S}\right)^2} \quad (2.3.68)$$

Para $-\infty < x < \infty$

Donde:

- $f(x)$ es la función densidad normal de la variable x ,
- x es la variable independiente,
- \bar{X} es el parámetro de localización, igual a la media aritmética de x ,
- S es el parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x , y
- EXP es la función exponencial con base e , de los logaritmos neperianos.

Cuando la variable aleatoria X se distribuye normalmente con media $\mu = \bar{y}$ y varianza ($\sigma^2 = S^2$), se denota de la siguiente forma:

$$X \sim N(\bar{X}, S^2)$$

Distribución log-normal de 2 parámetros

La variable aleatoria X es positiva y el límite inferior x_0 no aparece, la variable aleatoria: $Y = \ln X$, es normalmente distribuida con media μ y γ varianza σ^2 y se usan estos parámetros para especificar que la distribución es logarítmica, puesto que también puede usarse la media y la varianza de X .

Se dice que una variable aleatoria X tiene una distribución log-normal de parámetros, si su función densidad es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\Pi\sigma_y}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2} \quad (2.3.69)$$

Para $0 < x < \infty$

$$x \sim \log N(\mu_y, \sigma_y^2)$$

Donde μ_y , y σ , son la media y desviación estándar de los logaritmos naturales de x ; es decir, de $\ln x$, y representan, respectivamente, el parámetro de escala y el parámetro de forma de la distribución.

Distribución gamma de 2 parámetros

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 2 parámetros, si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (2.3.70)$$

Para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Siendo:

- γ es el parámetro de forma (+)
- β es el parámetro de escala (+)
- $\Gamma(\gamma)$ es la función gamma completa, definida como:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (2.3.71)$$

Que converge si $\gamma > 0$

Distribución Gumbel

La distribución Gumbel es una de las distribuciones de valor extremo, es llamada también Valor Extremo Tipo I, Fisher-Tippett tipo I o distribución doble exponencial.

La función de distribución acumulada de la distribución Gumbel, tiene la forma:

$$F_{(x)} = e^{-e^{-\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}} \quad (2.3.72)$$

Para: $-\infty < x < \infty$

Donde:

- $0 < \alpha < \infty$ es el parámetro de escala
- $-\infty < \mu < \infty$ es el parámetro de posición, llamado también valor central o moda

Derivando la función de distribución acumulada con respecto a x, se obtiene la función densidad de probabilidad; es decir:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (2.3.73)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} - e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}} \quad (2.3.74)$$

Para:

$$-\infty < x < \infty$$

Y sus variables probabilísticas son los siguientes:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.3.75)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.3.76)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s \quad (2.3.77)$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad (2.3.78)$$

Donde:

- \bar{x} es el promedio aritmético de los valores de la serie,
- n es el número de años del registro,
- S es la desviación standard de la serie, y

Corrección por intervalo fijo de observación

$$PPc = 1.13 * PP \quad (2.3.79)$$

Donde

- PPc es la precipitación corregida para distintas frecuencias, y
- PP es la precipitación obtenida con la distribución de probabilidad para distintas frecuencias.

Curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF)

El análisis estadístico de probabilidad se realiza aplicando a una serie de datos determinada de valores máximos, una función de distribución de probabilidades Gumbel.

La inexistencia de pluviógrafos en las áreas de estudio ha llevado a la elaboración de curvas de altura-duración-frecuencia sintéticas, que se construyen basándose en valores de precipitación asociados a intervalos de tiempo de 24 horas, que son los de los que habitualmente se disponen en las estaciones meteorológicas normales, y de una serie de parámetros regionales extraídos de estudios realizados sobre estaciones completas (Robredo, 2017, p. 8).

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se calculó indirectamente, mediante la siguiente relación:

$$I = \frac{K T^m}{t^n} \quad (2.3.80)$$

Donde:

- I es la intensidad máxima (mm/h),
- t es la duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min),
- T es el período de retorno en años, y
- K, m, n son los factores característicos de la zona de estudio.

Hietograma de diseño para las cuencas

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, $4\Delta t$, ... y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño (MTC, 2017, p. 34).

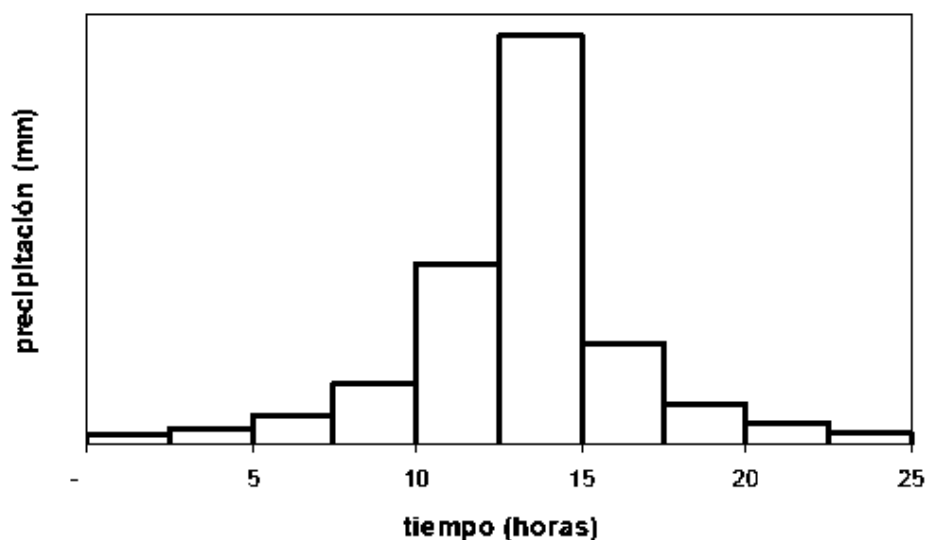


Figura 2.3.10. Hietograma de diseño

Ejemplo de Hietograma de diseño. Fuente: MTC (2017), p. 34.

Obtención del hidrograma unitario

La selección de la información hidrológica resulta fundamental para la correcta derivación del hidrograma unitario. Esta información se refiere fundamentalmente a los pluviogramas de una tormenta y el hidrograma observado en el punto de control. Al seleccionar las lluvias y crecidas se debe tener en consideración los supuestos en que se basa el modelo, procurando que la información seleccionada se ajuste a éstos lo más fielmente posible (Pérez, 2007, p. 13).

Los pasos a seguir para la obtención de un hidrograma unitario se presentan a continuación:

- 1) Se obtiene un pluviograma (lluvia acumulada v/s tiempo) medio de la cuenca en estudio para una lluvia determinada.
- 2) Del pluviograma medio se obtiene el hietograma (intensidad v/s tiempo) de la lluvia.
- 3) Se separan los componentes del hidrograma (escorrentía directa y flujo base), quedando determinado en este punto el tiempo base del hidrograma unitario resultante.
- 4) Del hidrograma de escorrentía directa se determina el volumen escurrido, al dividirlo por el área de la cuenca se obtiene la lámina de agua, correspondiente a la precipitación efectiva de la tormenta.

- 5) Conociendo la precipitación efectiva y el hietograma de la tormenta se puede determinar la duración efectiva de la lluvia a través del método del índice ϕ .
- 6) Finalmente, los valores del hidrograma de escorrentía directa son divididos por el valor de la precipitación efectiva, obteniéndose así el hidrograma unitario para el tiempo de duración determinado en el punto 5.

A partir de los hidrogramas unitarios de igual ($\pm 25\%$) tiempo de duración se obtiene el hidrograma unitario medio de la cuenca para esa duración de precipitación efectiva. Para esto se promedian los valores de los caudales peak (Q_p) y los tiempos al peak (T_p) de los hidrogramas unitarios parciales. A partir de este punto se dibuja un hidrograma que se ajuste a la forma y distribución de los hidrogramas unitarios parciales y cuya área encierre un volumen de 1mm.

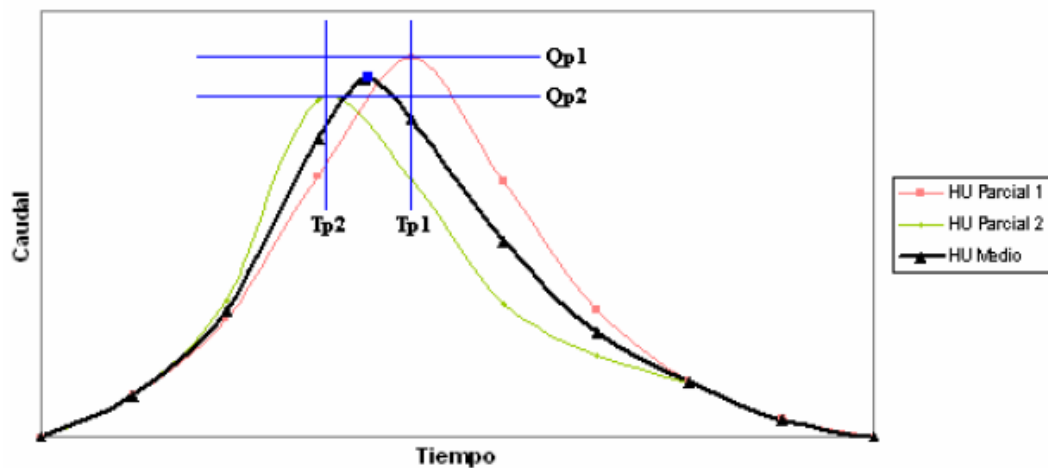


Figura 2.3.11. Hidrograma unitario medio

Determinación hidrograma unitario medio de una cuenca. Fuente: Pérez (2007), p. 14.

En la figura se puede ver la determinación del hidrograma unitario medio de una cuenca, a partir de 2 hidrogramas unitarios parciales de igual tiempo de duración. Con un punto azul se muestra el valor promediado a partir de los caudales peak y tiempos al peak a partir del cual se dibuja el hidrograma unitario medio para la cuenca.

Método SCS para abstracciones o pérdidas

En la figura siguiente se muestra el comportamiento de la tormenta como un todo y se detalla.

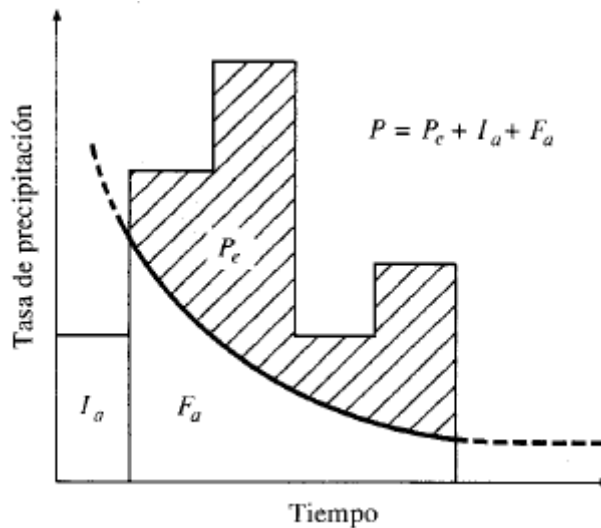


Figura 2.3.12. Abstracciones de precipitación de SCS

VARIABLES EN EL MÉTODO DE ABSTRACCIONES DE PRECIPITACIÓN DEL SCS DONDE I_a = ABSTRACCIÓN INICIAL, P_e = EXCESO DE PRECIPITACIÓN, F_a ABSTRACCIÓN CONTINUADA, P = PRECIPITACIÓN TOTAL. FUENTE: CHOW ET AL. (1994), P.151.

La precipitación neta se obtiene usando la relación:

$$P_e = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \quad (2.3.81)$$

Donde:

- P es la precipitación bruta o total (mm), y
- P_e es la precipitación neta (mm).

La retención potencial máxima del suelo (mm), está dado por:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4 \quad (2.3.82)$$

Donde:

- CN es el número adimensional de curva.

Sobre la base de las características determinadas de la microcuenca (tipo de suelo, tipo de cultivo, cubierta vegetal, etc.), se determina un número adimensional de curva, CN, a través del cual se transforman las precipitaciones brutas en precipitaciones netas.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se dan en la tabla Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana, para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto (Chow et al., 1994, p. 153).

En caso que la cuenca contenga diferentes tipos de suelo y cobertura vegetal, el CN puede ser calculado como un promedio ponderado, con la ecuación:

$$CN = \frac{\sum A_i x CN_i}{A} \quad (2.3.83)$$

Donde:

- i es el índice de subdivisión de cuenca.
- A_i es el área de drenaje de cada subdivisión i .
- CN_i es el número de Curva para cada subdivisión.

Modelo hidrológico HEC HMS

HEC HMS es un programa que calcula el hidrograma producido por una cuenca si le facilitamos datos de la cuenca y datos de precipitaciones (Sánchez , 2015, p. 1).

El modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System) es un modelo lluvia esorrentía, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center HEC del U.S. Army Corps of Engineers USACE, que está diseñado para simular el hidrograma de esorrentía que se produce en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un episodio de lluvia, y probablemente el más ampliamente utilizado en este tipo de caracterizaciones hidrológicas de avenidas. En este trabajo se ha utilizado el HEC-HMS 4.0.

Las diversas fases de trabajo del programa se muestran en el siguiente esquema:

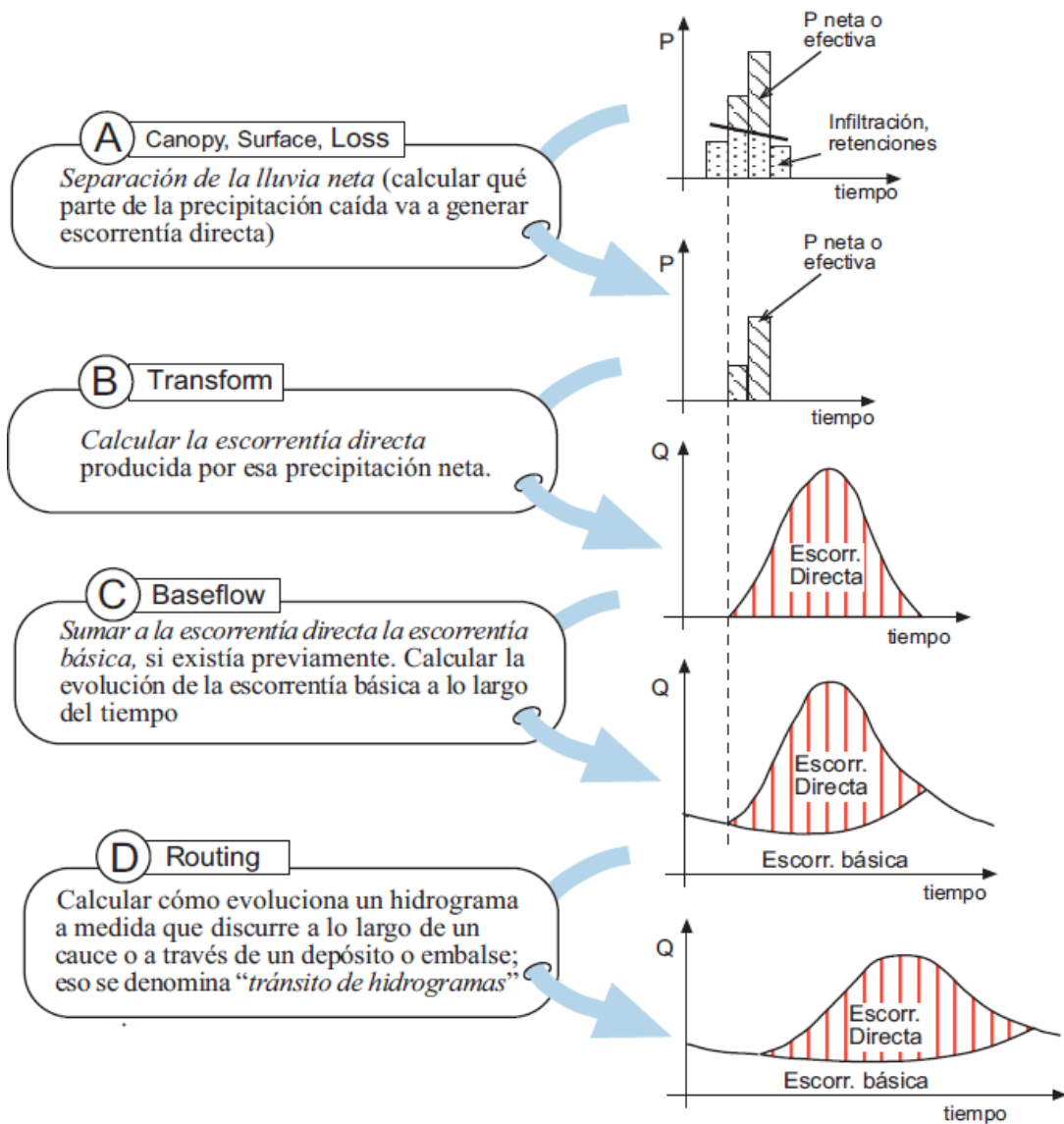


Figura 2.3.13. Esquema de trabajo del software HEC HMS

Las diversas fases de trabajo del programa. Fuente: Sánchez, J (2015), P. 1.

Del esquema anterior se puede decir lo siguiente:

- La fase A se desglosa en tres aspectos distintos que dan lugar a pérdidas.
- A1 Canopy: si existe vegetación, parte de la precipitación será retenida en las hojas para evaporarse después.
- A2 Surface Storage: Precipitación que puede quedar retenida en pequeñas retenciones superficiales, para infiltrarse o evaporarse después.
- A3 Loss: precipitación que se infiltra. Habitualmente, los dos aspectos anteriores no son tomados en cuenta, y esta es la parte fundamental de las abstracciones: se calcula qué parte de las precipitaciones se infiltra en el suelo. El resto se considerará lluvia neta y se utilizará para calcular la escorrentía generada.

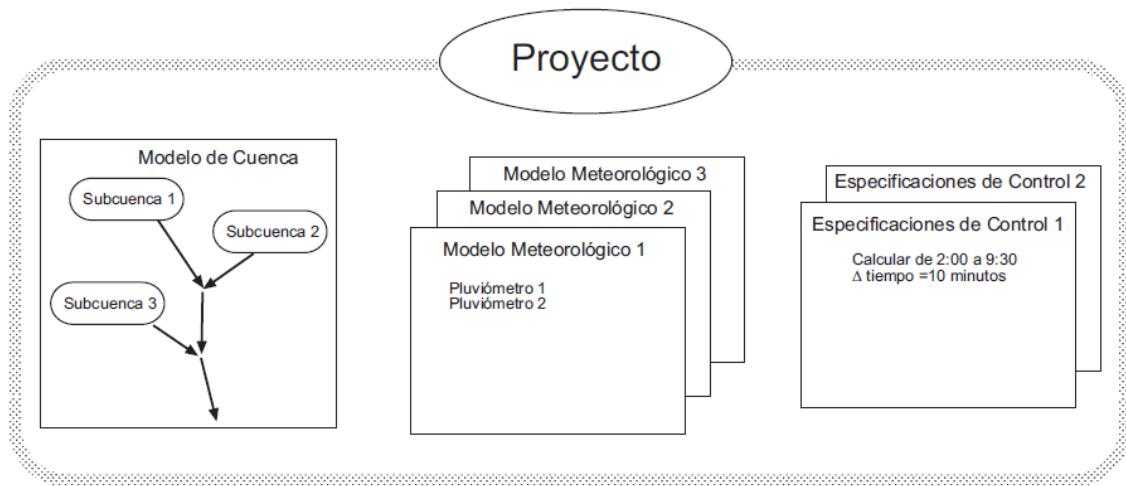


Figura 2.3.14. Componentes del software HEC-HMS

Componentes básicos de un proyecto. Fuente: Sánchez, J (2015), P. 2.

El elemento hidrológico utilizado es la subcuenca (Subbasin), el cual se usa para representar la cuenca física. Dada la precipitación, la salida de agua de la subcuenca se calcula restando las pérdidas a la precipitación y transformando el exceso de precipitación en caudal en el punto de salida de la subcuenca, sumando finalmente el caudal base (Nanía, 2007, p. 8).

El método de cálculo de las pérdidas usado es:

- Número de curva CN SCS
- Los métodos de transformación lluvia-caudal son:
- Hidrograma unitario SCS
 - Hidrograma unitario Snyder

2.3.6 Validación y verificación de modelos hidrológicos

El coeficiente de eficiencia Nash Sutcliffe (NS)

El criterio de Nash-Sutcliffe es uno de los más usados en Hidrología (Cabrera J., 2017, p. 5).

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{sim})}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right) \quad (2.3.84)$$

Donde:

- Qobs es la descarga observada,
- Qsim es la descarga simulada,

- Qobs es la descarga media observada, y
- N es el número de datos.

El coeficiente de eficiencia de Nash Sutcliffe, logarítmico (NSL)

El rango de valores de NS y NSL se encuentra entre 1 (ajuste perfecto) y $-\infty$. Un coeficiente de eficiencia menor de cero indica que el valor medio de la serie observada podría ser un mejor pronosticador que el modelo (Vegas et al., 2015, p. 8).

Este indicador puede ser utilizado para cualquier escala de tiempo.

$$NSL = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (\ln Q_{obs} - \ln Q_{sim})}{\sum_{i=1}^N (\ln Q_{obs} - \ln \bar{Q}_{obs})^2} \right) \quad (2.3.85)$$

Donde:

- Qobs es la descarga observada,
- Qsim es la descarga simulada,
- \bar{Q}_{obs} es la descarga media observada, y
- N es el número de datos.

Coefficiente de correlación de Pearson (r)

Este indicador mide la covarianza existente sin penalización por sesgo entre los valores observados y los obtenidos por la modelación (Chuquín, 2016, p. 15).

$$r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \bar{Q}_{obs}) \sum_{i=1}^n (Q_{sim_i} - \bar{Q}_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_j} - \bar{Q}_{obs})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{sim_j} - \bar{Q}_{sim})^2}} \quad (2.3.86)$$

Los valores que puede adoptar están en el rango de -1 a 1, en el que valores iguales a 1 indican un ajuste perfecto de la variable modelada observada, mientras que valores que tienden a -1 indican una relación lineal perfecta, pero con pendiente negativa.

Coefficiente de determinación (R)

El coeficiente de determinación describe la proporción de la varianza en los datos observados que puede ser explicada por el modelo (Legates y McCabe, 1999). (Lujano et al., 2015, p. 3)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})(Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})}{\sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2}} \quad (2.3.87)$$

Sesgo porcentual (BIAS)

Medida simétrica entre los promedios de los valores simulados y los valores promedio observados (Chuquín, 2016, p. 15).

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_{obs})}{\sum_{i=1}^n Q_{obs}} \times 100 \quad (2.3.88)$$

Donde:

- Q_{obs} es la descarga observada,
- Q_{sim} es la descarga simulada, y
- n es el número de datos.

Prueba de bondad de ajuste de Kolmogórov Smirnov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_o(X_m)$ y la estimada $F(X_m)$.

$$D = \max |F_o(X_m) - F(X_m)| \quad (2.3.89)$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significación seleccionado.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_o(X_m) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (2.3.90)$$

Donde

- X_m es el i -ésimo valor observado en la muestra (cuyos valores se han ordenado previamente de menor a mayor),
- $F_o(X_m)$ es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que X_m ,
- $F(X_m)$ es la probabilidad de observar valores menores o iguales que X_m cuando H_o es cierta, y
- Por tanto, el criterio para la toma de la decisión entre las dos hipótesis será de la forma:

$$Si D \leq D\alpha \rightarrow \text{aceptar } H_o \quad (2.3.91)$$

$$Si D > D\alpha \rightarrow \text{rechazar } H_0 \quad (2.3.92)$$

A su vez, el valor de $D\alpha$ depende del tipo de distribución a probar y se encuentra tabulado. En general es de la forma:

$$D\alpha = \frac{c_\alpha}{k(n)} \quad (2.3.93)$$

Donde $C\alpha$ y $k(n)$ se encuentran en las tablas siguientes:

Tabla 2.3.4. *Valores de $C\alpha$*

$C\alpha$	α		
	0.1	0.05	0.01
Distribución			
General	1.224	1.358	1.628
Normal	0.819	0.895	1.035

Valores de $C\alpha$ para el valor de la diferencia absoluta. Fuente: ULPGC (2017), p. 2.

Tabla 2.3.5. *Valores de $k(n)$*

Distribución	$k(n)$
General	$k(n) = \sqrt{n} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}}$
Normal	$k(n) = \sqrt{n} - 0.01 + \frac{0.85}{\sqrt{n}}$

Valores de $C\alpha$ para el valor de la diferencia absoluta. Fuente: ULPGC (2017), p. 3.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Características geomorfológicas de las cuencas en estudio

Las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chiclarazo y Apacheta son aquellas definidas por la sección de la parte alta del río Choccoro, Chiclarazo y Apacheta, a partir de la ubicación de las bocatomas, y los parámetros morfométricos que influyen en la simulación de caudales medios y máximos para diferentes períodos de retorno fueron calculados aguas arriba de las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chiclarazo y Apacheta de la Irrigación cachi. La tabla siguiente muestra los principales parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica de la bocatoma Choccoro que influyen en la esorrentía superficial.

Tabla 3.1.1. *Parámetros geomorfológicos de las cuencas en estudio*

Parámetros	Microcuenca de la bocatoma			Unidades
	Choccoro	Chiclarazo	Apacheta	
Superficie	33.00	100.24	136.19	Km^2
Perímetro	26.00	48.00	55.98	Km
Xc este	552175.68	550193.12	532833.32	m
Yc norte	8519011.02	8514656.85	8523084.09	m
Zc altitud	4504.00	4506.06	4776.50	msnm
Altitud máxima	4847.79	4910.73	5130.09	msnm
Altitud mínima	4049.81	3841.68	4174.00	msnm
Long. Máx. del cauce	11510.43	22008.97	15698.29	m
Pendiente med. cuenca	0.28	0.29	0.27	m/m

Principales parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chiclarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia

La cuenca hidrográfica de la bocatoma Choccoro tiene una superficie de 33.003 Km^2 y de acuerdo a la clasificación propuestas por (Jiménez, 1986) es una microcuenca; la cuenca hidrográfica de la bocatoma Chiclarazo tiene una superficie de 100.24 Km^2 y

es una subcuenca; la cuenca hidrográfica de la bocatoma Apacheta tiene una superficie de 136.19 Km² y es una subcuenca.

3.2 Descripción del comportamiento de variables meteorológicas

3.2.1 Comportamiento de la precipitación

Completación de datos con Vector regional

Para la completación de datos de precipitación faltantes, se realizó con el método del vector regional. Para ello se utilizó datos históricos en las estaciones meteorológicas cercanas a las estaciones virtuales y son las estaciones meteorológicas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel cero y Hornada; estas zonas son las más cercanas a las cuencas hidrográficas en estudio, y fueron seleccionados porque se encuentran en zona homogénea. Los datos históricos de las seis estaciones meteorológicas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel cero y Hornada eran incompletas, por ello la completación de datos se realizó con el software Hydraccess, realizándose un proceso interactivo hasta llegar los siguientes resultados estadísticos:

Tabla 3.2.1. *Eficiencia de datos de precipitación en estaciones*

Estación	N° años	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
Choccoro	42	0.12	0.80	9.2
Chaquiccocha	42	0.23	0.65	9.2
Apacheta	42	0.21	0.42	9.6
Choclococha	42	0.29	0.64	7.7
Tunel cero	42	0.12	0.87	9.6
Hornada	42	0.17	0.80	9.1

Crterios de eficiencia de datos en seis estaciones pluviométricas de referencia completadas. Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior se puede decir que los datos históricos completados de las estaciones meteorológicas son óptimos porque el promedio de la desviación estándar de desvíos es 0.19 lo cual es menor que 0.2 que es el límite máximo permitido, el promedio de correlación entre el vector es 0.7 y el promedio de la calidad de datos es 9.07 evaluado en escala (0 -10), lo cual significa que las estaciones están en una zona homogénea de una región.

Regionalización de la precipitación media

La verificación de regionalización de precipitación por altitud de estaciones se muestra en la siguiente figura:

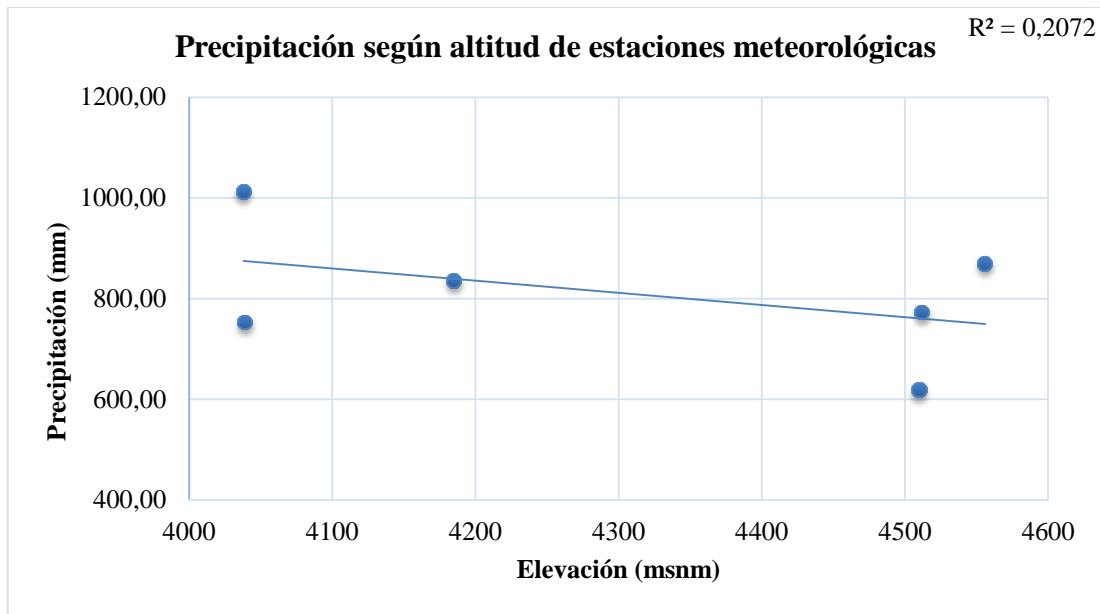


Figura 3.2.1. Regionalización datos de precipitación observados

Regionalización de datos de precipitación observados en las estaciones meteorológicas de referencia (precipitación media versus altitud). Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior el coeficiente de correlación de Spearman es -0.455, y el coeficiente de determinación es 0.207, lo cual significa que la correlación de precipitación por altitud es muy débil.

Polígono de Thiessen para precipitación media

Así mismo para calcular la precipitación media de las cuencas en estudio, se verificó el método de Thiessen, donde para aplicar este método se requirió conocer la ubicación de cada estación dentro o en la periferia de la cuenca en estudio, identificando el área de influencia de cada pluviómetro. Así se formó triángulos entre las estaciones pluviométricas más cercanas uniéndolas con segmentos rectos sin que éstos se corten entre sí y tratando que los triángulos sean lo más equiláteros posibles. A partir de eso se trazó líneas bisectoras perpendiculares a todos los lados de los triángulos, las que al unirse en el baricentro de cada triángulo conformó una serie de polígonos que delimitan el área de influencia de cada estación, las que se muestran en la siguiente figura.

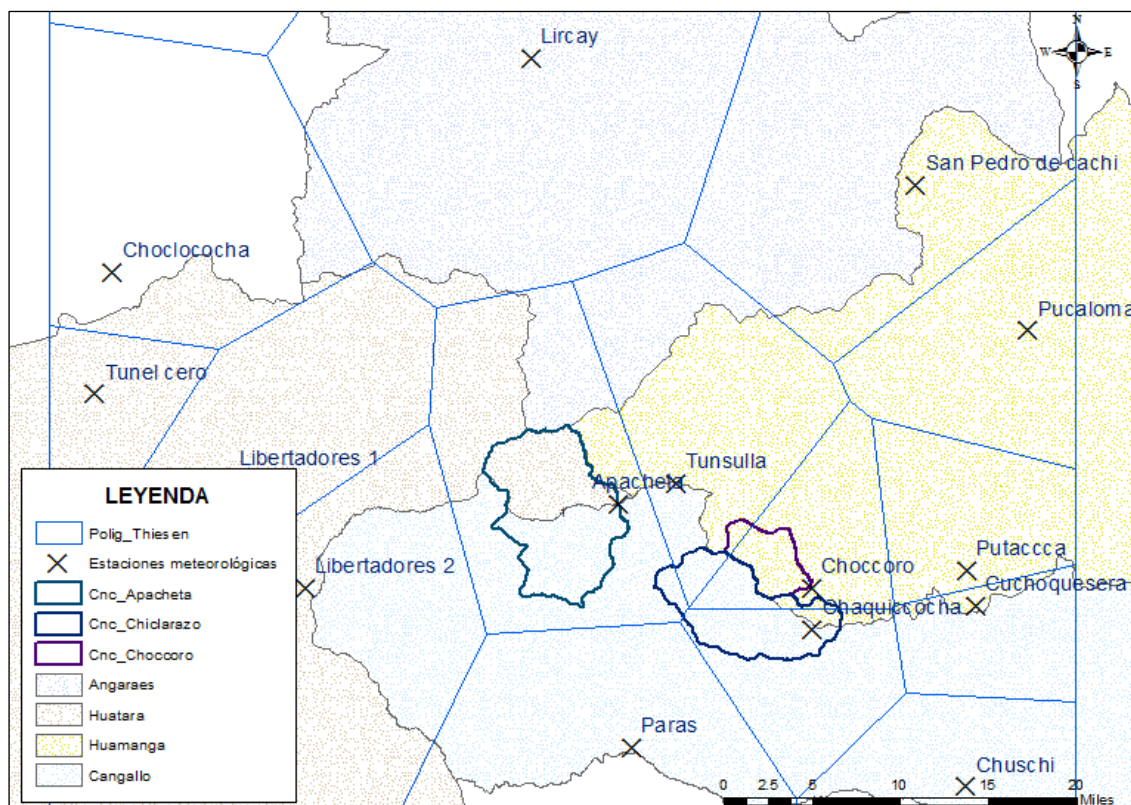


Figura 3.2.2. Polígono de Thiessen de precipitaciones en la zona en estudio

Figura que muestra las áreas de influencia de las estaciones pluviométricas, a las cuencas hidrográficas en estudio.
Fuente: elaboración propia.

En la figura anterior se observa que la densidad de estaciones meteorológicas en la zona en estudio es escasa, como ejemplo se observa que el área de influencia de la estación Apacheta abarca a más de 300 Km^2 , lo cual no es viable, porque diferentes investigadores recomiendan que debería de existir una estación por cada 20 Km^2 .

Relación de datos satelitales/observados para precipitación media

Seguidamente para obtener en la precipitación media en la microcuenca Choccoro, subcuenca Chicllarazo y la subcuenca Apacheta, se realizó la calibración de los datos de precipitación observadas con los datos de precipitación satelitales TRMM, en las estaciones meteorológicas Choccoro, Chaquiccocha y Apacheta; con el objetivo de encontrar un factor de corrección de los datos satelitales, para ello se realizó el análisis estadístico de coeficiente de correlación y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.2.2. *Correlación de datos de PP obs. y satelitales*

estación meteorológica	r	R
Choccoro	0.41	0.20
Chaquiccocha	0.73	0.58
Apacheta	0.71	0.51

Correlación de datos observados y satelitales. Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior se puede observar que en las estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta los datos de precipitación observados y satelitales tienen un coeficiente de correlación mala o muy débil, mientras que la estación meteorológica Chaquiccocha el coeficiente de correlación es moderada o regular. Con esta información se decidió buscar otra solución para la obtención de la precipitación media en las cuencas en estudio.

Interpolación por Kriging para precipitación media

En la obtención de precipitación media en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, sub cuenca de la cuenca bocatoma Chiclarazo y la sub cuenca de la bocatoma Apacheta se utilizó Interpolación por Kriging, la calidad de los datos generados se verificó con método vector regional, con los datos de precipitación de las estaciones virtuales y los datos históricos de las estaciones meteorológicas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel cero y Hornada, realizando iteraciones hasta cumplir los siguientes resultados estadísticos, donde se observa que los datos se encuentran en zona homogénea:

Tabla 3.2.3. *Eficiencia de datos de precipitación en zona de estudio*

Estación	N° años	D.E. Desvíos	Correl. /Vector	Calidad(/10)
Choccoro	42	0.09	0.89	9.50
Chaquiccocha	42	0.23	0.66	9.60
Apacheta	42	0.17	0.62	9.40
Choclococha	42	0.32	0.48	7.50
Tunel cero	42	0.14	0.79	9.50
Hornada	42	0.19	0.69	8.80
microcuenca Choccoro	42	0.06	0.95	9.70
subcuenca Chiclarazo	42	0.07	0.92	9.80
subcuenca Apacheta	42	0.13	0.75	9.50

Criterios de eficiencia de datos de precipitación satelitales corregidas en las cuencas hidrográficas en estudio, en base a los datos de estaciones de referencia observadas cercanos. Fuente: elaboración propia.

Del cuadro anterior se puede decir que los datos históricos completados de las estaciones meteorológicas son óptimos porque el promedio de la desviación estándar de desvíos es 0.16 lo cual es menor que 0.2 que es el límite máximo permitido, el promedio de correlación entre el vector es 0.75 y el promedio de la calidad de datos es 9.26 evaluado en escala (0 -10), lo cual significa que las estaciones están en una zona homogénea de una región, y los datos de las estaciones pluviométricas virtuales están corregidos.

El resultado de análisis de los datos históricos de precipitación con el método de vector regional se muestra a continuación

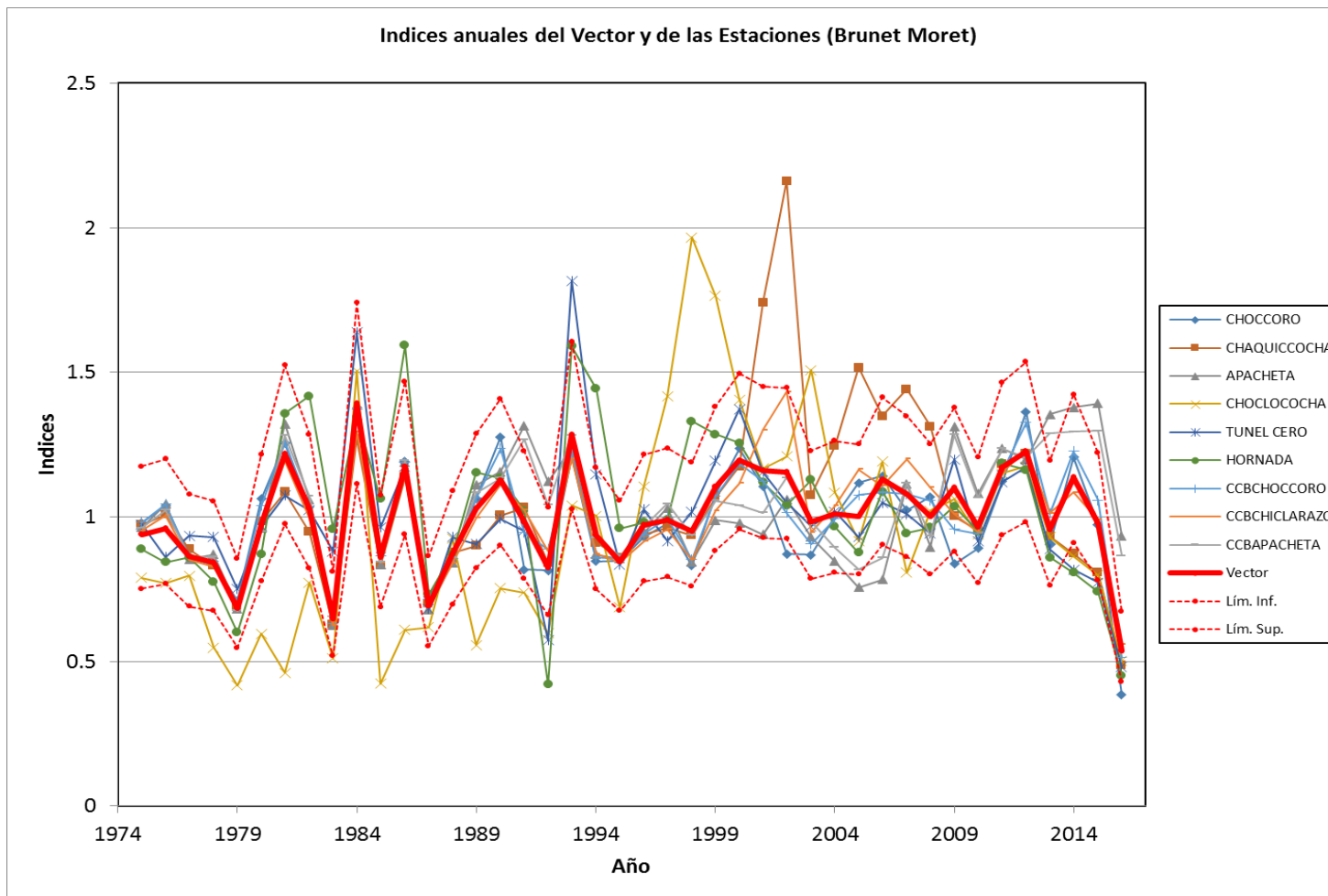


Figura 3.2.3. Análisis de datos de precipitación - vector regional.

Índices del vector regional, con los cuales que los datos de la microcuenca de la bocatoma Choccoro, subcuenca de la bocatoma Chiellarazo y la subcuenca de la bocatoma Apacheta son óptimos. Fuente: Elaboración Propia.

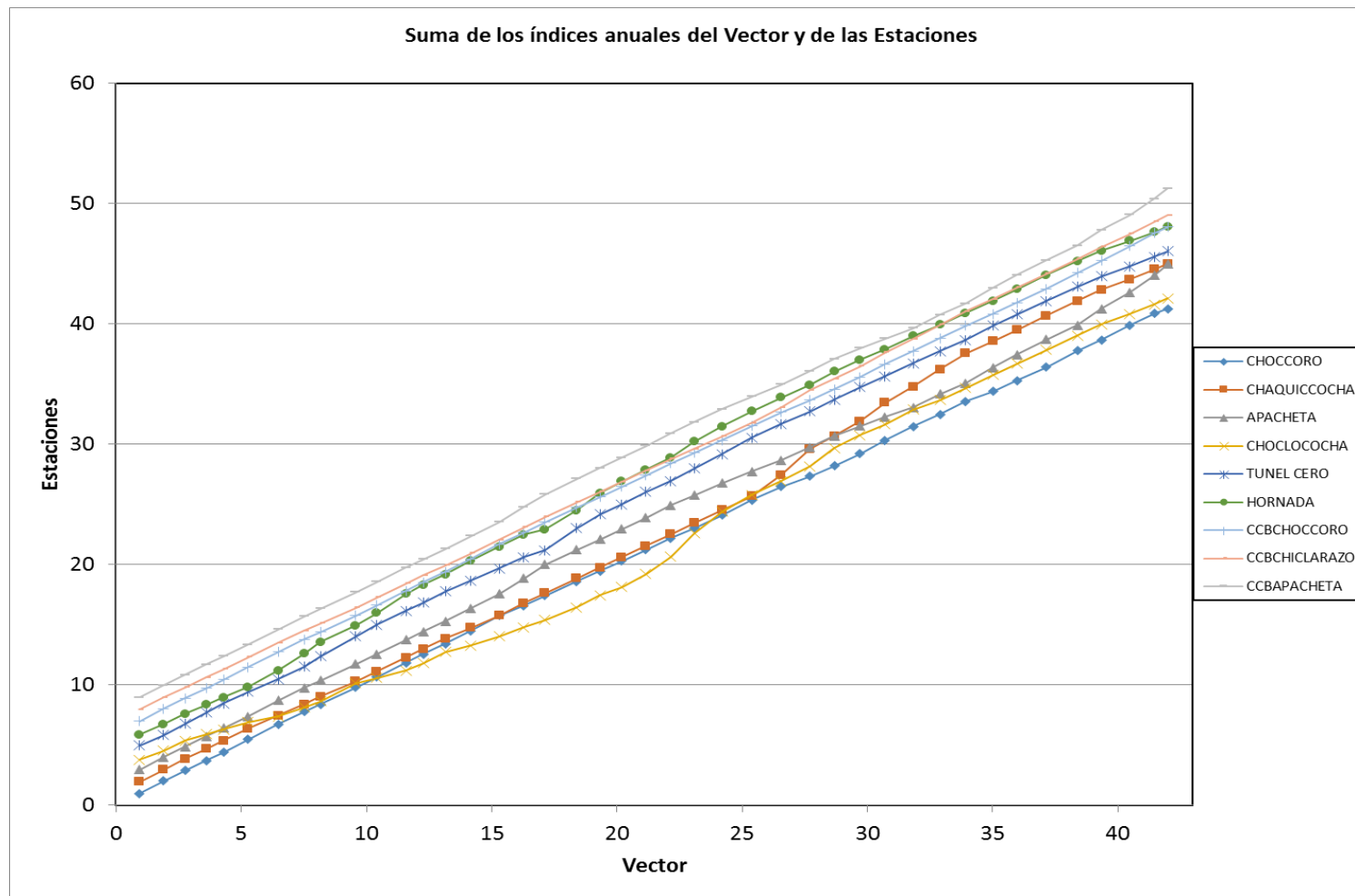


Figura 3.2.4. Índice acumulado de datos de precipitación - vector regional

Índices acumulados, con los cuales que los datos de la microcuenca de la bocatoma Choccoro, subcuenca de la bocatoma Chicllarazo y la subcuenca de la bocatoma Apacheta son óptimos. Fuente: Elaboración Propia

Precipitación media en las cuencas hidrográficas en estudio

La información básica usada en el estudio, se obtiene de las 3 estaciones pluviométricas que se encuentran dentro las cuencas hidrográficas de las bocatomas en estudio, que cuentan con datos de registros históricos de los periodos de 1975 a 2016, lo cual garantiza la validez de la información completada y extendida, para determinar la variabilidad multianual de la precipitación.

Para una buena visualización se realizó las comparaciones graficas de los histogramas a nivel mensual y anual de las 3 estaciones meteorológicas con registros históricos de los periodos de 1975-2016, a fin de detectar posibles saltos durante el periodo de información registrada, observándose aquellos periodos en los cuales la información varía notablemente. El histograma de las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chichlarazo y Apacheta, es casi similar, existiendo ciertos picos no significativos.

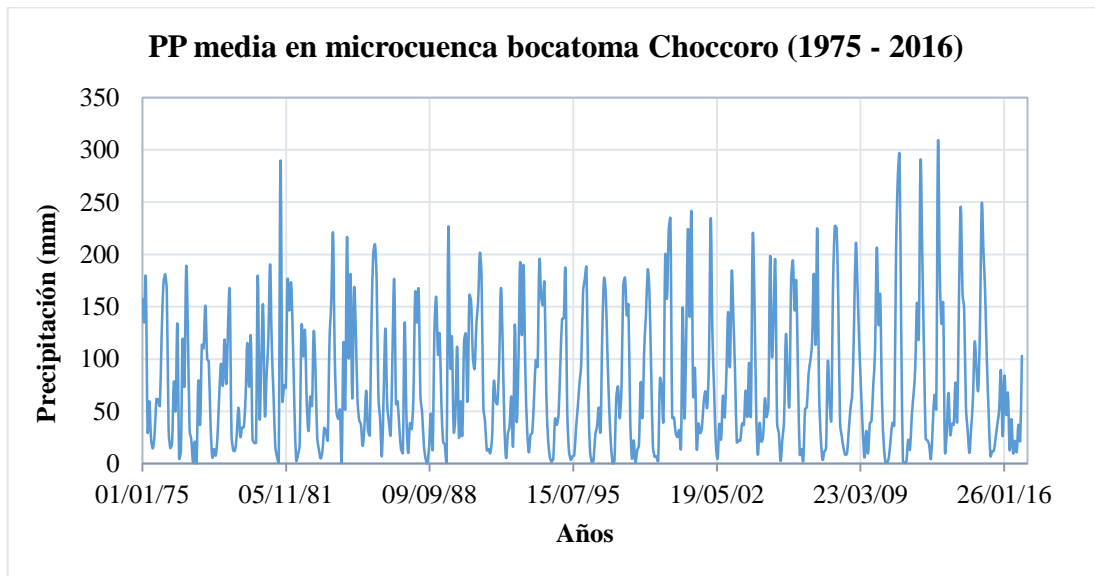


Figura 3.2.5. Histograma PP - microcuenca de bocatoma Choccoro

Comportamiento de la precipitación durante el tiempo en la estación virtual de la microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia.

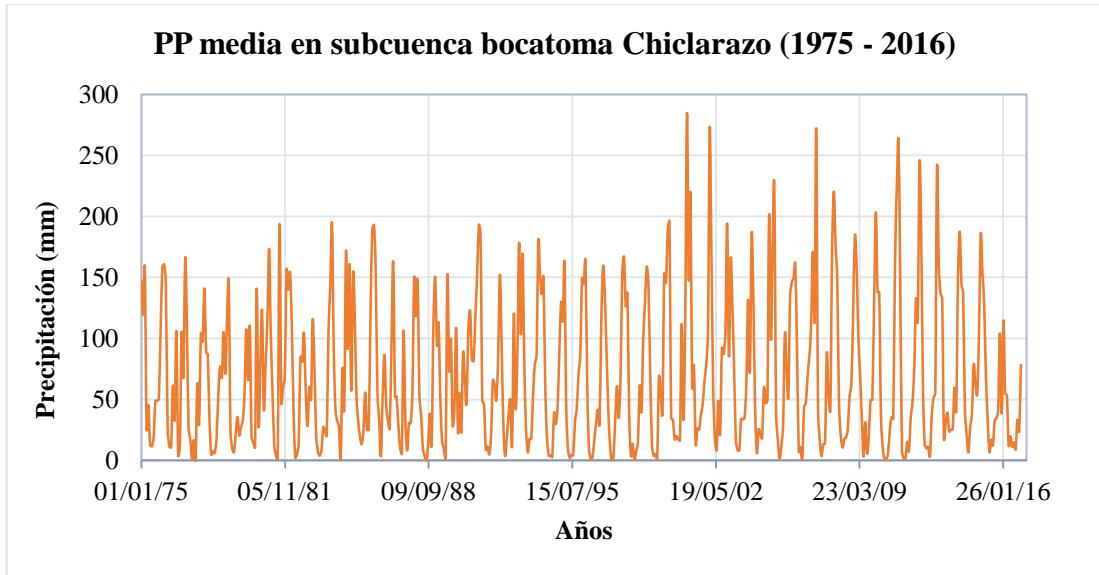


Figura 3.2.6. Histograma PP - subcuenca de la bocatoma Chicllarazo

Comportamiento de la precipitación durante el tiempo en la estación virtual de la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

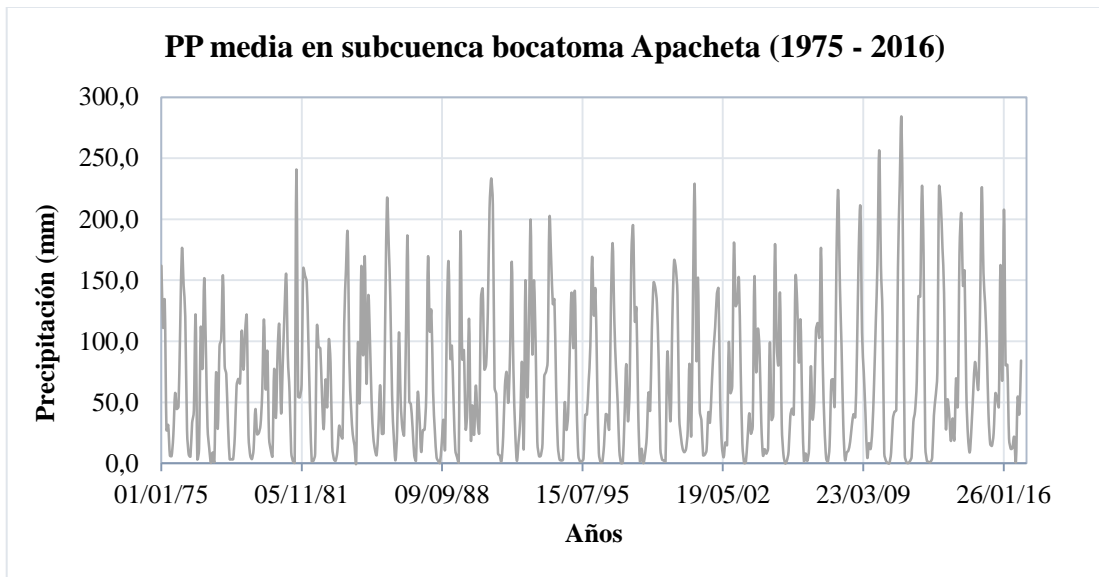


Figura 3.2.7. Histograma de PP - subcuenca de la bocatoma Apacheta

Comportamiento de la precipitación durante el tiempo en la estación virtual de la subcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.4. *PP media mensual - cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Microcuenca Bocat. Choccoro	150.97	159.22	149.55	55.85	27.53	18.61	25.85	47.86	56.40	70.82	55.66	126.42	944.73
Subcuenca Bocat. Chicllarazo	140.21	145.73	138.94	46.99	21.70	10.80	21.32	32.69	47.33	58.66	51.54	116.08	831.99
Subcuenca Bocat. Apacheta	154.17	133.15	120.22	47.78	17.26	7.16	11.41	38.04	54.39	55.40	50.15	122.80	811.94

Promedio de las precipitaciones mensuales en (mm) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

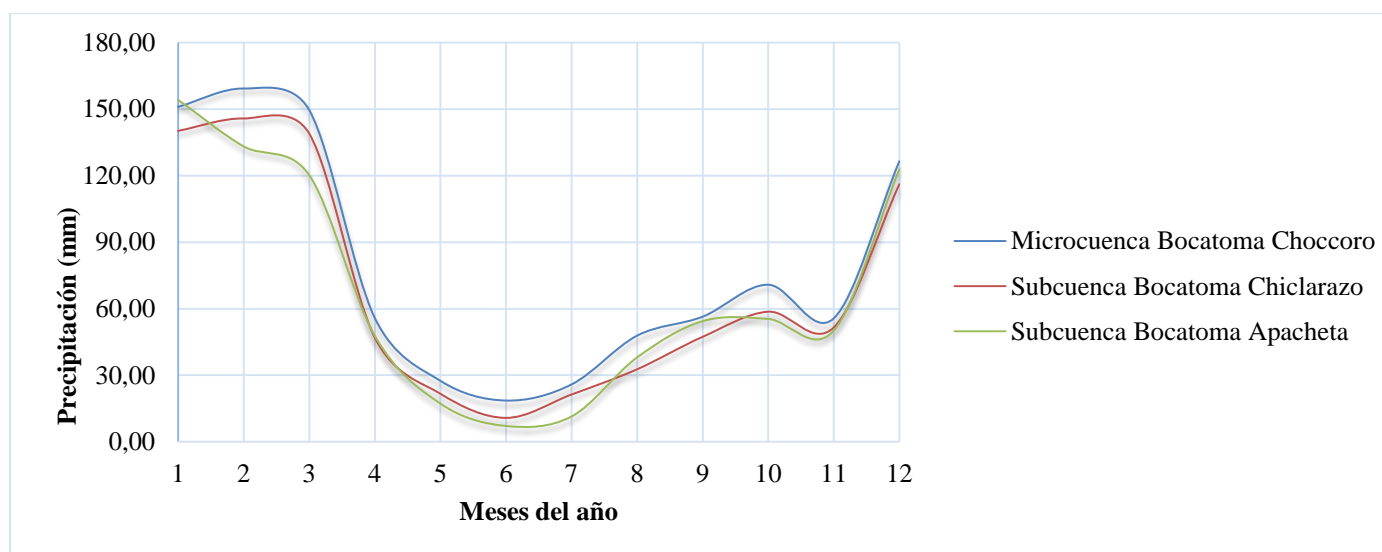


Figura 3.2.8. *PP media mensual - cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Promedio de las precipitaciones mensuales (mm) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

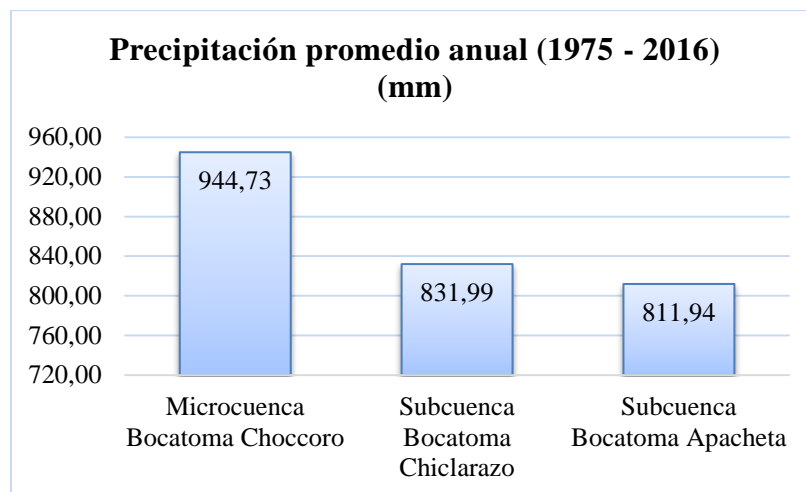


Figura 3.2.9. PP anual - cuencas en estudio (1975 – 2016)

Precipitación promedio anual (mm) en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

3.2.2 Temperatura

Para obtener los datos históricos de temperatura en la microcuenca Choccoro, subcuenca Chicllarazo y la subcuenca Apacheta, se realizó la calibración de los datos de precipitación observadas con los datos de precipitación satelitales M2SMNXSLV, en las estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta; con el objetivo de encontrar un factor de corrección de los datos satelitales, para ello se realizó el análisis estadístico de coeficiente de correlación y los resultados se muestran en la siguiente tablas:

Tabla 3.2.5. *Correlación de datos de Tmax obs. y satelital*

estación meteorológica	r
Choccoro	0.31
Apacheta	0.51

Correlación de datos de temperatura máxima observados y satelitales. Fuente: elaboración propia.

Del cuadro anterior se puede observar que la correlación datos de temperatura máxima observados y satelital en la estacione meteorológica Choccoro es débil, mientras en la estación meteorológica Apacheta los datos de precipitación observados y satelitales tienen un coeficiente de correlación regular.

Tabla 3.2.6. *Correlación de datos de Tmed obs. y satelital*

estación meteorológica	r
Choccoro	0.50
Apacheta	0.73

Correlación de datos de temperatura media observados y satelitales. Fuente: elaboración propia.

Del cuadro anterior se puede observar que la correlación datos de temperatura máxima observados y satelital en la estacione meteorológica Choccoro es regular, mientras en la estación meteorológica Apacheta los datos de precipitación observados y satelitales tienen un coeficiente de correlación regular y fuerte.

Tabla 3.2.7. *Correlación de datos de Tmin obs. y satelitales*

estación meteorológica	r
Choccoro	0.65
Apacheta	0.30

Correlación de datos de temperatura mínima observados y satelitales. Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior se puede observar que la correlación datos de temperatura máxima observados y satelital en la estacione meteorológica Choccoro es regular y fuerte, mientras en la estación meteorológica Apacheta los datos de precipitación observados y satelitales tienen un coeficiente de correlación débil.

Así mismo se analizó los datos históricos de datos de temperatura de las estaciones meteorológicas de referencia, pero la mayoría tiene datos a partir de 1995, por ello se encontró un factor de corrección mensual de los datos de temperatura observados y satelitales M2SMNXSLV, para tener datos de temperatura desde 1975 a 2016 en las estaciones virtuales en el centro de la microcuenca Choccoro, sub cuenca Chicllarazo y la sub cuenca Apacheta y la forma del factor de corrección es la siguiente:

$$factor\ de\ corrección = \frac{dato\ observado}{dato\ satelital}$$

Con esto se encontró los factores de corrección de temperaturas satelitales:

Tabla 3.2.8. *Factor de corrección de datos de Tmax mens. satelitales*

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Choccoro	1.04	1.00	1.06	0.97	1.00	1.08	1.05	1.05	1.01	0.99	1.02	1.10
Chicllarazo	1.03	1.00	1.03	0.99	1.01	1.05	1.04	1.05	1.02	1.02	1.02	1.07
Apacheta	1.02	1.01	0.99	1.01	1.03	1.02	1.03	1.05	1.04	1.05	1.03	1.04

Factores de corrección temperaturas máximas mensuales satelitales para su posterior uso como datos observados. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.9. *Factor de corrección de datos de Tmed mens. satelitales*

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Choccoro	0.81	0.82	0.82	0.80	0.76	0.81	0.81	0.74	0.75	0.74	0.77	0.84
Chicllarazo	0.82	0.84	0.84	0.81	0.76	0.79	0.78	0.75	0.75	0.79	0.78	0.80
Apacheta	0.83	0.85	0.85	0.83	0.77	0.77	0.76	0.76	0.75	0.84	0.79	0.76

Factores de corrección temperaturas medias mensuales satelitales para su posterior uso como datos observados. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.10. *Factor de corrección de datos de Tmin mens. satelitales*

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Choccoro	-0.07	-0.15	-0.09	-0.50	-1.33	-2.90	-5.99	-4.46	-1.12	-0.63	-0.62	-0.28
Chicllarazo	-0.06	-0.04	-0.01	-0.42	-1.51	-3.08	-7.34	-4.52	-1.35	-0.74	-0.62	-0.34
Apacheta	-0.06	0.06	0.08	-0.34	-1.69	-3.26	-8.69	-4.59	-1.58	-0.85	-0.61	-0.40

Factores de corrección temperaturas mínimas mensuales satelitales para su posterior uso como datos observados. Fuente: elaboración propia.

Las estaciones meteorológicas Choccoro, Chaquiccocha y Apacheta se encuentran dentro de la microcuenca de la bocatoma Choccoro, subcuenca de la bocatoma Chicllarazo y subcuenca de la bocatoma Apacheta, por lo tanto, se pudo aplicar los factores de corrección a datos históricos de temperatura satelital M2SMNXSLV a nivel mensual desde 1975 hasta 2016 en las estaciones virtuales que se encuentran en el centro de la unidad hidrográfica de las bocatomas.

Temperatura máxima

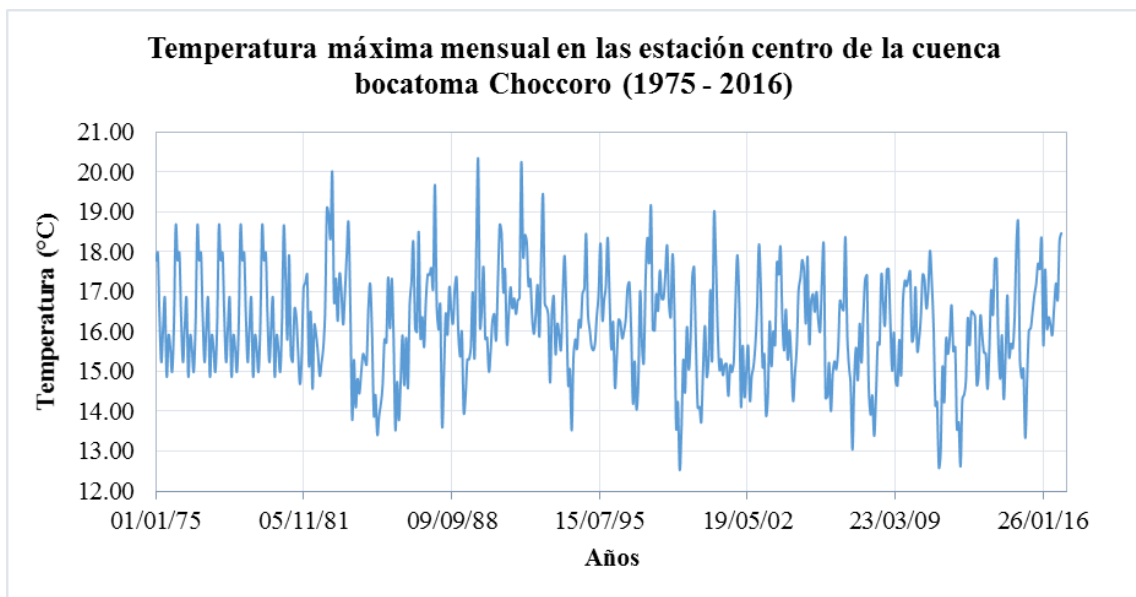


Figura 3.2.10. *T° máx. microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura máxima mensual (°C) en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

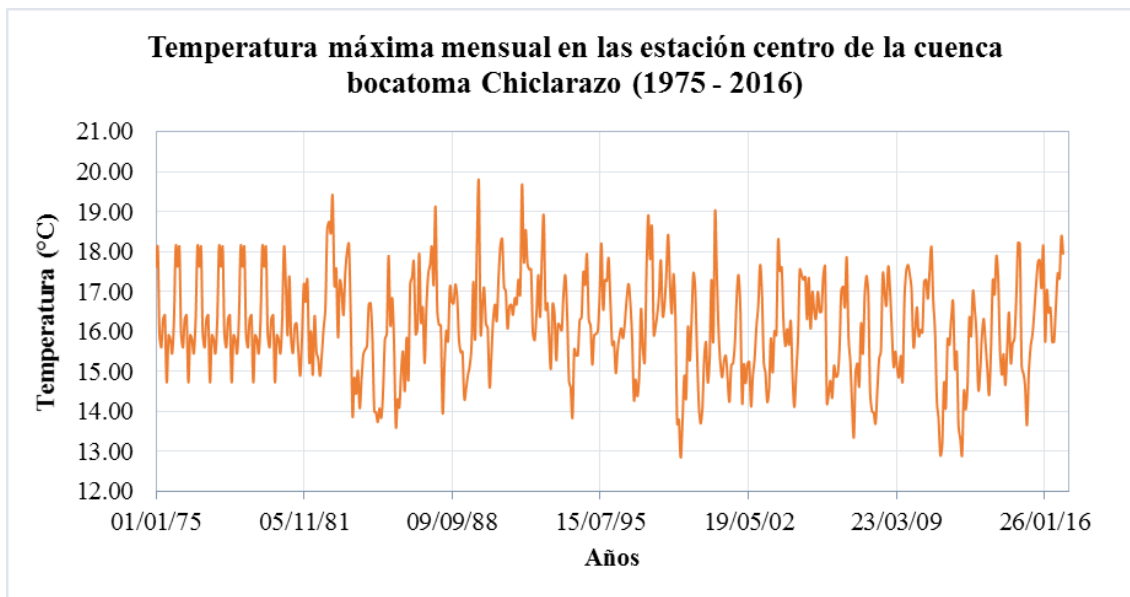


Figura 3.2.11. *T máx. subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura máxima mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

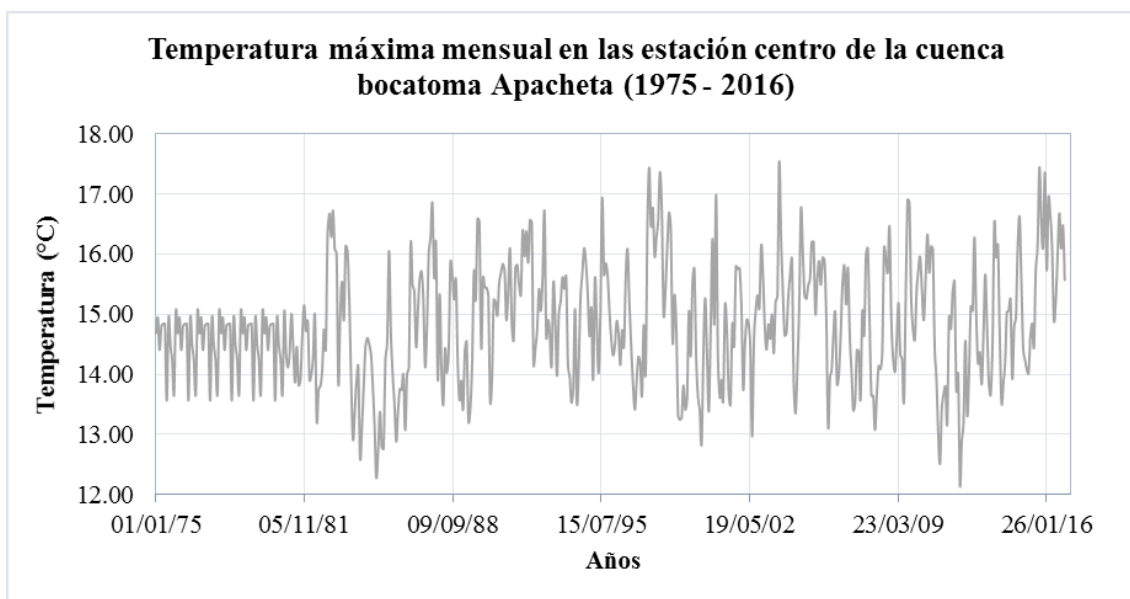


Figura 3.2.12. *T máx. subcuenca de bocat. Apacheta (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura máxima mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Apacheta, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.11. *Tmax mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Microcuenca Bocat. Choccoro	16.60	15.64	16.12	14.68	15.44	16.02	15.44	16.14	16.10	16.20	17.12	18.16
Subcuenca Bocat. Chichlarazo	16.45	15.74	15.63	15.03	15.66	15.61	15.28	16.14	16.33	16.70	17.20	17.65
Subcuenca Bocat. Apacheta	14.57	14.43	14.34	14.79	14.92	14.18	14.02	15.03	15.27	15.66	15.40	15.23

Promedio de las temperaturas máximas mensuales (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

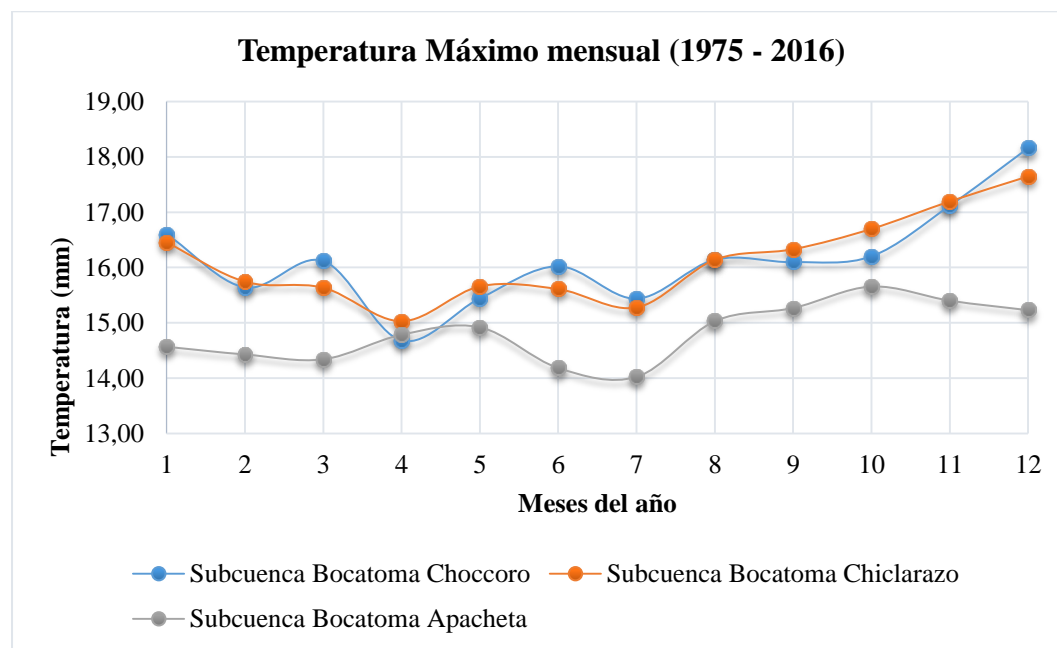


Figura 3.2.13. *T máx. mens. en cuencas hidrográficas en estudio (1975 – 2016)*

Promedio de las temperaturas máximas mensuales (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

Temperatura media

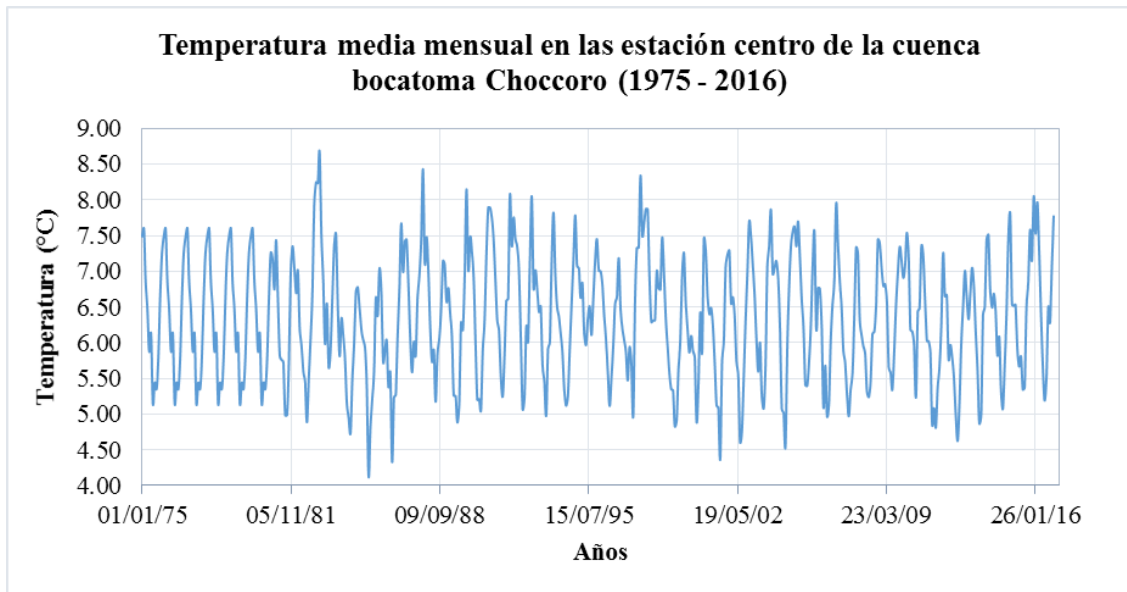


Figura 3.2.14. *T med. microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura media mensual (°C) en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

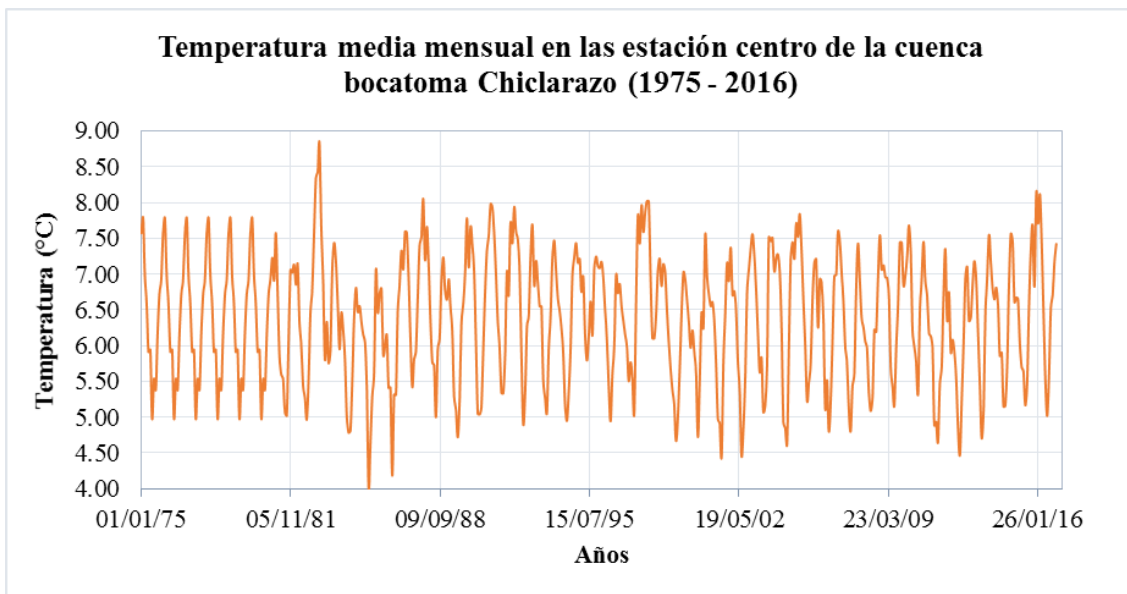


Figura 3.2.15. *T med. subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura media mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

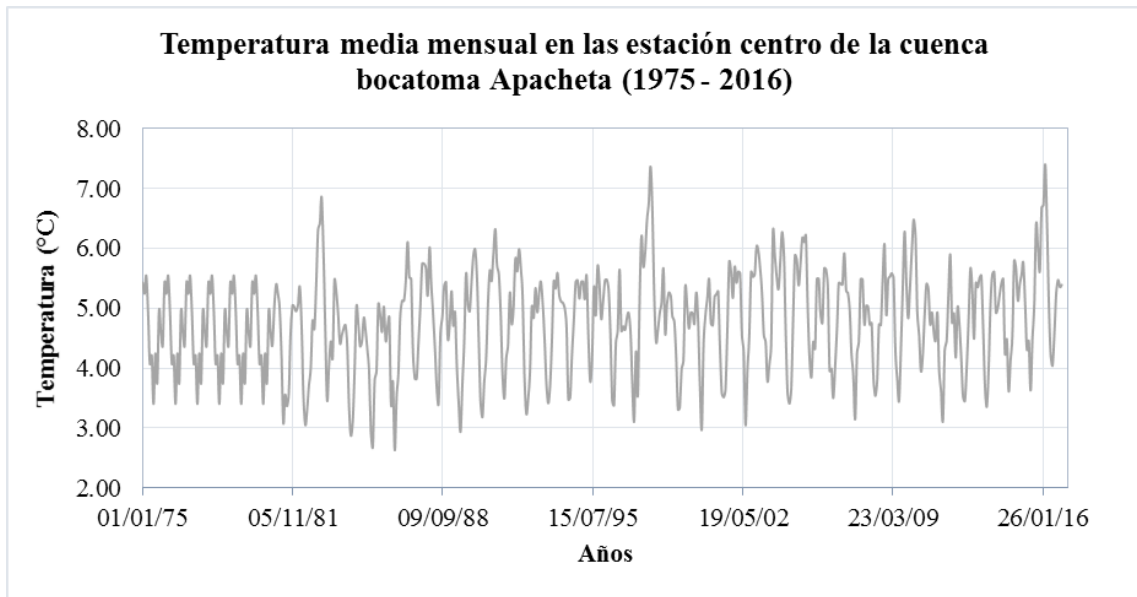


Figura 3.2.16. *T med. subcuenca de bocat. Apacheta (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura media mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Apacheta, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.12. *Tmed mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Microcuenca Bocat. Choccoro	7.05	6.92	6.82	6.46	5.89	5.67	5.25	5.31	5.89	6.33	7.04	7.49
Subcuenca Bocat. Chicllarazo	7.13	7.08	6.94	6.58	5.92	5.50	5.08	5.40	5.93	6.75	7.13	7.15
Subcuenca Bocat. Apacheta	5.33	5.43	5.50	5.25	4.36	3.80	3.47	4.12	4.45	5.41	5.24	4.97

Promedio de las temperaturas medias mensuales (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

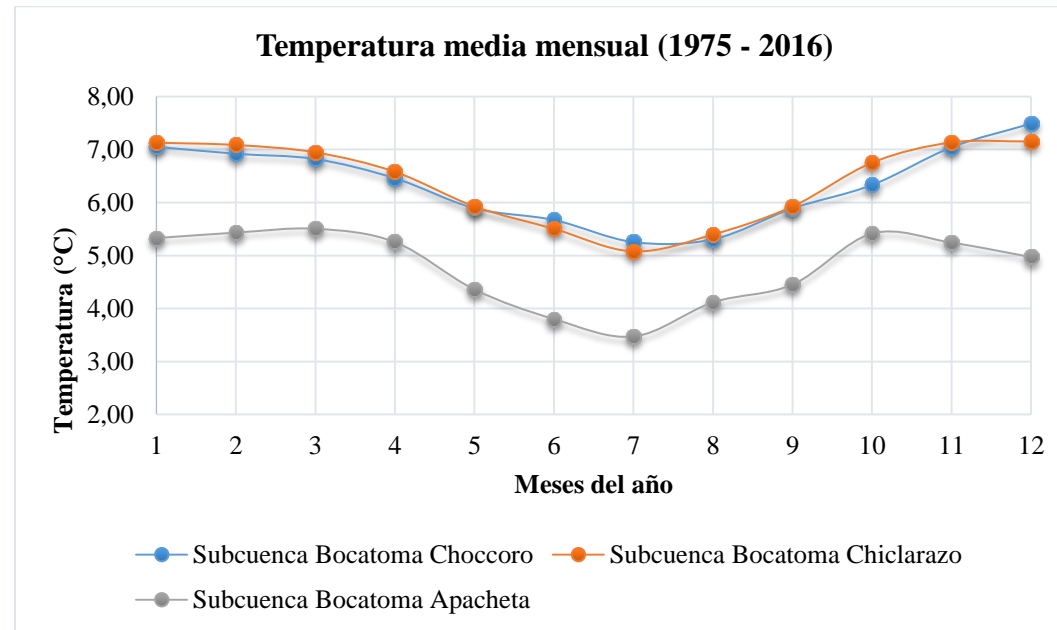


Figura 3.2.17. *T med. mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Promedio de las temperaturas medias mensuales (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

Temperatura mínima

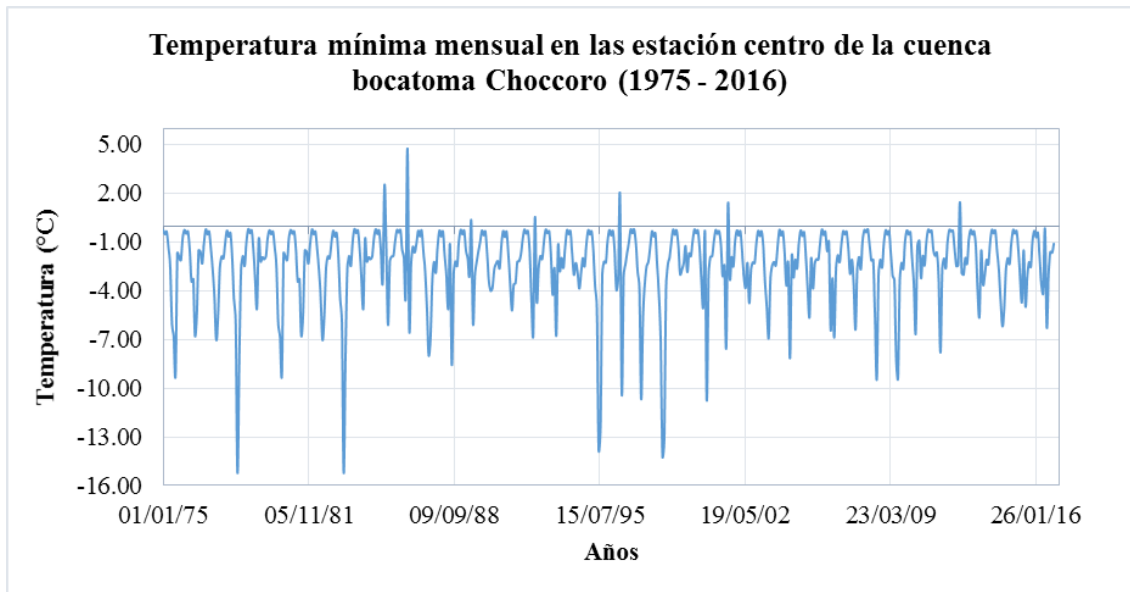


Figura 3.2.18. $T_{mín.}$ microcuenca de bocat. Choccoro (1975 – 2016)

La figura muestra los datos de la temperatura mínima mensual (°C) en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

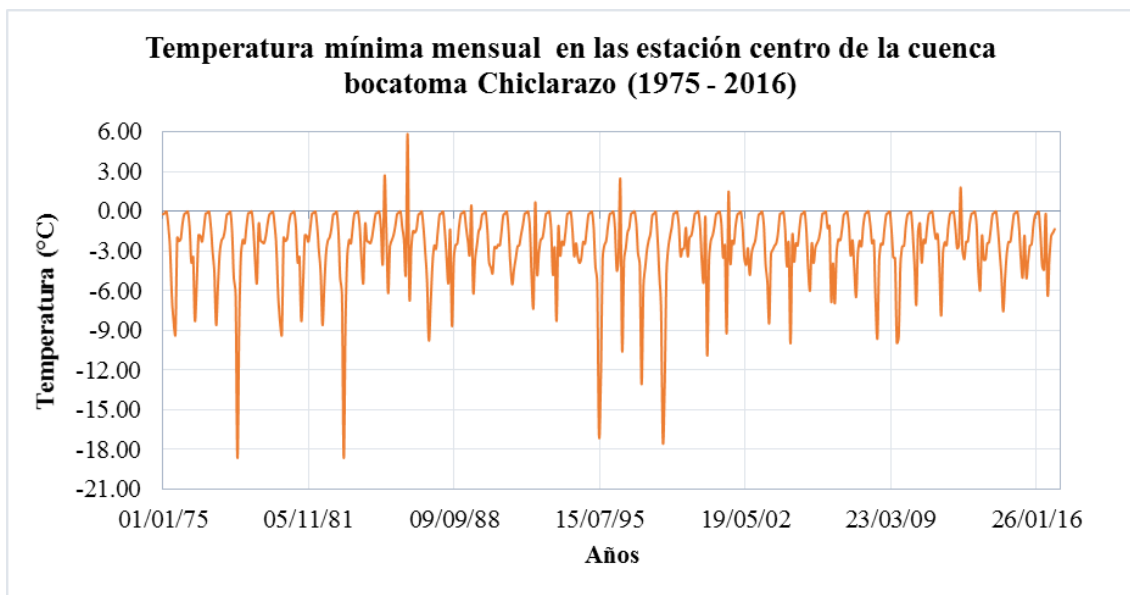


Figura 3.2.19. $T_{mín.}$ subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975 – 2016)

La figura muestra los datos de la temperatura mínima mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

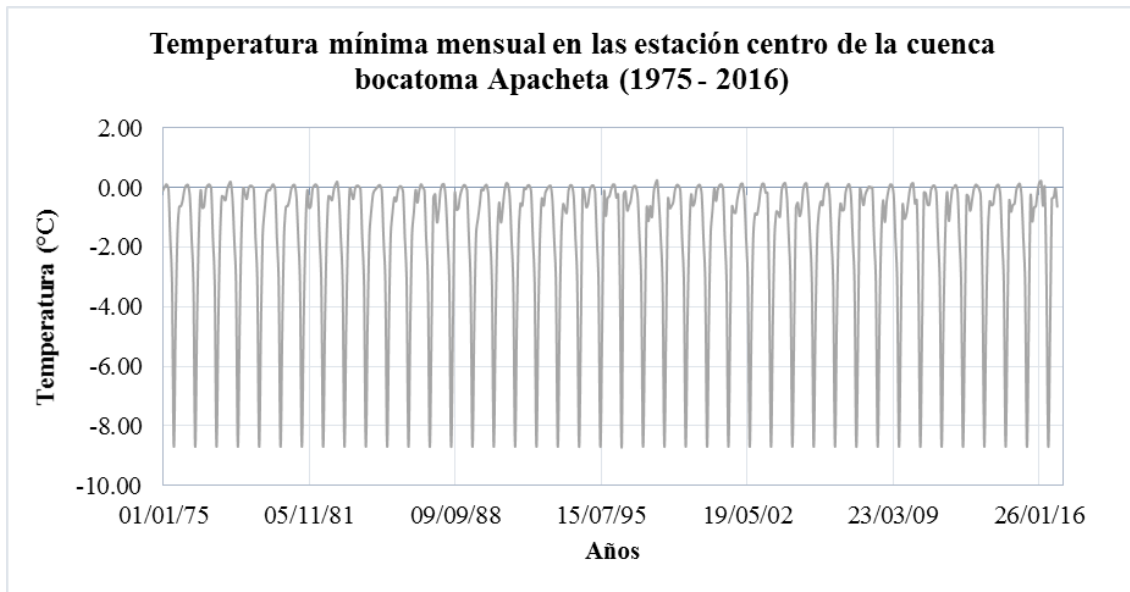


Figura 3.2.20. *T mín. subcuenca de bocatoma Apacheta (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de la temperatura mínima mensual (°C) en la subcuenca de la bocatoma Apacheta, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.13. *T_{min} mensual en las cuencas en estudio (1975 – 2016)*

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Microcuenca Bocat. Choccoro	-0.26	-0.53	-0.33	-1.59	-3.19	-4.19	-4.63	-5.73	-2.69	-2.00	-2.23	-1.02
Subcuenca Bocat. Chiclarazo	-0.23	-0.15	-0.03	-1.34	-3.62	-4.45	-5.67	-5.81	-3.24	-2.35	-2.20	-1.24
Subcuenca Bocat. Apacheta	-0.07	0.09	0.10	-0.24	-1.52	-3.26	-8.69	-4.48	-1.11	-0.56	-0.60	-0.49

Promedio de las temperaturas mínima mensual (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

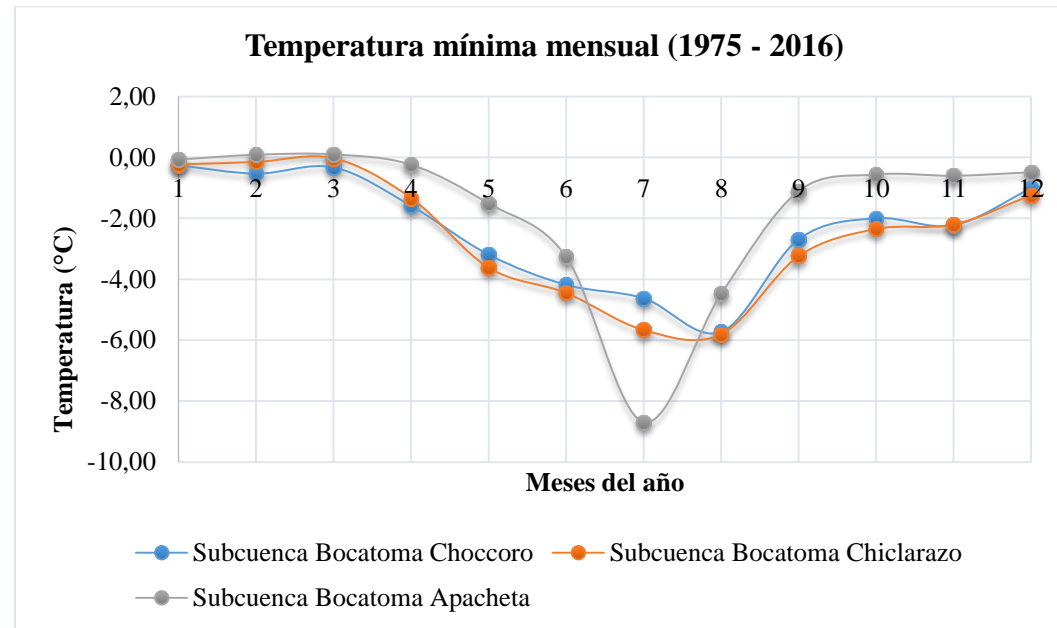


Figura 3.2.21. *T_{min}. cuencas hidrográficas en estudio (1975 – 2016)*

Promedio de las temperaturas mínima mensual (°C) de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

3.2.3 Comportamiento de la evapotranspiración potencial

Los métodos basados en la temperatura del aire al ser empíricos, requieren cuidadosas calibraciones locales para alcanzar resultados satisfactorios. Una excepción posible es el método de Hargreaves (1985) que ha producido resultados razonables de evapotranspiración potencial con cierta validez global (Allen et al., 2006, p. 18).

El método de Hargreaves de la diferencia de temperatura se recomienda para localidades donde no es apropiado importar datos de radiación de una estación cercana, ya sea porque no ocurren condiciones de clima homogéneas, o porque no se cuenta con datos para la región (Allen et al., 2006, p. 62).

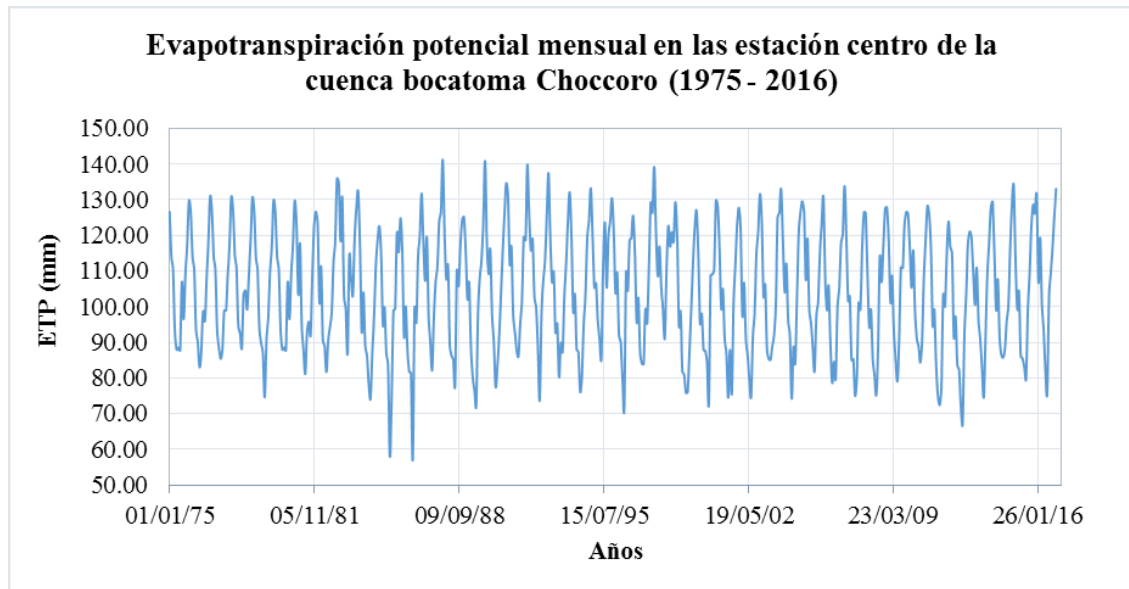


Figura 3.2.22. *ETP microcuenca de la bocat. Choccoro (1975 – 2016)*

La figura muestra los datos de evapotranspiración potencial mensual (mm) en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

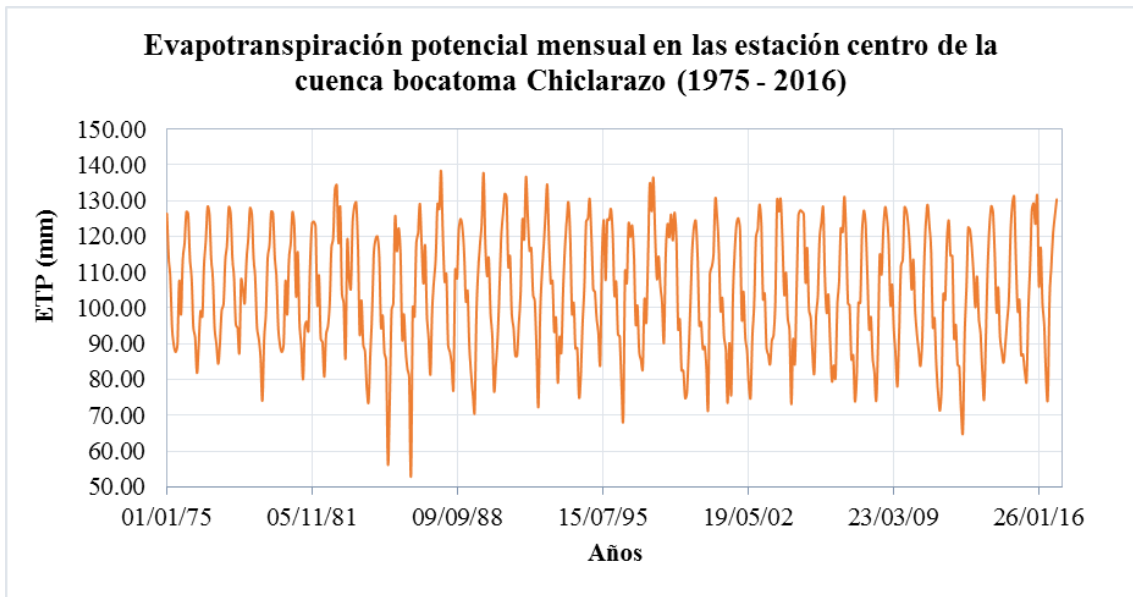


Figura 3.2.23. ETP subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975 – 2016)

La figura muestra los datos de evapotranspiración potencial mensual (mm) en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

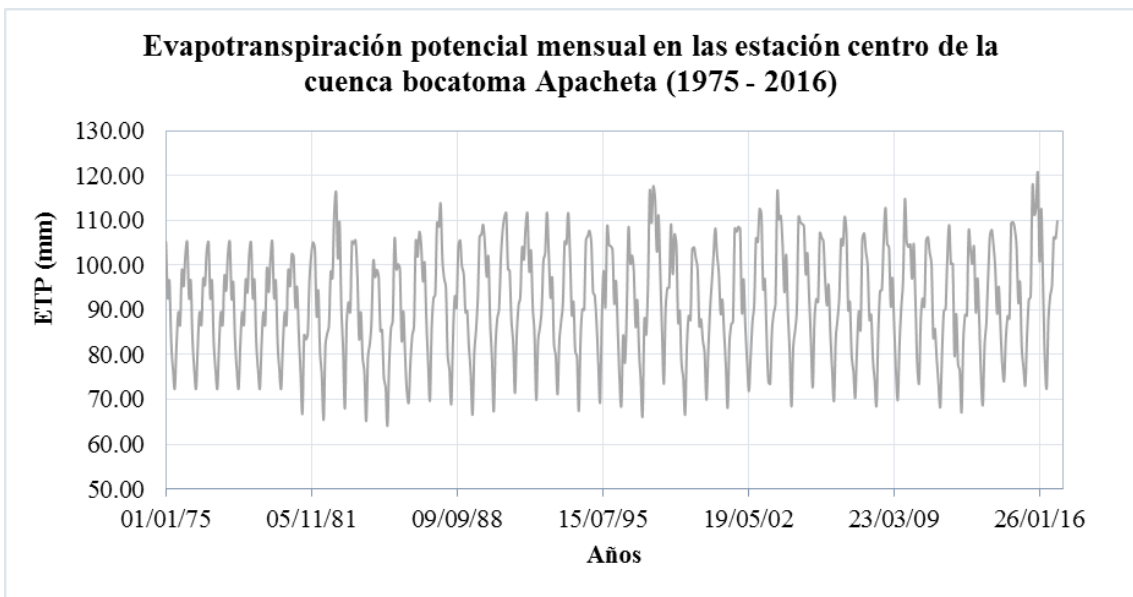


Figura 3.2.24. ETP subcuenca de bocatoma Apacheta (1975 – 2016)

La figura muestra los datos de evapotranspiración potencial mensual (mm) en la subcuenca de la bocatoma Apacheta, durante el periodo de los años 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.2.14. ETP mensual en cuencas en estudio (1975 – 2016)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Mc. Bocat. Choccoro	120	103.63	109.06	92.35	88.09	81.55	84.29	99.05	103.07	115.89	123.09	130.25	1250.57
Sc Bocat. Chicllarazo	120	103.42	106.96	93.05	89.68	80.61	85.22	99.56	105.34	120.63	123.74	127.59	1255.79
Sc Bocat. Apacheta	104	91.72	96.09	84.39	77.40	69.85	83.27	88.93	90.40	105.23	103.82	106.15	1101.50

Promedio de datos de evapotranspiración potencial mensual (mm) en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia

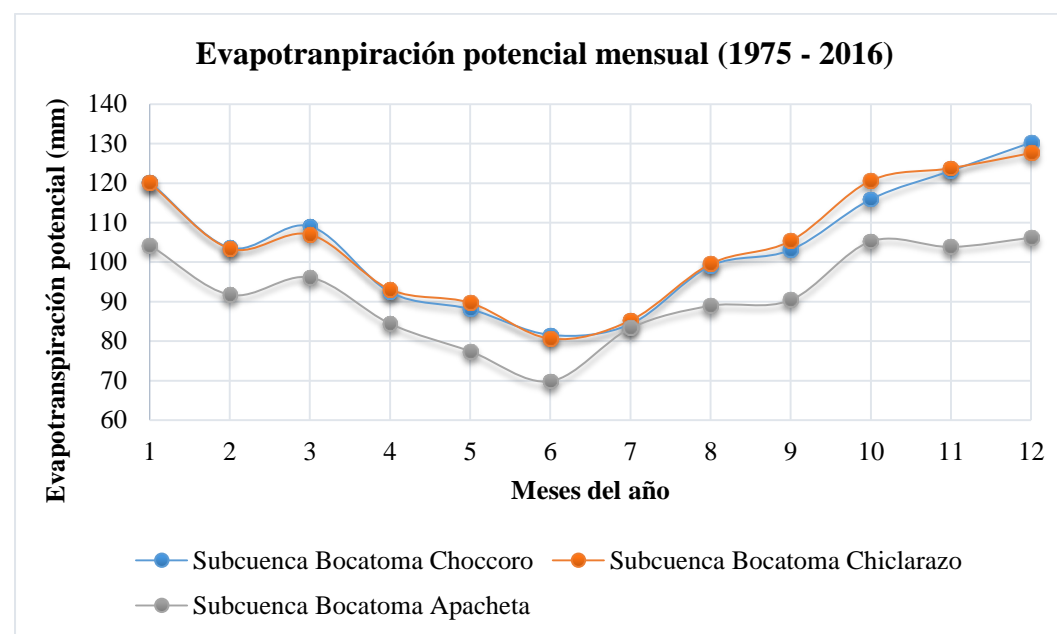


Figura 3.2.25. ETP en cuencas en estudio (1975 – 2016)

Promedio de datos de evapotranspiración potencial mensual (mm) en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, durante el período de 1975 – 2016. Fuente: elaboración propia.

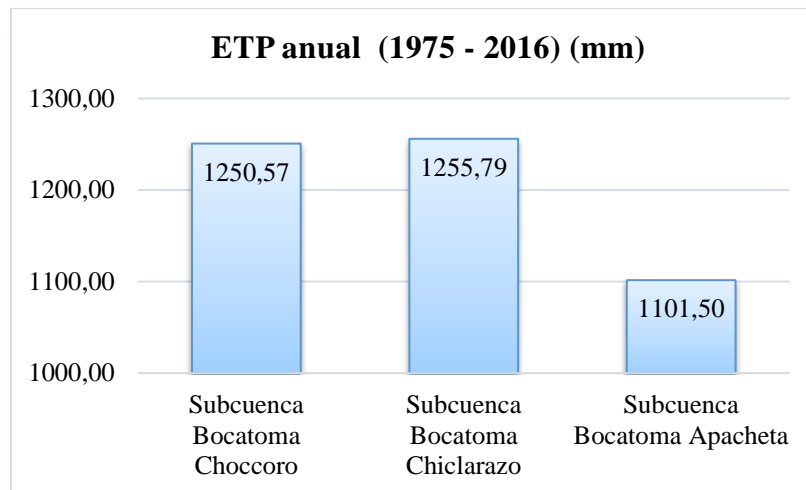


Figura 3.2.26. ETP en cuencas en estudio (1975 – 2016)

Promedio de la evapotranspiración potencial mensual (mm) en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de las principales bocatomas de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia

3.3 Hidrometría

Los datos de aforo de caudales en el lugar de las bocatomas de la Irrigación Cachi para calibrar los modelos hidrológicos son los siguientes:

- Bocatoma Choccoro datos de 1988 al 2003.
- Bocatoma Chicllarazo datos de 1988 al 2003.
- Bocatoma Apacheta datos de 1994 al 2003.

Tabla 3.3.1. *Qprom en estaciones hidrométricas en zona en estudio*

Estación hidrométrica	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Bocatoma Choccoro	0.98	1.64	1.37	0.65	0.21	0.12	0.11	0.10	0.11	0.13	0.24	0.53	0.52
Bocatoma Chiclarazo	3.63	5.92	5.35	2.73	0.83	0.48	0.25	0.18	0.22	0.43	0.67	1.27	1.83
Bocatoma Apacheta	4.76	6.62	6.09	3.19	1.14	0.69	0.48	0.47	0.51	0.64	1.14	1.86	2.30

Caudales promedio mensuales (m^3/s) en las estaciones hidrométricas que se ubican en principales bocatomas de la Irrigación cachi, donde en las estaciones de la bocatoma Choccoro es de 1988 – 2003, bocatoma Chiclarazo es de 1988 – 2003, y en la bocatoma Apacheta es de 1994 – 2003. Fuente: elaboración propia.

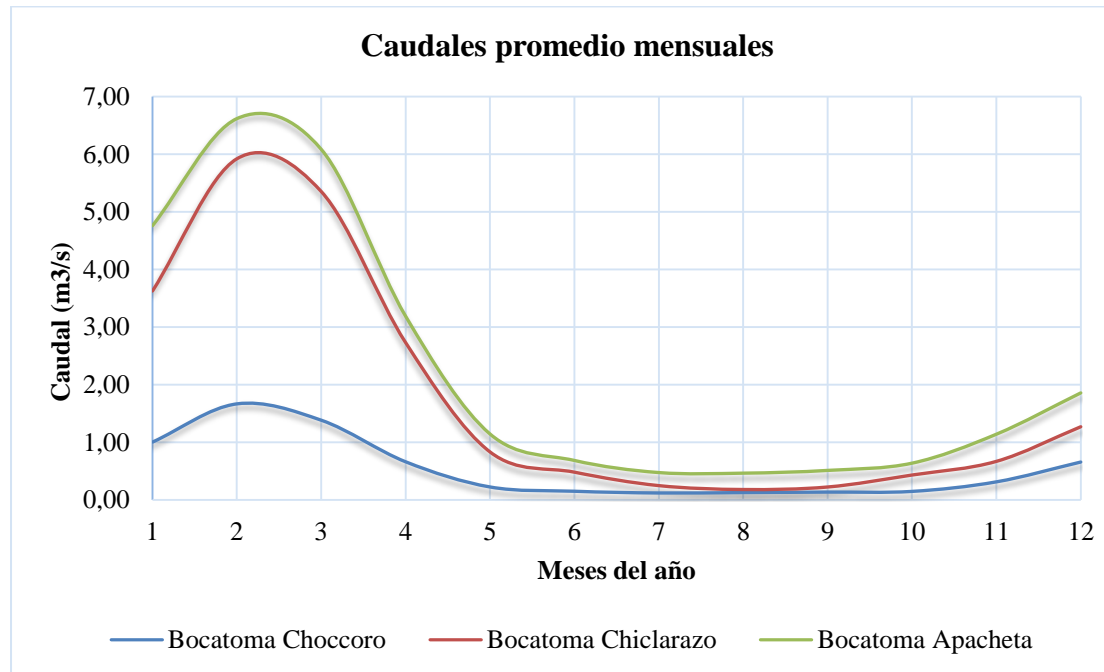


Figura 3.3.1. *Qprom en estaciones hidrométricas en zonas en estudio*

Caudales promedio mensuales (m^3/s) en las estaciones hidrométricas que se ubican en principales bocatomas de la Irrigación cachi, donde en las estaciones de la bocatoma Choccoro es de 1988 – 2003, bocatoma Chiclarazo es de 1988 – 2003, y en la bocatoma Apacheta es de 1994 – 2003. Fuente: elaboración propia.

3.4 Simulación de caudales medios mensuales

Los resultados de la calibración de los parámetros y las comparaciones de la simulación de los caudales medios con el modelo Témez, abcd, GR2M, Lutz Scholz y los caudales observados en las estaciones hidrométricas que se ubican en la bocatoma Choccoro, Chicllarazo, y Apacheta se muestran en las tablas siguientes:

Tabla 3.4.1. *Parámetros de modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz*

Modelo	Parámetros	Cuenca hidrográfica de bocatoma			Unidades
		Choccoro	Chicllarazo	Apacheta	
Témez	Hmáx	50.00	50.00	50.00	mm
	α	0.90	0.90	0.90	1/tiempo
	Cpo	0.00	0.00	0.00	
	Imax	150.00	150.00	150.00	mm
abcd	a	1.00	1.00	1.00	
	b	30.00	30.00	30.00	
	c	0.70	0.70	0.70	
	d	1.00	1.00	1.00	
GR2M	X1	4.85	4.85	4.85	mm
	X2	1.37	1.37	1.37	mm
Lutz Scholz	C	0.40	0.40	0.40	

Parámetros del modelo Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz para las microcuencas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3.4.2. *Valores iniciales de modelos Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz*

Modelo	Parámetros	Cuenca hidrográfica de bocatoma			Unidades
		Choccoro	Chicllarazo	Apacheta	
Témez	Ho	0.00	0.00	0.00	mm
	Vo	0.00	0.00	0.00	mm
abcd	Swo	0.00	0.00	0.00	mm
	Sgo	0.00	0.00	0.00	mm
GR2M	So	0.00	0.00	0.00	mm
	Ro	0.00	0.00	0.00	mm
Lutz Scholz	Acuíferos	0.50	5.03	3.07	Km2
	Lagunas	2.04	6.50	5.84	Km2
	Nevados	0.00	1.48	4.69	Km2

Valores iniciales del modelo Témez, abcd, GR2M y Lutz Scholz para las microcuencas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

3.4.1 Microcuenca de la bocatoma Choccoro

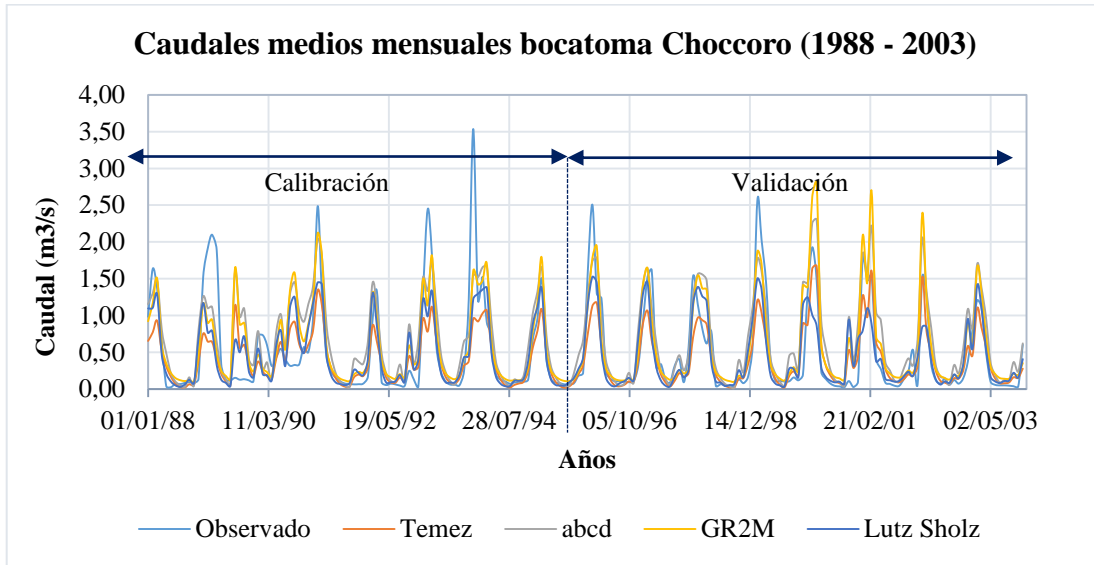


Figura 3.4.1. Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Choccoro (1988 – 2003)

Caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con Promedio de caudales mensuales observados y simulados con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Choccoro (1988 – 2003). Fuente: elaboración propia.

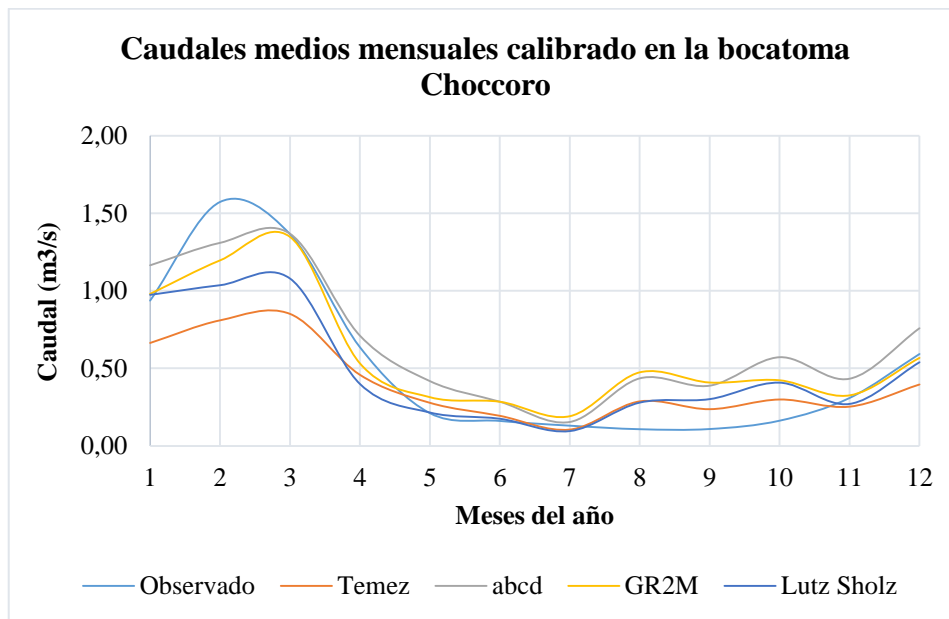


Figura 3.4.2. Qprom calibrados en microcuenca de bocat. Choccoro (1988 – 1995)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Choccoro (1988 – 1995). Fuente: elaboración propia

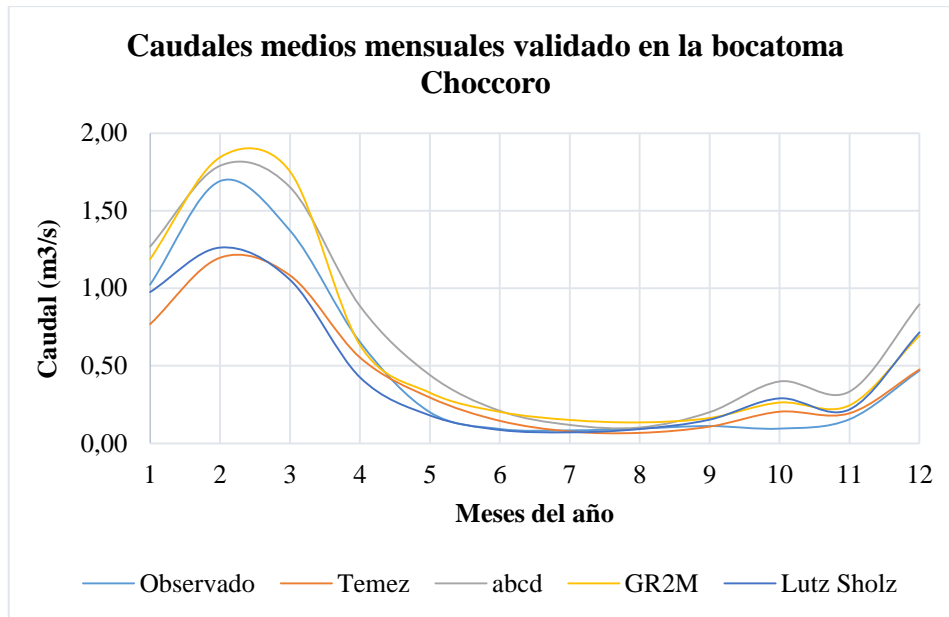


Figura 3.4.3. Qprom validados en microcuenca de la bocat. Choccoro (1996 – 2003)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Choccoro (1996 – 2003). Fuente: elaboración propia

3.4.2 Subcuenca de la bocatoma Chicllarazo

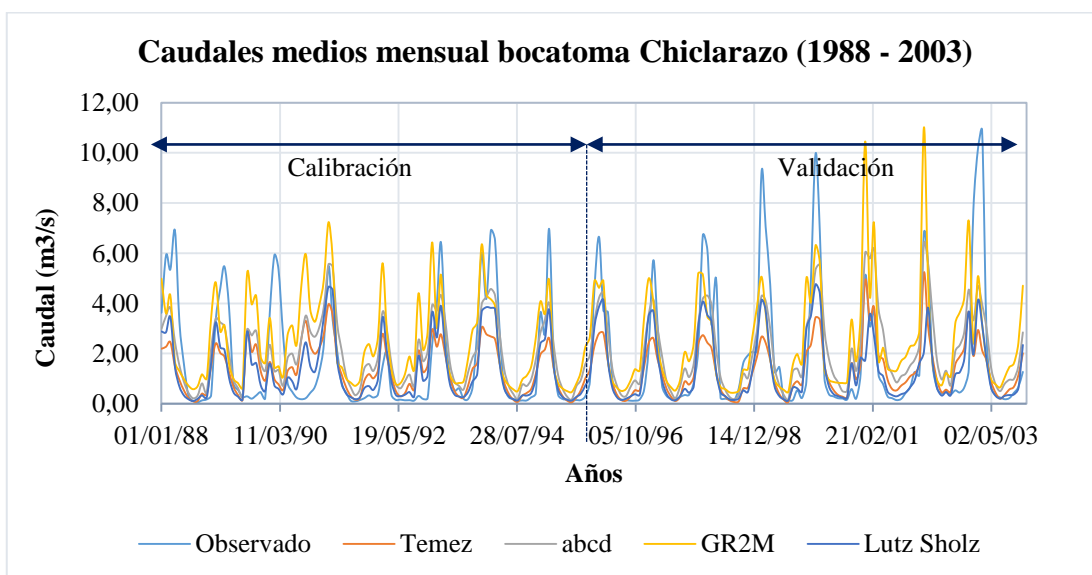


Figura 3.4.4. Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Chicllarazo (1988 – 2003)

Caudales mensuales observados y simulados con Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo (1988 – 2003). Fuente: elaboración propia.

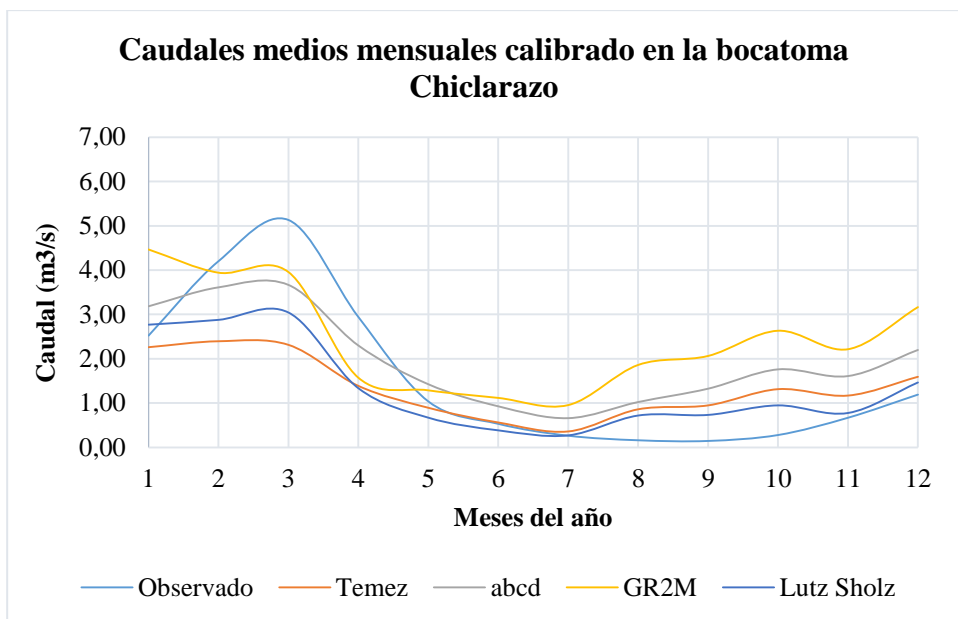


Figura 3.4.5. Qprom calibrados en microcuenca de bocat. Chicllarazo (1988 – 1995)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo (1988 – 1995). Fuente: elaboración propia

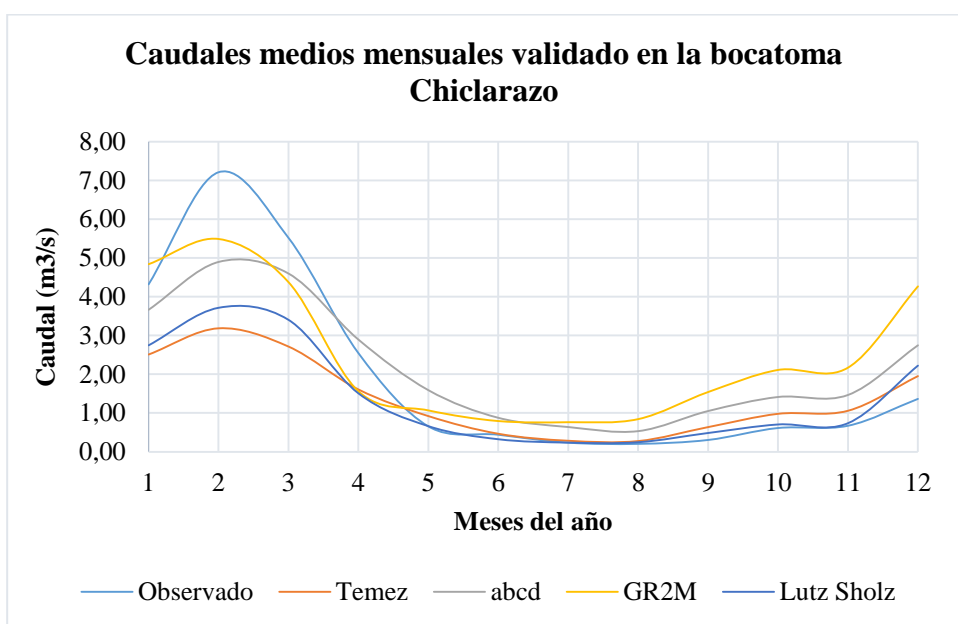


Figura 3.4.6. Qprom validados en microcuenca de bocat. Chicllarazo (1996 – 2003)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo (1996 – 2003). Fuente: elaboración propia

3.4.3 Subcuenca de la bocatoma Apacheta

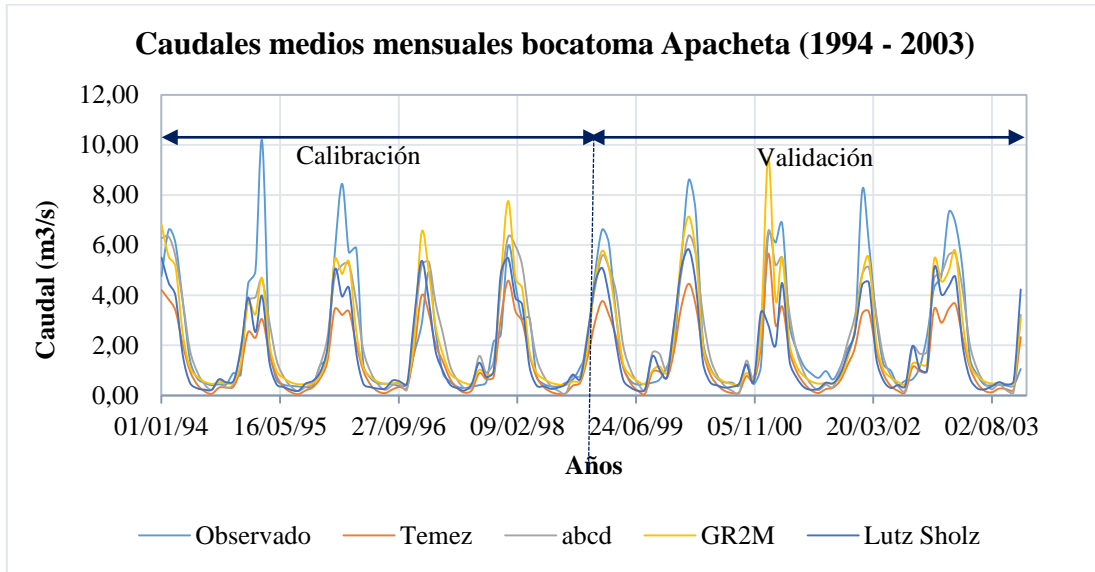


Figura 3.4.7. Caudales mensuales obs. y sim. con modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en microcuenca de bocatoma Apacheta (1994 – 2003)

Caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con Promedio de caudales mensuales observados y simulados con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Apacheta (1994 – 2003). Fuente: elaboración propia.

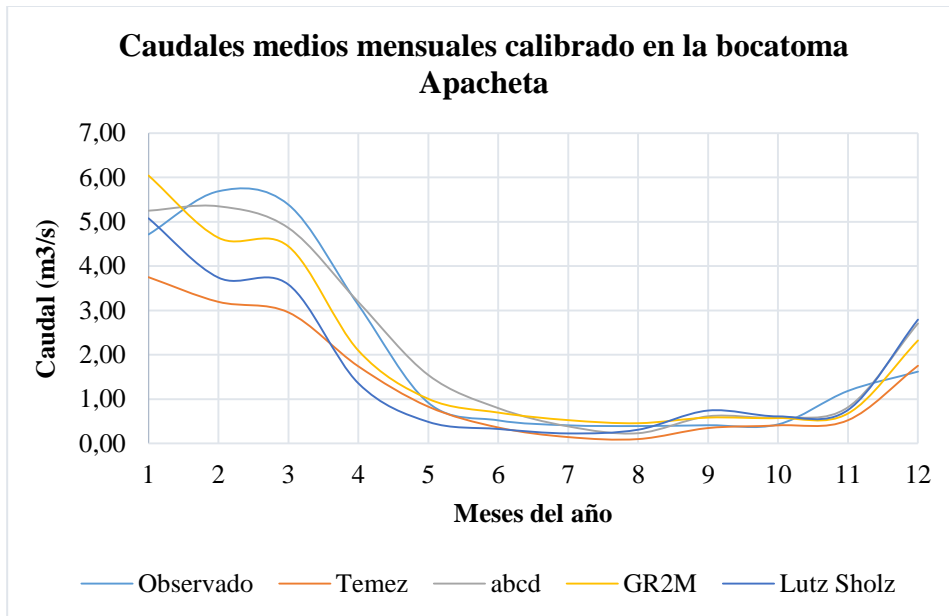


Figura 3.4.8. Qprom calibrados en microcuenca de la bocat. Apacheta (1994 – 1998)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Apacheta (1994 – 1998). Fuente: elaboración propia

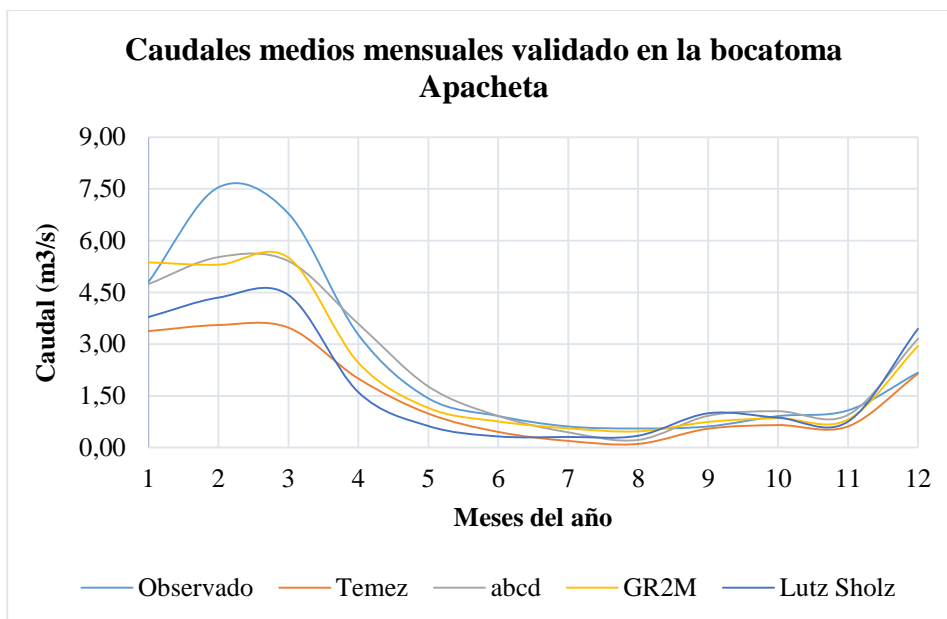


Figura 3.4.9. Qprom validados en microcuenca de bocatoma Apacheta (1999 – 2003)

Promedio de caudales mensuales observados y simulados (m^3/s) con los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Apacheta (1999 – 2003). Fuente: elaboración propia

3.5 Verificación de los modelos de simulación de caudales medios

Para saber qué modelo de simulación de caudales medios mensuales es eficiente para su aplicación en cuencas no aforadas, se realizó la prueba de bondad de ajuste de los modelos Temez, abcd, GR2M y Lutz Scholz de la calibración de los caudales simulados y observados en las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta.

Se realizó la comprobación de la eficiencia de los modelos de simulación de caudales medios mensuales en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación Cachi, mediante la prueba de bondad de ajuste NS, NSL, r, R y BIAS de los cuales tuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.5.1. Eficiencia de calibración y validación de modelos de Q mens.

Estación de aforo		Estadísticas	Témez	abcd	GR2M	Lutz Scholz
Microcuenca de la bocatoma Choccoro	Calibración	NS	0.73	1.00	1.00	1.00
		NSL	1.00	1.00	1.00	1.00
		r	0.73	0.73	0.73	0.73
		R	0.53	0.53	0.54	0.54
		BIAS (%)	-23.34	26.91	11.81	-8.36
	Validación	NS	0.81	1.00	1.00	1.00
		NSL	1.00	1.00	1.00	1.00
		r	0.86	0.86	0.86	0.82
		R	0.74	0.73	0.73	0.67
		BIAS (%)	-14.87	36.66	25.18	-9.00
Microcuenca de la bocatoma Chicllarazo	Calibración	NS	0.92	1.00	1.00	1.00
		NSL	1.00	1.00	1.00	1.00
		r	0.58	0.68	0.49	0.71
		R	0.34	0.46	0.24	0.50
		BIAS (%)	-19.56	18.70	46.49	-19.87
	Validación	NS	0.91	1.00	1.00	0.92
		NSL	1.00	1.00	1.00	1.00
		r	0.72	0.77	0.62	0.81
		R	0.52	0.60	0.38	0.66
		BIAS (%)	-30.89	9.84	24.24	-29.24
Microcuenca de la bocatoma Apacheta	Calibración	NS	0.86	1.00	0.98	0.92
		NSL	0.66	1.00	1.00	0.87
		r	0.83	0.84	0.82	0.78
		R	0.69	0.71	0.67	0.62
		BIAS (%)	-36.16	4.35	-4.64	-20.47
	Validación	NS	0.84	1.00	1.00	1.00
		NSL	0.51	1.00	1.00	0.73
		r	0.93	0.94	0.92	0.86
		R	0.86	0.88	0.85	0.74
		BIAS (%)	-39.45	-4.06	-9.93	-27.00

Comprobación de la eficiencia de los modelos hidrológicos en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

Tabla 3.5.2. Promedio eficiencia de calibración y validación modelos Q mens.

Estación de aforo		Estadísticas	Témez	abcd	GR2M	Lutz Scholz
Promedio de las cuencas hidrográficas en estudio	Calibración	NS	0.84	1.00	0.99	0.97
		NSL	0.89	1.00	1.00	0.96
		r	0.71	0.75	0.68	0.74
		R	0.52	0.57	0.48	0.55
		BIAS	-26.35	16.66	17.89	-16.23
	Validación	NS	0.85	1.00	1.00	1.00
		NSL	0.84	1.00	1.00	1.00
		r	0.84	0.86	0.80	0.83
		R	0.70	0.74	0.66	0.69
		BIAS	-28.41	14.15	13.16	-21.75

Comprobación de promedio de eficiencia de los modelos hidrológicos en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior la verificación de la bondad de ajuste de los modelos de simulación de caudales medios mensuales, donde se observó los siguientes:

- Según el criterio de NS el modelo Témez es excelente y bueno, mientras que los modelos abcd, GR2M y Lutz Scholz se encuentran en los rangos de excelente y muy bueno.
- Según el criterio de NSL el modelo Témez es excelente y bueno, mientras que los modelos abcd, GR2M y Lutz Scholz se encuentran en los rangos de excelente y muy bueno.
- Según el análisis del coeficiente de correlación de Pearson y Spearman los modelos Témez, y Lutz Scholz se considera regular y fuerte, el modelo abcd se considera buena y perfecta, mientras el modelo GR2M se considera entre regular y moderada.
- Según el análisis del coeficiente de determinación los modelos Témez, GR2M y Lutz Scholz se consideran insatisfactorios, mientras que el modelo abcd se considera satisfactorio.
- Según el análisis del BIAS los modelos Témez y Lutz Scholz sobreestiman el volumen de descarga total simulada, y los modelos abcd y GR2M subestiman el volumen de descarga total simulada, de los cuales las que tienen eficiencia óptima son los modelos abcd y GR2M.

Del análisis de la prueba de bondad de ajuste de la simulación de caudales medios mensuales en las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta de la Irrigación Cachi, se tuvo como resultado que los modelo Témez y Lutz

Scholz presentan resultados buenos pero se requiere un análisis profundizado para la aplicación en cuencas similares donde no exista aforos, mientras que los modelos abcd y GR2M presentó resultados muy eficientes y se puede utilizar en cuencas similares donde no exista aforos.

3.6 Simulación de caudales máximos

Se realizó la generación de los caudales de avenida en los puntos de interés de la microcuenca de bocatoma Choccoro, subcuenca de la bocatoma Chicllarazo y la subcuenca de la bocatoma Apacheta, para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. La estimación de las descargas máximas se ha realizado a partir de la información de precipitación máxima de 24 horas mediante un modelo precipitación – escorrentía, utilizando el Software HEC-HMS 4.0. El modelo no ha sido calibrado porque no existen los registros históricos de caudales máximos diarios anuales de la estación en las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta.

3.6.1 Precipitación máxima en las zonas de estudio

Los resultados de los histogramas de la precipitación máxima en 24 horas para las cuencas hidrográficas de bocatomas de la Irrigación Cachi se muestran en la siguiente figura:

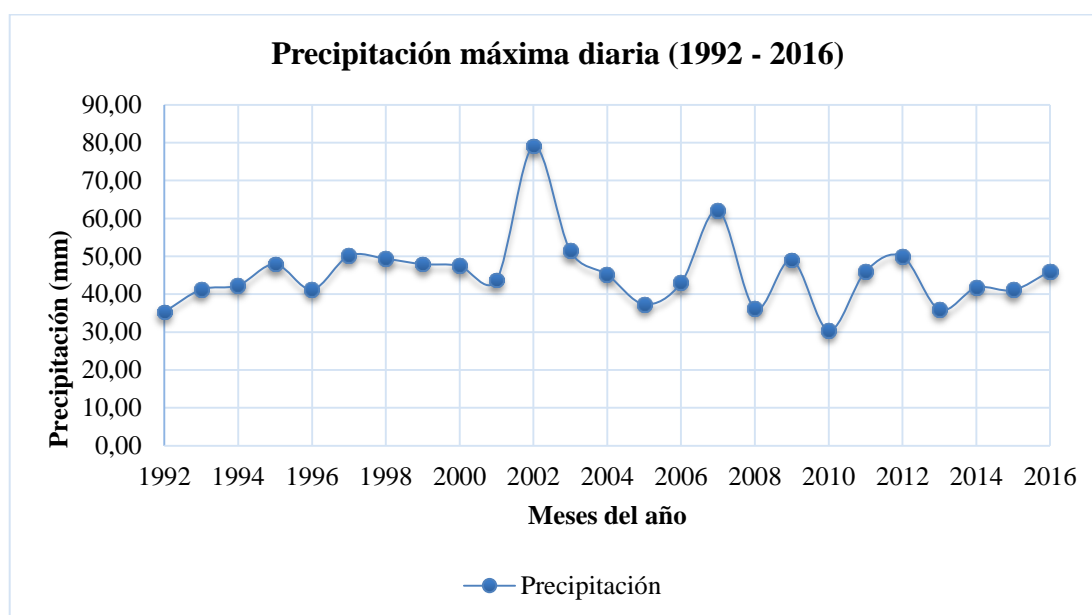


Figura 3.6.1. Histograma de PPmax 24 horas (1992 – 2016) en zonas en estudio

Histograma de Precipitación máxima (mm) en 24 horas anual durante 1992 – 2016, en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

3.6.2 Análisis de precipitación máxima en 24 horas

Las precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca alta de la Irrigación Cachi fueron analizadas estadísticamente para diferentes periodos de retorno: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años. Para ello, se utilizaron las siguientes distribuciones probabilísticas: Normal, Log Normal, Gamma y Gumbel, las cuales fueron evaluadas a través de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov con la finalidad de determinar la distribución que mejor se ajuste a la serie de datos analizada.

Los resultados del test de Kolmogorov – Smirnov para los datos de precipitación máxima en 24 horas en la cuenca Alta de la Irrigación Cachi, considerados en este estudio se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.6.1. *Test de Kolmogorov – Smirnov - datos de PPmax 24 horas*

Función	D teórico	D tabular	Comentario	Mejor Ajuste
Normal	0.165	0.264	Se acepta	3
Log - Normal	0.124		Se acepta	1
Gamma	0.133		Se acepta	2
Gumbel	0.124		Se acepta	1

Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov para los datos de precipitación máxima en 24 horas en la cuenca Alta de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia

Según diferentes investigaciones validaron a la distribución de probabilidades Gumbel, realizaron la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov – Smirnov donde Soto, 2015, p. 166 obtuvo el resultado de D_{\max} 0.079 y Caballero, 2015, p. 204 llegó al resultado de D_{\max} 0.053, lo cual era los valores óptimos del análisis de varias funciones distribución. En el presente estudio, los datos pertenecientes a la cuenca alta de la Irrigación Cachi fueron ajustados a la función Normal. Los resultados parciales pueden ser apreciados en el Anexo.

Es así que considerando la función de distribución de probabilidad Gumbel y utilizando la función de densidad mostrada en la Tabla anterior, se procede a calcular las precipitaciones de tormenta para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, los cuales se muestran en la Tabla siguiente:

Tabla 3.6.2. *Distribución de probabilidades Normal*

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Precip.</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>
<i>Años</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>
2	44.78	49.98
5	52.56	79.99
10	57.16	90.01
25	62.50	96.01
50	66.21	98.00
100	69.73	99.00
200	73.12	99.50
500	77.45	99.80
1000	80.64	99.90

Distribución de probabilidades de precipitación mediante el método Normal. Fuente: elaboración propia.

Los valores de tormentas son corregidos multiplicando por 1.13 en diferentes estudios hidrológicos, lo cual también fue verificado por Caballero, 2015, p. 205, y Anaya, 2017, p. 44 realizando la corrección se tiene lo siguiente:

Tabla 3.6.3. *PPmax corregida en las zonas en estudio*

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección</i>
<i>Años</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	44.78	49.98	50.60
5	52.56	79.99	59.39
10	57.16	90.01	64.59
25	62.50	96.01	70.63
50	66.21	98.00	74.82
100	69.73	99.00	78.79
200	73.12	99.50	82.63
500	77.45	99.80	87.52
1000	80.64	99.90	91.12

Precipitación máxima corregida para diferentes periodos de retorno, en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

3.6.3 Análisis de los caudales máximos instantáneos

Los resultados del test de Kolmogorov – Smirnov para los datos de caudales considerados en este estudio pueden apreciarse en la Tabla siguiente:

Tabla 3.6.4. *Test de Kolmogorov –datos de Q_{inst} en estaciones en estudio*

Estación de aforo	Función	D teórico	D tabular	Comentario	Mejor Ajuste
Bocatoma	Normal	0.113	0.264	Se acepta	4
Choccoro	Log - Normal	0.109		Se acepta	3
	Gamma	0.086		Se acepta	2
	Gumbel	0.083		Se acepta	1
Bocatoma	Normal	0.131	0.264	Se acepta	3
Chicllarazo	Log - Normal	0.147		Se acepta	4
	Gamma	0.125		Se acepta	2
	Gumbel	0.109		Se acepta	1
Bocatoma	Normal	0.054	0.264	Se acepta	1
Apacheta	Log - Normal	0.070		Se acepta	3
	Gamma	0.063		Se acepta	2
	Gumbel	0.091		Se acepta	4

Resultados del test de Kolmogorov – Smirnov para los datos de caudales instantáneos en las estaciones hidrométricas en estudio en la cuenca Alta de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia

En el presente estudio, los datos pertenecientes a las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta, fueron ajustados a la función Gamma. Los resultados parciales pueden ser apreciados en el Anexo.

Es así que considerando la función de distribución de probabilidad Gamma y utilizando la función de densidad mostrada en la Tabla anterior, se procede a calcular los caudales máximos reales para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, los cuales se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 3.6.5 *$Q_{máx}$ reales en estaciones de bocatomas de Irrigación Cachi*

Frecuencia	Caudal máximo (m³/s)		
	años	Choccoro	Chicllarazo
2	10.84	34.38	39.79
5	14.24	44.94	49.05
10	16.48	51.92	55.18
25	19.32	60.75	62.93
50	21.43	67.30	68.68
100	23.52	73.80	74.39
200	25.60	80.28	80.07
500	28.35	88.82	87.57
1000	30.43	95.28	93.24

Caudales máximos reales para periodos de retorno de 10 a 1000 años en la estación hidrométricas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración Propia.

En el presente estudio se realizó el análisis de frecuencia de valores extremos, debido a que el objetivo principal es el de calcular las avenidas máximas.

3.6.4 Curvas intensidad –duración - frecuencia

Los resultados de los factores K, m y n fueron determinadas a partir de la intensidad máxima, mediante la regresión múltiple, de esto se obtuvo las curvas intensidad – duración – frecuencia

$$I = \frac{111.369 T^{0.088}}{t^{0.539}} \quad (3.6.1)$$

Con la ecuación exponencial que la fórmula para generar las curvas de intensidad – duración – frecuencia en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi, se tiene los siguientes resultados.

Tabla 3.6.6. *Intensidad –duración – frecuencia de PPmax en zonas en estudio*

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	13.00	14.10	14.99	16.25	17.27	18.36	19.51	21.15	22.49
120	8.95	9.70	10.31	11.18	11.88	12.63	13.43	14.56	15.47
180	7.19	7.79	8.28	8.98	9.55	10.15	10.79	11.70	12.43
240	6.16	6.67	7.09	7.69	8.17	8.69	9.24	10.01	10.65
300	5.46	5.92	6.29	6.82	7.25	7.70	8.19	8.88	9.44
360	4.95	5.36	5.70	6.18	6.57	6.98	7.42	8.05	8.55
420	4.55	4.93	5.25	5.69	6.04	6.43	6.83	7.40	7.87
480	4.24	4.59	4.88	5.29	5.62	5.98	6.36	6.89	7.32
540	3.97	4.31	4.58	4.97	5.28	5.61	5.96	6.47	6.87
600	3.75	4.07	4.33	4.69	4.99	5.30	5.63	6.11	6.49
660	3.57	3.87	4.11	4.46	4.74	5.04	5.35	5.80	6.17
720	3.40	3.69	3.92	4.25	4.52	4.80	5.11	5.54	5.89
780	3.26	3.53	3.76	4.07	4.33	4.60	4.89	5.30	5.64
840	3.13	3.40	3.61	3.91	4.16	4.42	4.70	5.09	5.42
900	3.02	3.27	3.48	3.77	4.01	4.26	4.53	4.91	5.22
960	2.91	3.16	3.36	3.64	3.87	4.11	4.37	4.74	5.04
1020	2.82	3.06	3.25	3.52	3.75	3.98	4.23	4.59	4.88
1080	2.73	2.96	3.15	3.42	3.63	3.86	4.10	4.45	4.73
1140	2.66	2.88	3.06	3.32	3.53	3.75	3.99	4.32	4.59
1200	2.58	2.80	2.98	3.23	3.43	3.65	3.88	4.20	4.47
1260	2.52	2.73	2.90	3.14	3.34	3.55	3.78	4.09	4.35
1320	2.45	2.66	2.83	3.07	3.26	3.46	3.68	3.99	4.24
1380	2.40	2.60	2.76	2.99	3.18	3.38	3.60	3.90	4.14
1440	2.34	2.54	2.70	2.93	3.11	3.31	3.51	3.81	4.05

Generación de intensidades a partir de las curvas IDF, para las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia

El cuadro anterior se obtuvo la figura donde se muestran las curvas intensidad-duración-frecuencia para las cuencas hidrográficas de la Irrigación Cachi, para los de diferentes períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, para las estaciones en estudio.

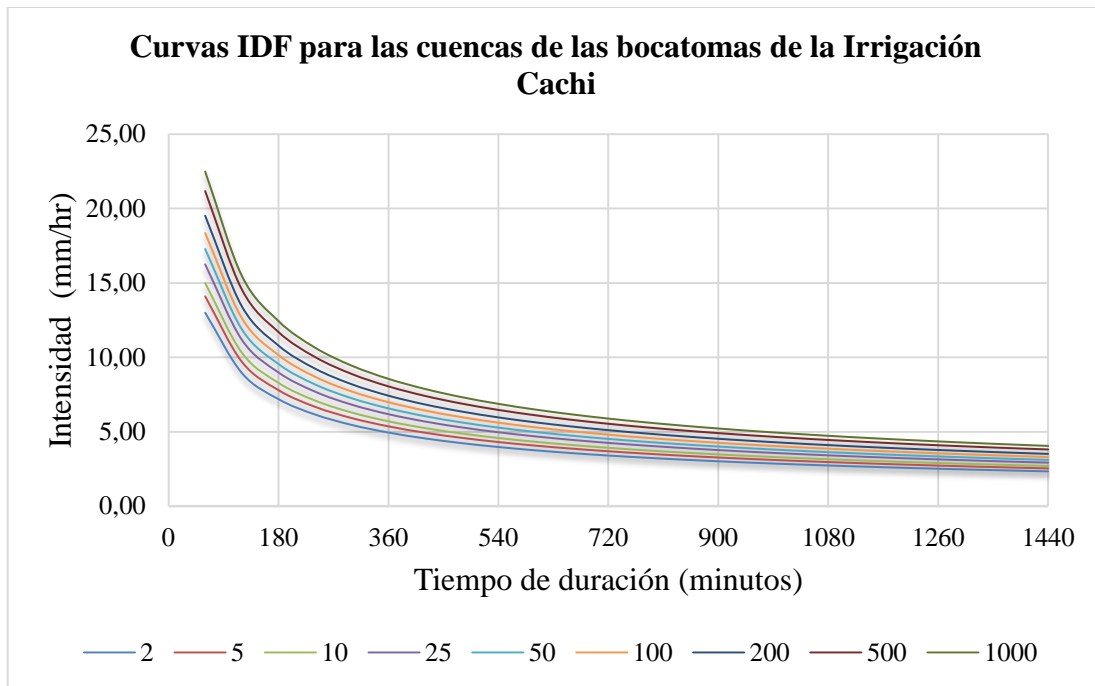


Figura 3.6.2. Intensidad –duración – frecuencia de PPmax en zonas en estudio

Intensidad – duración – frecuencia en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación cachi.
Fuente: elaboración propia

3.6.5 Hietogramas de diseño

Obtenido las curvas intensidad – duración – frecuencia, se obtuvo las hietogramas de diseño mediante el método de bloques alternos con procedimiento mostrado por Chow et al. (1994), y observamos la distribución de la precipitación producida a lo largo de 24 horas más lluviosa que se pueden producir en las zonas en estudio para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.6.7. *Hietogramas de diseño para las zonas en estudio*

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.12	1.21	1.29	1.40	1.48	1.58	1.68	1.82	1.93
120	1.17	1.27	1.35	1.47	1.56	1.66	1.76	1.91	2.03
180	1.24	1.35	1.43	1.55	1.65	1.75	1.86	2.02	2.15
240	1.32	1.43	1.52	1.65	1.75	1.86	1.98	2.15	2.28
300	1.42	1.53	1.63	1.77	1.88	2.00	2.12	2.30	2.45
360	1.53	1.66	1.77	1.92	2.04	2.16	2.30	2.49	2.65
420	1.68	1.83	1.94	2.10	2.24	2.38	2.53	2.74	2.91
480	1.89	2.05	2.18	2.36	2.51	2.67	2.83	3.07	3.27
540	2.18	2.37	2.52	2.73	2.90	3.08	3.28	3.55	3.78
600	2.66	2.89	3.07	3.33	3.54	3.76	4.00	4.34	4.61
660	3.67	3.98	4.23	4.59	4.88	5.19	5.51	5.98	6.35
720	13.00	14.10	14.99	16.25	17.27	18.36	19.51	21.15	22.49
780	4.89	5.30	5.64	6.11	6.49	6.90	7.34	7.96	8.46
840	3.06	3.31	3.52	3.82	4.06	4.31	4.58	4.97	5.28
900	2.39	2.59	2.75	2.99	3.17	3.37	3.59	3.89	4.13
960	2.02	2.19	2.33	2.52	2.68	2.85	3.03	3.29	3.49
1020	1.78	1.93	2.05	2.22	2.36	2.51	2.67	2.89	3.08
1080	1.60	1.74	1.85	2.00	2.13	2.26	2.41	2.61	2.77
1140	1.47	1.59	1.70	1.84	1.95	2.08	2.21	2.39	2.54
1200	1.37	1.48	1.57	1.71	1.81	1.93	2.05	2.22	2.36
1260	1.28	1.39	1.47	1.60	1.70	1.81	1.92	2.08	2.21
1320	1.21	1.31	1.39	1.51	1.60	1.70	1.81	1.96	2.09
1380	1.14	1.24	1.32	1.43	1.52	1.62	1.72	1.86	1.98
1440	1.09	1.18	1.26	1.36	1.45	1.54	1.64	1.77	1.89

Tabla de hietogramas de diseño para las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

Con la información producida se obtiene la figura, donde se muestra la distribución de la precipitación en 24 horas, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

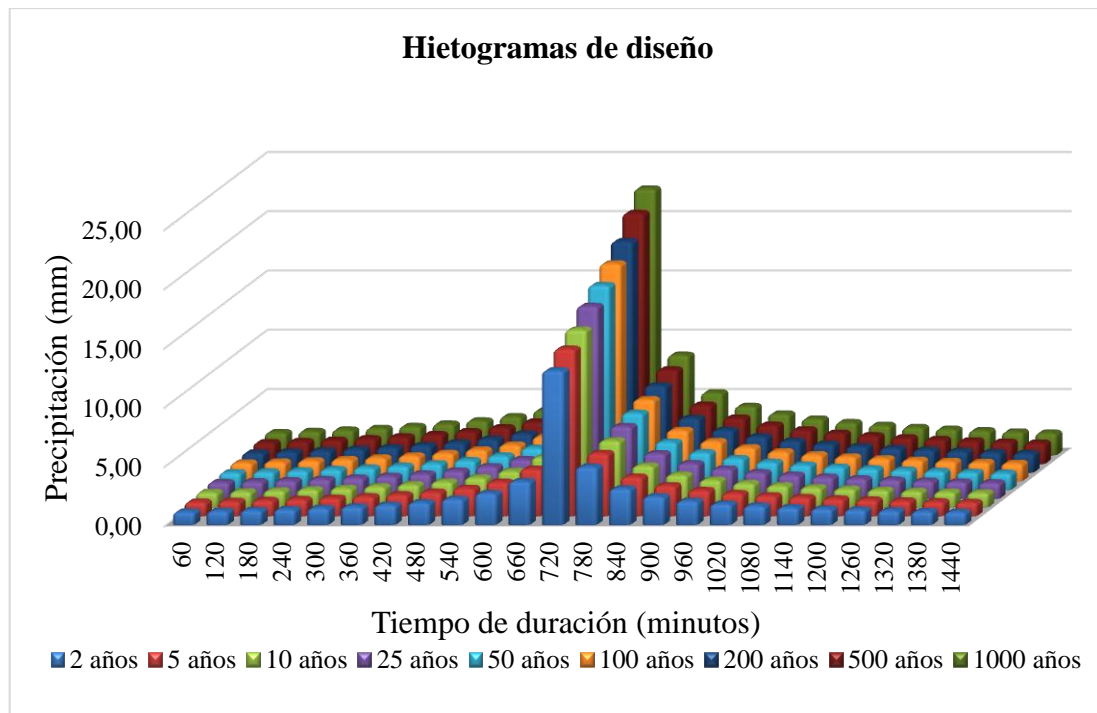


Figura 3.6.3. Hietogramas de diseño para las zonas en estudio

Tabla de hietogramas de diseño para las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia.

En los métodos de diseño en hidrología desarrollados hace muchos años, tal como el método racional, sólo se utilizaba el caudal pico. No existía consideración alguna sobre el tiempo de distribución del caudal (el hidrograma de caudal) o sobre la distribución temporal de la precipitación (el hietograma de precipitación). Sin embargo, los métodos de diseño desarrollados más recientemente, los cuales utilizan el análisis de flujo no permanente, requieren de predicciones confiables del hietograma de diseño para obtener los hidrogramas de diseño (Chow et al., 1994, p. 477).

3.6.6 Número de curva

La estimación de los CN para cada uso de suelo y el CN medio ponderado es presentada por cuencas hidrográficas. Para la microcuenca de la bocatoma Choccoro, subcuenca de la bocatoma Chicllarazo y la subcuenca de la bocatoma Apacheta, en los cuadros que se muestran, se presenta la estimación del CN la correspondiente a la imagen clasificada corregida manualmente, con base en el análisis visual de las fotografías satelitales de Google Earth Pro y Bing Maps.

Tabla 3.6.8. *Resumen de CN en las cuencas en estudio*

Descripción	Numero de Curva
Microcuenca de bocatoma Choccoro	84.00
Subcuenca de bocatoma Chicllarazo	84.80
Subcuenca de bocatoma Apacheta	82.80

Resumen del CN en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia.

En la estimación del CN, a través de imágenes satelitales, es importante destacar que, con relación a la estimación a partir de fotografías aéreas, las ventajas radican en el menor tiempo de trabajo, la actualización del material, el menor costo del mismo (cuya diferencia se amplía con el incremento de la superficie de estudio) y el menor número de personas que integran el equipo.

3.6.1 Tiempo de concentración

El tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida que son los puntos de aforo en las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.6.9. *Tiempos de concentración en las cuencas en estudio*

Cuenca de bocatoma	Tc Kirpich (min)	Tc Calif. (min)	Tc (min)
Choccoro	74.87	73.00	73.93
Chicllarazo	141.44	137.89	139.67
Apacheta	99.94	97.44	98.69

Tiempo de concentración de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

El tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante en la microcuenca de la bocatoma Choccoro es el más rápido con 73.93 minutos por el tamaño de la cuenca es el más pequeño que es 33 Km^2 esto debe a que la longitud del río es menor, mientras que en la subcuenca de bocatoma Chicllarazo que tiene un Tc de 139 minutos que es el máximo de las otras cuencas pero el tamaño de cuenca es intermedio de 100.24 Km^2 esto es porque la longitud del lecho del río es grande, mientras que en subcuenca de la bocatoma Apacheta el Tc es 98.69 minutos y el área es de 136.19 Km^2 esto se debe a que la longitud de lecho del río de esta cuenca es intermedio.

3.6.2 Tiempo de rezago

El tiempo que demora la crecida en alcanzar un determinado punto máximo en su trayectoria en las cuencas hidrográficas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.6.10. *Tiempos de rezago o retardo en las cuencas en estudio*

Cuenca de bocatoma	Tr SCS (min)	Tr SCS (hr)
Choccoro	44.36	0.739
Chicllarazo	83.80	1.397
Apacheta	59.21	0.987

Tiempos de rezago o retardo en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia

3.6.3 Estimación de avenidas máximas con HEC-HMS

Se realizó la simulación de avenidas máximas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, con el software HEC-HMS 4.0, donde se evaluó los métodos de transformación por hidrogramas unitarios de SCS y Snyder, en las cuencas hidrográficas de las bocatomas principales de la Irrigación Cachi.

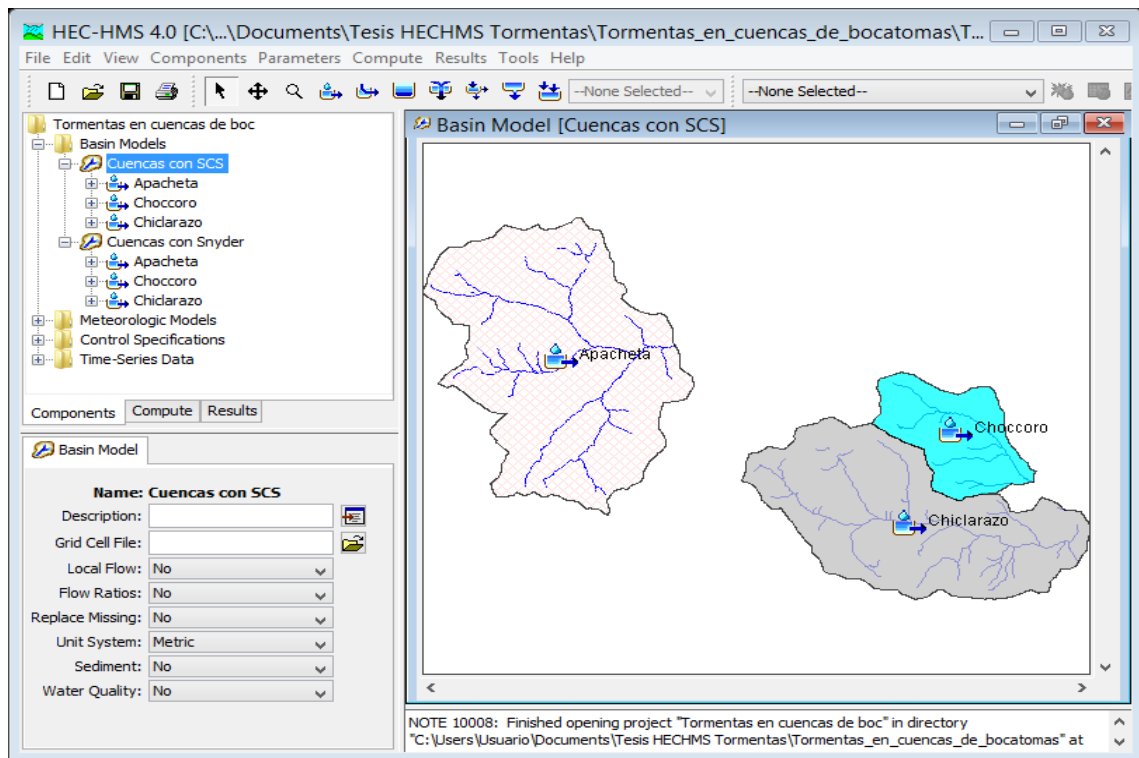


Figura 3.6.4. Simulación de avenidas máximas con HEC-HMS 4.0

Se muestra la simulación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, y con los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder en el software HEC-HMS 4.0 Fuente: elaboración propia

Avenida máxima en la microcuenca de la bocatoma Choccoro

Se realizó la simulación de caudales máximos en 24 horas en la microcuenca de la bocatoma Choccoro con el método de hidrograma unitario SCS, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, las cuales se muestran en las siguientes figuras:

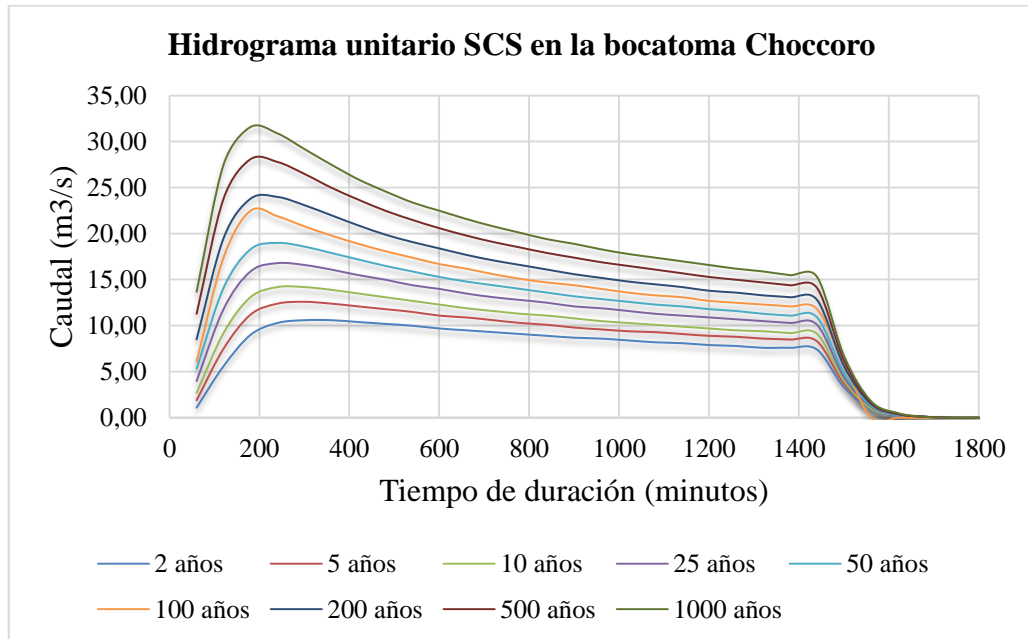


Figura 3.6.5. H. U. SCS en microcuenca de bocatoma Choccoro

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia.

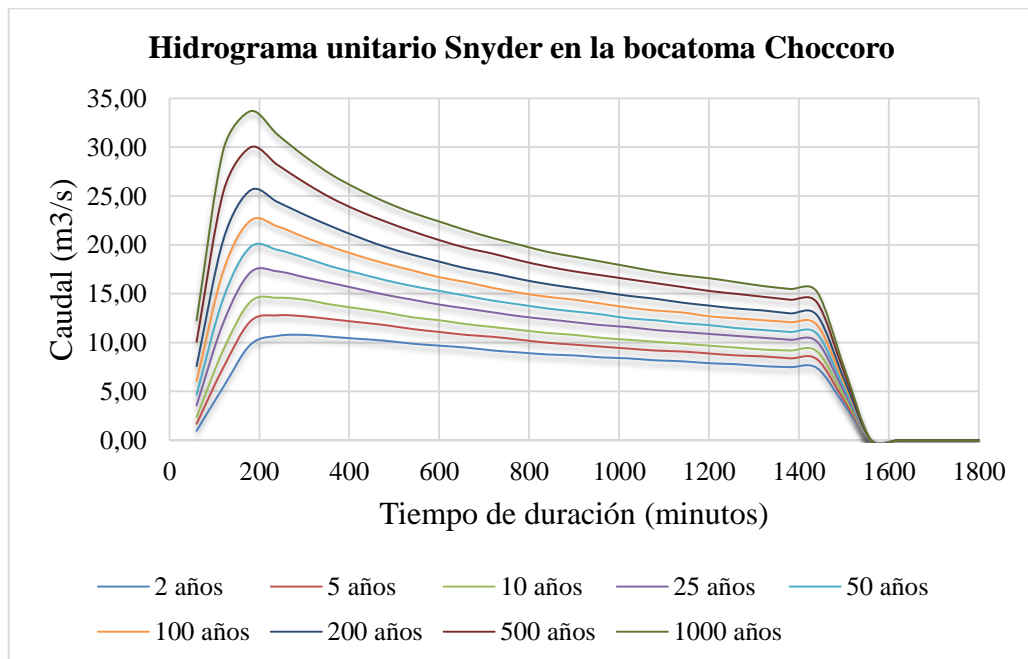


Figura 3.6.6. H. U. Snyder en microcuenca de bocatoma Choccoro

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia

Se realiza un análisis donde se muestra la tabla siguiente donde se realiza la comparación de los caudales máximos simulados con los modelos de hidrograma unitario SCS y el hidrograma unitario Snyder, con los caudales máximos observados, en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, también donde sabemos según las diferentes las referencias bibliográficas que el HU SCS es el más usado en la actualidad, mientras que el modelo de HU Snyder fue el primer modelo de hidrograma unitario y a partir de este modelo partieron los demás modelos actuales.

Tabla 3.6.11. *Q_{máx} con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Choccoro*

Frecuencia años	Caudal máximo (m ³ /s)		
	SCS	Snyder	Observado
2	10.60	10.80	10.84
5	12.60	12.80	14.24
10	14.20	14.60	16.48
25	16.80	17.30	19.32
50	19.00	19.80	21.43
100	21.40	22.50	23.52
200	24.00	25.60	25.60
500	28.10	30.00	28.35
1000	31.60	33.70	30.43

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observados en microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia.

La información de la simulación de caudales máximos con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y datos observados muestra similitud entre los dos modelos y se muestra en la siguiente figura:

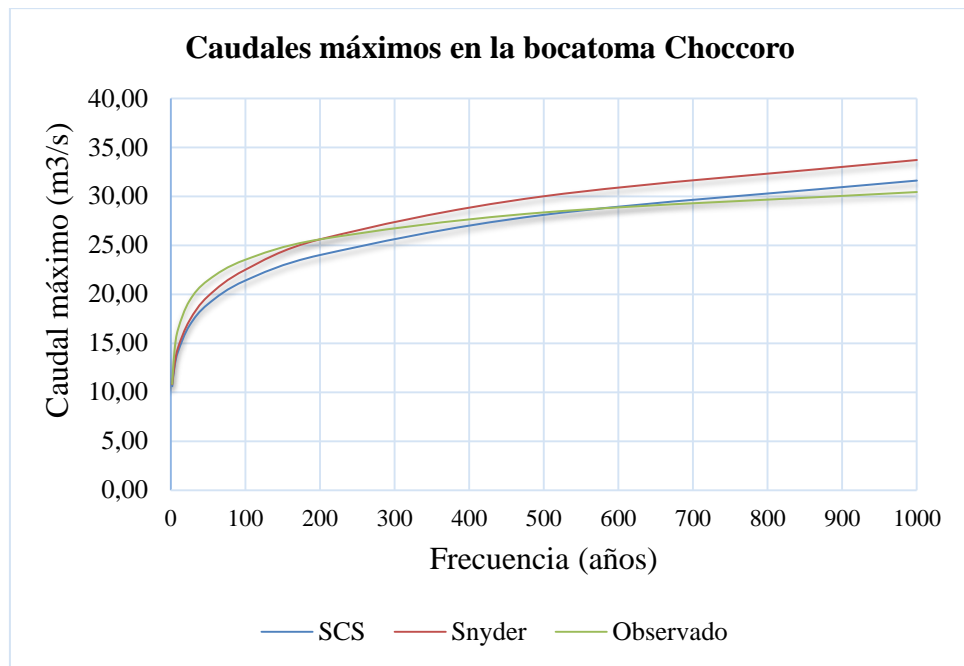


Figura 3.6.7. Q_{máx} con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Choccoro

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observados en microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia.

Se observa que para Tr de 2 años el caudal máximo observado es de $10.84 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales máximos simulados con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y observados son 10.60 y $10.80 \text{ m}^3/\text{s}$ con diferencia con respecto a los datos observados de -0.24 y $-0.04 \text{ m}^3/\text{s}$, y la diferencia con respecto a los datos observados entre los dos métodos analizados se va aumentando a medida que se aumenta el período de retorno, donde para un Tr de 1000 años las diferencias es de 1.17 y $3.27 \text{ m}^3/\text{s}$.

Avenida máxima en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo

Se realizó la simulación de caudales máximos en 24 horas en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo con el método de hidrograma unitario SCS, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, las cuales se muestran en las siguientes figuras:

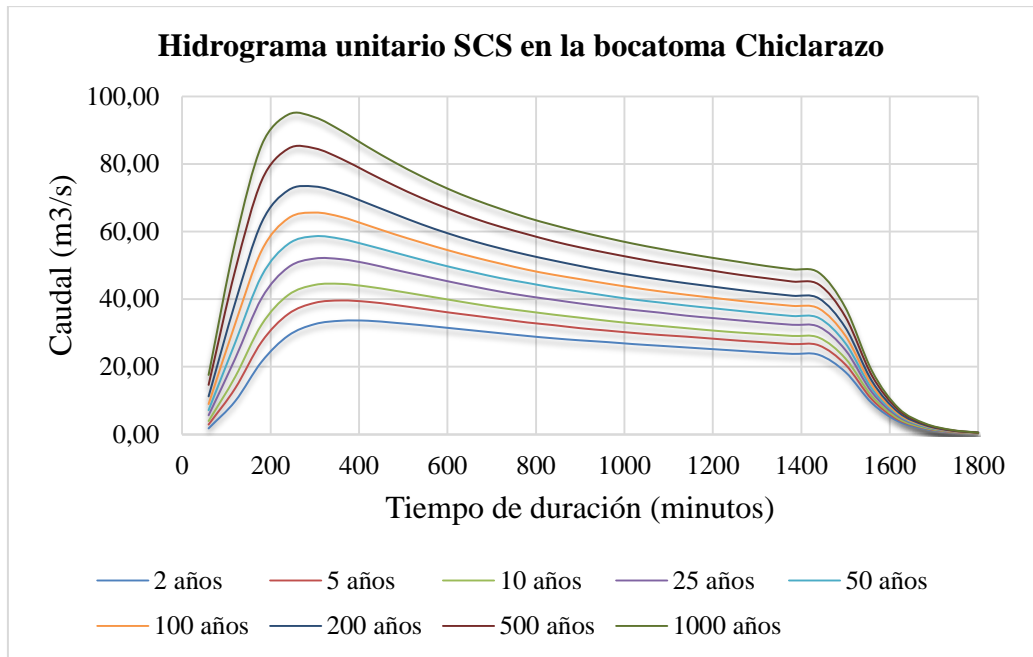


Figura 3.6.8. H. U. SCS en la bocatoma Chicllarazo

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

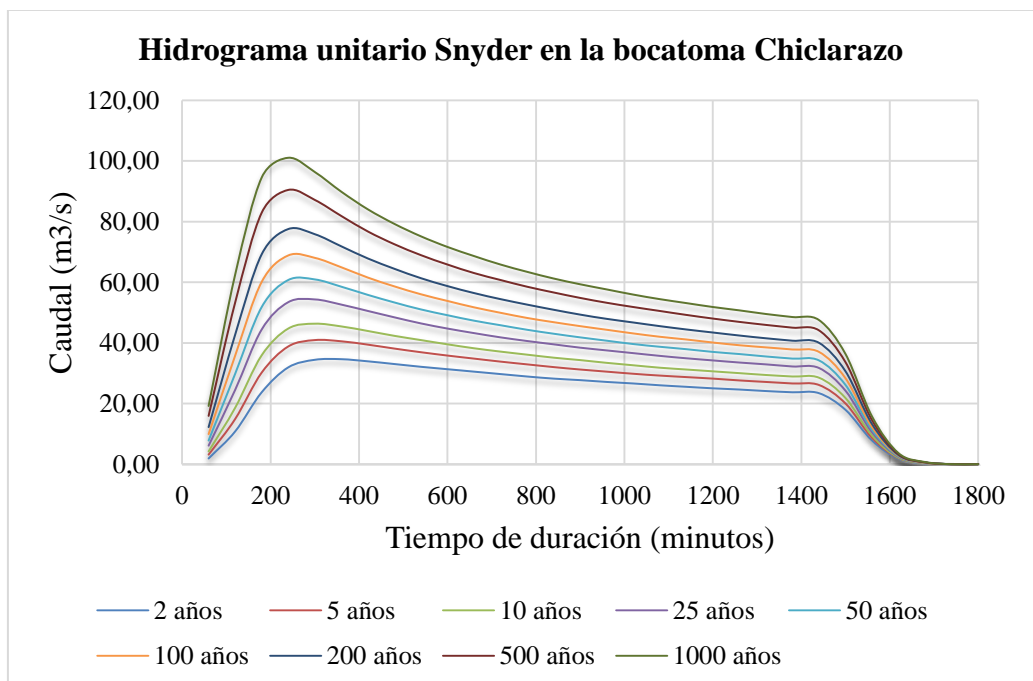


Figura 3.6.9. H. U. Snyder en bocatoma Chicllarazo

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

Se realiza un análisis donde se muestra la tabla siguiente donde se realiza la comparación de los caudales máximos simulados con los modelos de hidrograma unitario SCS y el hidrograma unitario Snyder, con los caudales máximos observados, en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo, también donde sabemos según las diferentes las referencias bibliográficas que el HU SCS es el más usado en la actualidad, mientras que el modelo de HU Snyder fue el primer modelo de hidrograma unitario y a partir de este modelo partieron los demás modelos actuales.

Tabla 3.6.12. *Q_{máx} con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Chicllarazo*

Frecuencia años	Caudal máximo (m ³ /s)		
	SCS	Snyder	Observado
2	33.60	34.60	34.38
5	39.60	40.90	44.94
10	44.50	46.30	51.92
25	52.00	54.30	60.75
50	58.60	60.90	67.30
100	65.60	68.80	73.80
200	73.30	77.50	80.28
500	84.60	90.40	88.82
1000	94.60	101.00	95.28

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observado en microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

La información de la simulación de caudales máximos con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y datos observados muestra similitud entre los dos modelos y se muestra en la siguiente figura:

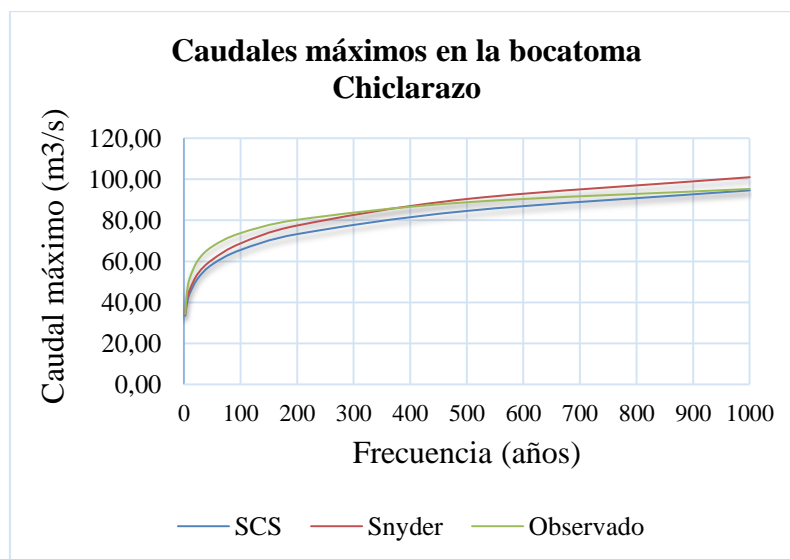


Figura 3.6.10. *Q_{máx} con HU de SCS, Snyder y obs. en bocat. Chicllarazo*

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observado en microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

Se observa que para Tr de 2 años el caudal máximo observado es de $34.38 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales máximos simulados con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y observados son 33.60 y $34.60 \text{ m}^3/\text{s}$ con diferencia con respecto a los datos observados de -0.78 y $0.22 \text{ m}^3/\text{s}$, y la diferencia con respecto a los datos observados entre los dos métodos analizados se va aumentando a medida que se aumenta el período de retorno, donde para un Tr de 1000 años las diferencias es de -0.68 y $5.72 \text{ m}^3/\text{s}$.

Avenida máxima en la subcuenca de la bocatoma Apacheta

Se realizó la simulación de caudales máximos en 24 horas en la microcuenca de la bocatoma Apacheta con el método de hidrograma unitario SCS, para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años, las cuales se muestran en las siguientes figuras:

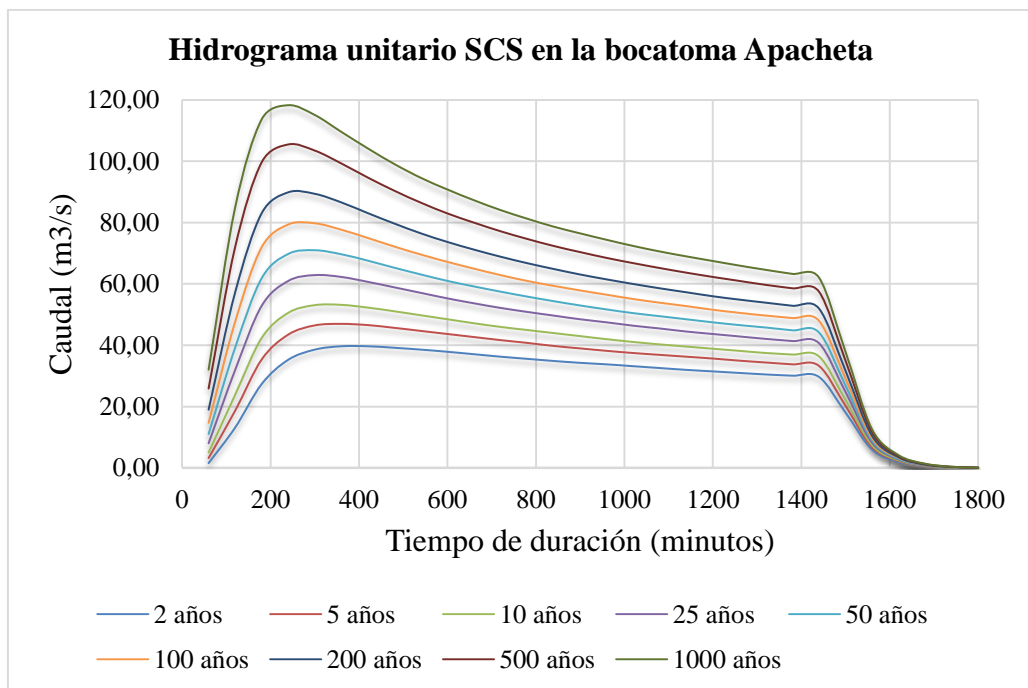


Figura 3.6.11. H. U. SCS en la bocatoma Apacheta

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia.

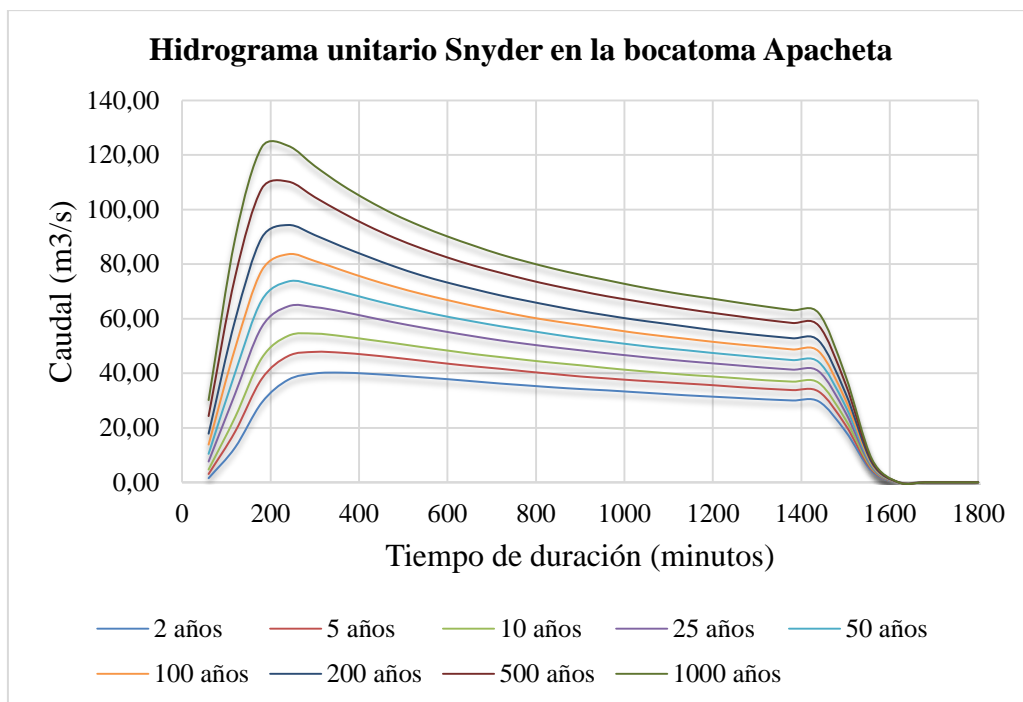


Figura 3.6.12. H. U. Snyder en la bocatoma Apacheta

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Se realiza un análisis donde se muestra la tabla siguiente donde se realiza la comparación de los caudales máximos simulados con los modelos de hidrograma unitario SCS y el hidrograma unitario Snyder, con los caudales máximos observados, en la microcuenca de la bocatoma Apacheta, también donde sabemos según las diferentes las referencias bibliográficas que el HU SCS es el más usado en la actualidad, mientras que el modelo de HU Snyder fue el primer modelo de hidrograma unitario y a partir de este modelo partieron los demás modelos actuales.

Tabla 3.6.13. $Q_{máx}$ con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Apacheta

Frecuencia años	Caudal máximo (m³/s)		
	SCS	Snyder	Observado
2	39.70	40.20	39.79
5	47.00	47.80	49.05
10	53.20	54.50	55.18
25	62.90	64.50	62.93
50	71.00	73.60	68.68
100	79.80	83.60	74.39
200	89.90	94.30	80.07
500	105.50	110.20	87.57
1000	118.30	123.30	93.24

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observado en microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia.

La información de la simulación de caudales máximos con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y datos observados muestra similitud entre los dos modelos y se muestra en la siguiente figura:

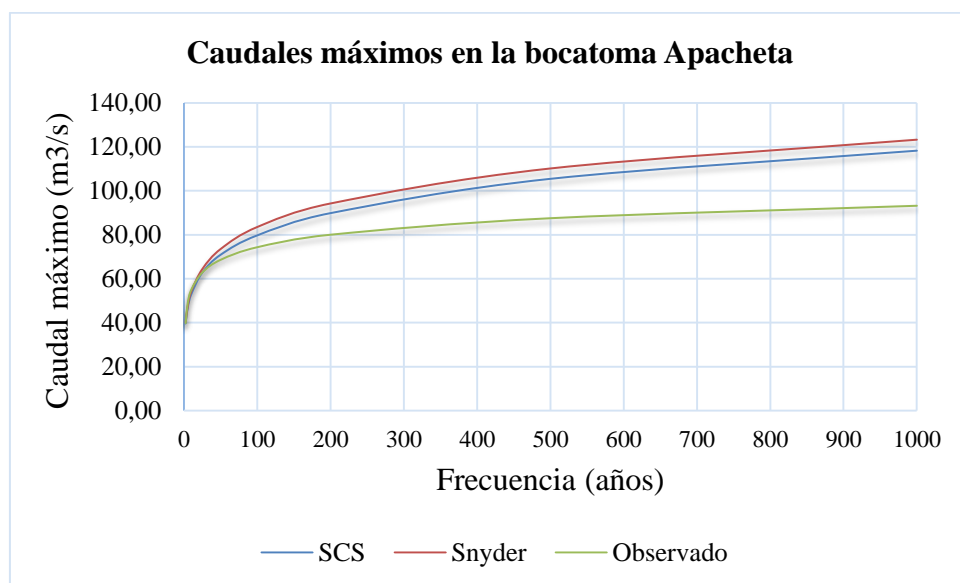


Figura 3.6.13. Q_{máx} con HU de SCS, Snyder y obs. en bocatoma Apacheta

Comparativo de caudales máximos con los modelos de HU de SCS, Snyder y observado en microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Se observa que para Tr de 2 años el caudal máximo observado es de $39.79 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que los caudales máximos simulados con los métodos de hidrograma unitario de SCS, Snyder y observados son 39.70 y $40.20 \text{ m}^3/\text{s}$ con diferencia con respecto a los datos observados de -0.09 y $0.41 \text{ m}^3/\text{s}$, y la diferencia con respecto a los datos observados entre los dos métodos analizados se va aumentando a medida que se aumenta el período de retorno, donde para un Tr de 1000 años las diferencias es de 25.06 y $30.06 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.7 Verificación de los modelos de simulación de avenidas máximas

Para saber qué modelo de simulación de caudales máximos para diferentes periodos de retorno es eficiente para su aplicación en cuencas no aforadas, se realizó la prueba de bondad de ajuste de los caudales máximos simulados con los modelos de HU SCS y Snyder, y con los caudales máximos observados en las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y Apacheta.

Se realizó la comprobación de la eficiencia de los modelos de simulación de avenidas máximas en las estaciones hidrométricas de las bocatomas Choccoro, Chicllarazo y

Apacheta de la Irrigación Cachi, mediante la prueba de bondad de ajuste NS, NSL, r, R y BIAS de los cuales tuvo los siguientes resultados:

Tabla 3.7.1. Eficiencia HU SCS y Snyder en las zonas en estudio

Estación de aforo		Estadísticas	HU SCS	HU Snyder
Microcuenca de la bocatoma Choccoro	Verificación	NS	0.97	1.00
		r	0.99	0.99
		R	0.97	0.97
		BIAS (%)	-6.26	-1.64
Microcuenca de la bocatoma Chicllarazo	Verificación	NS	0.98	1.00
		r	0.99	0.99
		R	0.98	0.97
		BIAS (%)	-8.55	-3.81
Microcuenca de la bocatoma Apacheta	Verificación	NS	1.00	1.00
		r	0.99	0.99
		R	0.97	0.97
		BIAS (%)	9.23	13.28

Comprobación de la eficiencia de los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

Tabla 3.7.2. Promedio de eficiencia modelos HU SCS y Snyder

Estación de aforo		Estadísticas	HU SCS	HU Snyder
Promedio de las cuencas hidrográficas en estudio	Verificación	NS	0.98	1.00
		r	0.99	0.99
		R	0.97	0.97
		BIAS	-1.86	2.61

Comprobación de promedio de eficiencia de los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia

Del cuadro anterior la verificación de la bondad de ajuste de los modelos de simulación de caudales medios mensuales, donde se observó los siguientes:

- Según el criterio de NS los modelos de HU SCS y Snyder se encuentran en los rangos de excelente y muy bueno.
- Según el análisis del coeficiente de correlación de Pearson y Spearman los modelos de HU SCS y Snyder se considera entre excelente y perfecta.
- Según el análisis del coeficiente de determinación los modelos de HU SCS y Snyder se consideran muy buenos.

- Según el análisis del BIAS el modelo de HU SCS sobreestima el volumen de descarga total simulada, y el modelo de HU Snyder subestima el volumen de descarga total simulada, pero los dos modelos se comportan óptimamente.

Del análisis de la prueba de bondad de ajuste de la simulación de caudales máximos en las estaciones hidrométricas de las bocatomas, Choccoro, Chicllarazo y Apacheta se tuvo como resultado que los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder presentaron resultados muy eficientes y se puede utilizar en cuencas similares donde no exista aforos.

CAPÍTULO IV

DISCUSION

4.1 Discusiones sobre la simulación de caudales medios

El modelo de Simulación Integral de Cuenca (en Chile Central), el modelo Témez presenta aceptable nivel de ajuste con un 81% de la variabilidad de la aportación mensual en la cuenca del río Purapel; ... y el modelo con una mayor cantidad de parámetros no necesariamente refleja una mejor calidad de validación (Pizarro et al, 2005, p. 129). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el modelo Témez presenta una correlación de 77% y sobrestima en 27.38% a la aportación mensual de caudales, por ello se considera insatisfactorio.

Los modelos abcd y Témez tienen la capacidad de simular caudales medios mensuales con semejanza a los valores observados (aforados) (en río Tomayapo – Bolivia), no se puede negar que existe diferencias, pero están dentro de un rango aceptable, por lo que se puede decir que son aplicables a nuestro medio (Torrez, 2016, p. 9). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el modelo abcd en la simulación de caudales medios mensuales se considera satisfactorio, aunque tiende a subestimar el volumen de descarga; y el modelo Témez en la simulación de caudales medios mensuales se considera insatisfactorio, y sobreestima considerablemente el volumen de descarga.

Para el caso del río Chinchiná (en Colombia), el modelo abcd simuló bien la descarga promedio y mínima, según los criterios de eficiencia los indicadores estadísticos fueron catalogado como satisfactorio para el período 1981-2009, por lo que puede ser utilizados en las microcuencas no aforadas y para la planificación y gestión de los recursos hídricos; sin embargo, estos modelos no reflejan adecuadamente los caudales máximos (Ocampo & Vélez, 2014, ps. 55-56). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el modelo abcd presenta una

correlación de 80% y subestima en 15.4% a la aportación mensual de caudales, por ello se considera eficiente y se puede aplicar en cuencas similares no aforadas.

La aplicación del modelo GR2M, en la cuenca del río Jequetepeque, presenta una alta eficiencia, tanto en el periodo de calibración (83%), como en el periodo de validación del modelo (81.3%), por lo que se ajusta a la aplicación de este modelo satisfactoriamente (Alcántara et al, 2014, pág. 19). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el modelo GR2M presenta una eficiencia regular, tanto en el periodo de calibración (68%), como en el periodo de validación del modelo (80%) y subestima en 15.53% a la aportación mensual de caudales, por ello se considera óptimo y se puede aplicar en cuencas similares no aforadas.

Los modelos se comportan de forma diferente dependiendo de las características de cada región donde se apliquen (en España peninsular), siendo el modelo GR2M el que mejor comportamiento ofrece en la modelización hídrica realizada, mientras que Témez es el que peor simula; debido a esto se aconseja que para simular correctamente el balance hídrico en una cuenca vertiente cualquiera, es necesario simular y ajustar varios modelos para poder comprobar cuál es el que mejor ajusta el caudal observado al simulado (Segura, 2017, p. 171). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el modelo GR2M se comporta óptimamente en la modelación de caudales medios mensuales y es recomendable; el modelo Témez es el peor que simula y no es recomendable.

El modelo Lutz (en Cajamarca - Perú) tiene un ajuste aceptable entre volumen generado por el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz para el año promedio y el volumen calculado de caudales observados se ajusta en un 99.6%, por otro lado, el volumen para el periodo extendido el ajuste llega a 89.6% respecto al observado (Terán, 2014, p. 118). Mientras la aplicación del modelo Lutz Scholz (en río Chacco – Ayacucho) se observa los coeficientes estadísticos, se dispone de un coeficiente de correlación múltiple de 0.8019, en concordancia a la interpretación del coeficiente estadístico es un indicador adecuado; de igual manera el modelo obtenido dispone de un coeficiente de determinación a nivel de 0.64, siendo un indicador adecuado (Najarro, 2015, p. 58). Y en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, el

modelo Lutz Scholz presenta una correlación de 79% y sobrestima en 18.99% a la aportación mensual de caudales, por ello se considera insatisfactorio, y para su uso en cuencas similares se debe de analizar detalladamente sus parámetros del modelo.

Se observa que el modelo Témez tiene baja eficiencia, el modelo abcd es muy eficiente, y los modelos GR2M y Lutz Scholz son eficientes; por lo tanto, los resultados de los investigadores son similares a los resultados de la presente tesis.

4.2 Discusiones sobre la simulación de avenidas máximas

Durante la calibración hidrológica (en subcuenca Quilcay - Lima), ... pese a que ambos modelos hidrológicos presentaron tendencias similares, el HU de Snyder logró ajustarse mejor a los caudales máximos reales con una variación promedio de 19%, mientras que el HU del SCS presentó una variación promedio de 34%. Asimismo, el proceso de validación de ambos modelos indicó que el HU de Snyder representó de manera más adecuada la realidad hidrológica por encima del HU del SCS (Anaya, 2017, p. 64). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder presentan una correlación de 99%, el HU SCS subestima en 1.86% y el HU sobrestima en 2.61%, a la aportación de avenidas máximas, por ello se consideran satisfactorios, y se pueden usar en cuencas similares no aforadas.

El comportamiento observado de los hidrogramas estimados en comparación con los hidrogramas registrados (en valle del Cauca – Colombia), se puede concluir que los HU del SCS, y Snyder, en general, representan adecuadamente la forma de los hidrogramas registrados, así mismo se observa que no existe gran diferencia entre los coeficientes de Nash-Sutcliffe (Vargas, 2010, p. 153). Mientras en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder realizaron perfectamente la forma de los hidrogramas registrados de avenidas máximas, y no existe gran diferencia entre los coeficientes de NS con 0.98 para HU SCS y 1 para HU Snyder.

Se observa que los modelos de HU SCS y Snyder son muy eficientes; por lo tanto, los resultados de los investigadores son similares a los resultados de la presente tesis.

CONCLUSIONES

1) Análisis de modelos de simulación de caudales

Se analizó los modelos de simulación de caudales medios mensuales, los modelos Témez, abcd, GR2M, y Lutz Scholz, donde los factores que intervienen son los componentes del balance hídrico como la precipitación, evapotranspiración, almacenamiento del agua, y escorrentía (superficial y subterránea); y cada modelo estudiado está influenciado por sus parámetros propios del modelo.

Se analizó el hidrograma unitario sintético del SCS y es común en la simulación de avenidas máximas; mientras que el hidrograma unitario sintético del Snyder es el primer método que desarrolló el HU sintético para la simulación de avenidas, pero no se puede aplicar en zonas donde la precipitación es mayor a 100 mm/h.

2) Comparación de modelos de simulación de caudales

Se realizó la calibración y validación de la simulación de los caudales medios mensuales en las cuencas estudio, los promedios de indicadores estadísticos fueron catalogados como bueno para el modelo Témez, excelente para el modelo abcd, excelente para el modelo GR2M, y bueno para el modelo Lutz Scholz.

Se realizó la verificación la simulación de las descargas máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno con los datos observados en las cuencas en estudio, los promedios de indicadores estadísticos fueron catalogados como excelente para el modelo de HU SCS; y excelente para el modelo de HU Snyder.

3) Análisis de sensibilidad de los parámetros que afectan en la variación de caudales

En el análisis de caudales medios mensuales los parámetros de los modelos que son más sensibles son los siguientes: en el modelo Témez, H_{máx} (humedad máxima en el suelo),

α (coeficiente de recesión del acuífero) y C_{po} (parámetro de excedente); en el modelo abcd, d (tiempo de resistencia del agua subterránea); en el modelo GR2M, el $X2$ (coeficiente de intercambio de agua); y en el modelo Lutz Scholz, C (coeficiente de escorrentía).

Se analizó los hidrogramas unitarios SCS y Snyder, el parámetro que es más sensible es CN (número de curva) para ambos métodos.

RECOMENDACIONES

- 1.- El su uso del modelo Témez para la simulación de caudales medios mensuales no es recomendable, pero que tiende a sobreestimar los caudales descargados en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, por ello se tiene que realizar analizar profundamente sus parámetros en cuencas hidrográficas similares donde no exista datos de aforo.
- 2.- Los modelos abcd y GR2M para la simulación de caudales medios mensuales son recomendables porque proporcionan resultados que son muy eficientes para la correcta estimación del recurso hídrico en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, lo cual ha sido comprobado en la presente tesis.
- 3.- El modelo Lutz Scholz para la simulación de caudales medios mensuales es recomendable porque proporciona resultados que son buenos para la correcta estimación del recurso hídrico en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, lo cual ha sido comprobado en la presente tesis.
- 4.- Los modelos de hidrograma unitario SCS y Snyder, para la simulación de avenidas máximas son recomendables, porque proporciona resultados eficientes durante el proceso de calibración en las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi, por ello su uso es recomendable en cuencas hidrográficas similares, donde no existan datos de aforo.
- 5.- Durante la simulación de caudales medios mensuales y avenidas máximas, es necesario comparar los datos de entradas y salida, con resultados de otros estudios realizados si es que hubiera, y si hay variaciones realizar varias simulaciones revisando minuciosamente los parámetros de cada modelo hidrológico, con ello tendremos resultados confiables.

6.- Se recomienda a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, impulsar la formulación y ejecución de investigaciones relacionados al recurso hídrico, ya sea financiando directamente o realizando convenios con diversas instituciones públicas y privadas que ayuden económicamente al tesista, ya que existe la necesidad financiera para diversas áreas como viáticos, copias, impresiones, compra de bibliografía, tecnologías de información, subvención por el tiempo dedicado a la investigación, y otros gastos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Aguirre, M. (2014). Modelo determinístico-estocástico de Lutz Scholz. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/document/59788250/MODELO-LUTz-shotz>
- Alcántara, A., Montalvo, N., Mejía, A., & Ingol, E. (2014). Validación de modelos hidrológicos lluvia-escorrentía para su aplicación a la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. *RIIGEO FIGMMG-UNMSM Perú*, 17(33), 7-17. Obtenido de <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11492/10335>
- Alea, V., Guillén, M., Muñoz, C., Maqueda, I., Torrelles, E., & Viladomiu, N. (2005). Contrastes de normalidad. Obtenido de Universidad de Barcelona - España: http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap5-6.htm
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Obtenido de ESTUDIO RIEGO Y DRENAJE FAO 56: <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>
- Alonso, F., & Palazón, J. (2008). Modelización de sistemas ambientales. Obtenido de Open Courseware Universidad de Murcia: <http://ocw.um.es/ciencias/modelizacion-de-sistemas-ambientales>
- ANA. (2015). Modelo hidrológico de gestión integrada de recursos hídricos del río Maure - Mauri. Lima - Perú: Dirección de conservación y planeamiento de recursos hídricos - Autoridad Nacional del Agua.
- Anaya, J. (2017). Calibración de los parámetros hidrológicos en la sub cuenca del río Quilcay empleando los modelos del Soil Conservation Service (SCS) y Snyder. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Antequera, M. (2014). Determinación de caudales máximos aplicando las metodologías hidrometeorológicas y estadísticas en la subcuenca del río Quillcay. Huaraz - Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie (Primera ed.). México: LIMUSA/GRUPO NORIEGA EDITORES.
- Brown, E. (1976). Elementos de Hidrología (Primera ed.). Chile: Universidad de Chile.
- Burrough, P., & McDonnell, R. (2000). Principles of Geographical Information systems . Oxford: Oxford University Press.
- Caballero, J. (2015). Diseño hidráulico de drenaje en la carretera San Marcos tramo-I (Km: 58+770 a 75+450), Cajabamba, Cajamarca. Ayacucho: UNSCH.

- Cabrera, J. (2014). Evaluación de los recursos hídricos en una cuenca de alta montaña (cuenca del río Bérchules, Sierra Nevada, Granada) utilizando modelos hidrológicos agregados y semidistribuidos. Málaga - España: Universidad de Málaga.
- Cabrera, J. (2017). Calibración de Modelos Hidrológicos . Obtenido de Instituto para la mitigación de los efectos del fenómeno el niño:
http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- Calderón, D. (2012). Modelación conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos. México: Tesis de grado publicado. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Castillo, C. (2005). Análisis de caudales máximos en cuencas experimentales para distintas condiciones de cobertura arbórea, Décima Región, Chile. Valdivia: Trabajo de grado publicado. Universidad Austral de Chile.
- Célleri, R. (2014). Estudio comparativo del régimen hidrológico de tres microcuencas de alta montaña con diferente cobertura vegetal. Cuenca: Tesis de grado publicado. Universidad de Cuenca.
- Center, Goddard Earth Sciences Data and Information Services. (2016). TRMM (TMPA) Precipitation L3 1 day 0.25 degree x 0.25 degree V7. Obtenido de Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC):
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B42_Daily_7/summary
- Chereque, W. (2003). Hidrología (Segunda ed.). Lima - Perú: Pontificia universidad católica del Perú.
- Chorro, J. (2017). Coeficiente de Determinación. Obtenido de Universidad de Valencia - España:
https://www.uv.es/webgid/Descriptiva/6_coeficiente_de_determinacin.html
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Santafé de Bogotá - Colombia: McGRAW-HILL.
- Chuquín, A. (2016). Aplicación de un modelo semidistribuido de precipitación - escorrentía para la evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Jalón. Valencia - España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Collazos, G. (2009). Modelo de Témez. Obtenido de Sistema Soporte de Decisión H2O para planificación y gestión de recursos hídricos: <http://www.ssd-h2o.com.ar/Download/ModeloTemezGC.pdf>

- Córdova, M. (2015). Estimación de caudales medios naturalizados en la cuenca del río Mantaro mediante el método de regionalización estadística. Lima: Tesis de grado publicado. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Correa, A., & Díaz, C. (2005). Implementación del modelo de Thomas para el balance hídrico empleando la herramienta computacional HIDROSIG-JAVA. Bogotá - Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- CORREO. (2015). Obtenido de Escasez de agua amenaza a los agricultores y a toda la ciudad de Ayacucho: <https://diariocorreo.pe/edicion/ayacucho/escasez-de-agua-amenaza-a-los-agricultores-y-a-toda-la-ciudad-de-ayacucho-626872/>
- CORREO. (2016). Obtenido de Alarma en Ayacucho: Presa Cuchoquesera se queda sin agua: <https://diariocorreo.pe/edicion/ayacucho/alarma-en-ayacucho-presa-cuchoquesera-se-queda-sin-agua-715127/>
- Dallos, I. (2011). Descripción preliminar de parámetros geomorfológicos y de conformación de la cuenca de la quebrada Palmichala con fines de Modelamiento. Bucaramanga: Trabajo de grado publicado. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Diez, A. (2003). Geomorfología e hidrología fluvial del río Alberche. Modelos y S.I.G. para la gestión de riveras. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Espinoza, J. (2005). El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos. Obtenido de Utilización del método del Vector Regional con HYDRACCESS. SENAMHI: <https://es.scribd.com/document/173243246/El-Metodo-del-Vector-Regional-de-indices-pluviometricos>
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). Diseño hidrológico (Segunda ed.). España: WASA –GN.
- George Huffman. (2015). GPM_3IMERGM: GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V04. Obtenido de Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC): https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGM_V04/summary
- Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). (2015). M2TMNXFLX: MERRA-2 tavgM_2d_flux_Nx: 2d,Monthly mean,Time-Averaged,Single-Level,Assimilation,Surface Flux Diagnostics V5.12.4. Obtenido de Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC): https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/datasets/M2TMNXFLX_5.12.4/summary

- González, P. (2002). Análisis comparativo sobre las características físicas de las cuencas de la cordillera de la costa y de la cordillera de los andes VII región del Maule. Chile: Trabajo de grado publicado. Universidad de Talca.
- IAPAR. (1998). Zonificación Agroecológica y Económica de la cuenca hidrográfica del Riberao Meio, Estado de Paraná (Primera ed.). Brasil: Proyecto regional GCP.
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2017). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>
- Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2017). Morfología de las cuencas hidrográficas. Obtenido de Universidad Politécnica de Valencia:
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Imata, I., & Imata, G. (1990). Procesos de Transformación de Precipitación en Descargas Evaluación de un Modelo Matemático. Lima: Tesis de grado no publicado. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Jiménez, H. (1986). Hidrología básica I (Segunda ed.). Cali - Colombia: Oficina de Publicaciones - Facultad de Ingeniería.
- Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (1977). Hidrología para ingenieros (Segunda ed.). Colombia: McGRAW-HILL.
- Loaiza, J. (2016). Implementación del modelo hidrológico “abcd” realizando una calibración regional para la evaluación del impacto del caudal en la cuenca alta del río Bogotá. Bogotá - Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- López A, D. K. (2009). Modelación hidrológica de la subcuenca lempa alto, en cooperación con la comisión trinacional del plan trifujo el salvador, honduras, Guatemala. Santa Ana: Trabajo de grado publicado. Universidad de el Salvador.
- Lujano, E., Felipe, O., Lujano, A., & Quispe, J. (2015). Validación de la precipitación estimada por satélite TRMM y su aplicación en la modelación hidrológica del río Ramis Puno Perú. Rev. Investig. Altoandin., 17(2), 221-228. doi:<http://dx.doi.org/10.18271/ria.2015.116>
- Luna, E., & Lavado, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca

- Jetepeque, Perú. Revista Tecnológica ESPOL – RTE, XXVIII(3), 42 - 52.
Obtenido de
<http://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/download/400/261>.
- Marquínez, J. (2003). Estimación de modelos de precipitación en regiones montañosas. España: Journal of Hydrology.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., & Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. Rev haban cienc méd La Habana, III, 19. Obtenido de
<http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>
- Morad, M., & Pérez, A. (2001). Sistemas de Información Geográfica y modelizaciones hidrológicas: Una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 1(31), 23 - 46. Obtenido de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1122528>
- MTC. (2017). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Obtenido de Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Perú:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf
- Najarro, D. (2015). Calibración del modelo Lutz Scholz y generación de caudales extendidos aplicado a la cuenca del río Chacco. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Obtenido de
http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/794/Tesis%20CIV442_Naj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nanía, L. (2007). Cálculo de caudales de avenida con HEC-HMS y SIG. Obtenido de Universidad de Granada - España
http://www.ugr.es/~lnania/_private/ManualBasico_HEC-HMS300_HEC-GeoHMS11_Espanol.pdf
- Nieto, H. (2007). Comparación de modelos hidrológicos precipitación-escorrentía determinísticos conceptuales con y sin uso de modelo estocástico. Lima: Tesis de grado de maestro publicado. Universidad Nacional De Ingeniería.
- Ocampo, O., & Vélez, J. (2014). Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, XIII(24), 47-58. Obtenido de
<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v13n24/v13n24a04.pdf>
- Ordoñez, J. (2012). Balance hídrico superficial. Foro peruano para el agua (pág. 41). Lima - Perú: Sociedad Geográfica de Lima.

- Palacios, C. (2010). Caudales de diseño en el río Piura y su variación histórica ante el fenómeno el niño. Piura: Universidad de Piura.
- Paredes, J., Solera, A., Andreu, J., & Lerma, N. (2014). Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos. Valencia - España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Paulini, A. M. (2005). Evaluación de la Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca Alta del Río Quiroz. Piura - Perú: Repositorio Institucional PIRHUA.
- Pérez, O. (2007). Determinación de hidrogramas unitarios utilizando el modelo de simulación distribuido GSSHA. Obtenido de Universidades de Chile: http://tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/perez_o/sources/perez_o.pdf
- Pino, C. (2013). Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca del río Caplina – Tacna. Tacna: Tesis de Grado publicado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Pizarro, R., Aravena, D., Macaya, K., Abarza, A., Cornejo, M., Labra, M., . . . Román, L. (2007). Curvas intensidad - duración - frecuencia para la zona centro sur de Chile. Obtenido de I Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002281/228195S.pdf>
- Pizarro, R., Soto, M., Farias, C., & Jordan, C. (2005). Aplicación de dos Modelos de Simulación Integral Hidrológica, para la estimación de caudales medios mensuales, en dos cuencas de Chile central. BOSQUE, XXVI(2), 123-129. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/bosque/v26n2/art15.pdf>
- Ponce, V., & Hawkins, R. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity? Journal of Hydrologic Engineering, 1(1), 11-19. Obtenido de <https://www.uvm.edu/~bwemple/HydroModel/ponce1996.pdf>
- PPA. (2003 - 2008). Obtenido de Fondo contravalor Perú Alemania: <http://www.fcpa.org.pe/>
- R, R., & F, V. (2013). Simulación hidrológica de cuencas mediante el uso del software Watershed Modeling System. Chimbote: Tesis de grado publicado. Universidad Nacional del Santa.
- Robredo, J. (2017). Cálculo de caudales de avenida. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>

- Sánchez, F. (2017). Obtención del hietograma de diseño. Obtenido de Universidad de Salamanca - España:
http://hidrologia.usal.es/practicas/Hietog_diseno_fundamento.pdf
- Sánchez, J. (2015). HEC-HMS Manual elemental. Obtenido de Universidad de Salamanca - España: <http://hidrologia.usal.es/Complementos/Hec-hms-4.pdf>
- Sandoval, C. (2000). Análisis comparativo de los modelos precipitación – escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, en la cuenca del río Achibueno y en la cuenca del río Purapel, VII región. Chile: Tesis de grado publicado. Universidad de Talca.
- Segerer, C., & Villodas, R. (2007). Estadística Aplicada a la hidrología. Obtenido de Universidad Nacional de Cuyo - Argentina:
http://fing.uncu.edu.ar/catedras/hidrologia_i/teoria/H1_07_U09.PDF
- Segura, F. (2017). Análisis comparativo de modelos agregados de balance hídrico en la España peninsular y su sensibilidad a la incertidumbre climática. Murcia - España: Universidad Católica de Murcia. Obtenido de
<http://repositorio.ucam.edu/bitstream/handle/10952/2499/Tesis.pdf?sequence=1>
- Soto, A. (2015). Estudio hidrológico e hidráulico del puente Huanchuy en el río Cachi, Ayacucho - Huancavelica. Obtenido de Repositorio - UNSCH:
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1206>
- Tarazona, N. (2005). Generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río santa utilizando el método de Lutz Scholz. Lima: Tesis de grado publicado. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Terán, C. (2014). Volúmen a agua aprovechable en la microcuenca de los tres ríos, usando el modelo determinístico estocástico Lutz Scholz, para los años hidrológicos 2008-2012. Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de
<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/74/T%20532%20T315%20014.pdf?sequence=1>
- Torrez, R. (2016). Comparación de Modelos Hidrológicos para la Simulación de Caudales Medios Mensuales en la Cuenca del río Tomayapo. Ciencia Sur, II(2), 1-9. Obtenido de
<http://www.uajms.edu.bo/revistas/wp-content/uploads/2016/08/cs-art1.pdf>
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). (2011). TRMM_3B43: TRMM (TMPA/3B43) Rainfall Estimate L3 1 month 0.25 degree x 0.25 degree V7.

- Obtenido de Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC): https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary
- ULPGC. (2017). Prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov (KS). Obtenido de Universidad de las Palmas de Gran Canaria:
https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/5/5015/Complemento_3_Prueba_de_Bondad_de_Ajuste_de_Kolmogorov_Smirnov.pdf
- Vargas, A. (2010). Análisis de ajuste, sensibilidad e incertidumbre de los parámetros del modelo del SCS. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá:
<http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis371.pdf>
- Vegas, F., Andrés, N., Zappa, M., Lavado, W., & Hilker, N. (2015). Simulación y caracterización del régimen natural de descargas diarias en los andes del sur del Perú: región de Apurímac y Cusco. (S. N. Perú, Ed.) REVISTA PERUANA GEO-ATMOSFÉRICA RPGA, 4, 18. Obtenido de
http://www.senamhi.gob.pe/rpga/pdf/2015_vol04/paper1.pdf
- Vélez, J., & Gutiérrez, A. (2010). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/496/49622372006.pdf>
- Verdú, J. (2003). Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo). España: Tesis de grado de doctor. Universidad de Lleida.
- Villón, M. (2002). Hidrología (Segunda ed.). Lima: Editorial Villón.
- Villón, Máximo. (2005). HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. (Dialnet, Ed.) Tecnología en Marcha, XVIII(2), 67 - 75. Obtenido de
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835599.pdf>.
- Viramonte, O., Escoboza, L., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V., Román, J., & Pérez, A. (2007). Morfométrica de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. TECNOCENCIA México, 1(3), 21-31. Obtenido de
<http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v1n3/data/5-morfometria-de-la-cuenca.pdf>
- Zubieta, R. (2013). Modelado hidrológico distribuido de la cuenca amazónica peruana utilizando precipitación obtenida por satélite. Lima: Tesis de grado de maestro publicado. Universidad Nacional Agraria la Molina.

ANEXOS

Anexo A. Precipitaciones mensuales en estaciones de referencia

Tabla 4.2.1. *PP mensual en estaciones de referencia en (mm)*

N°	Estación	Altitud (msnm)	Meses												Total Anual
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	Wayllapampa	2470	124.88	129.89	112.25	32.77	9.50	4.21	6.44	12.23	23.39	32.98	57.58	85.76	631.87
2	Huanta	2682	96.06	100.40	88.01	36.14	9.52	7.26	8.28	11.29	15.78	34.96	41.63	84.22	533.55
3	Huamanga	2761	105.80	112.31	96.96	31.42	15.04	5.38	8.12	11.55	29.09	37.10	57.22	76.22	586.20
4	Chuschi	3141	174.34	177.08	136.55	54.20	15.69	4.45	9.02	17.62	32.06	51.53	52.44	117.10	842.07
5	Lircay	3150	144.33	141.20	120.84	59.23	25.98	13.23	14.99	20.76	45.47	58.37	62.42	103.16	809.99
6	Huancapi	3186	139.90	150.84	129.16	40.79	11.15	4.66	7.10	17.13	27.84	34.30	43.67	89.03	695.57
7	S. P. de Cachi	3188	263.96	267.18	246.72	67.09	13.03	16.81	18.03	24.49	40.94	88.08	136.40	169.14	1351.88
8	Acobamba	3236	131.00	122.64	103.35	36.73	22.13	11.21	10.80	17.76	37.45	59.89	67.37	89.40	709.74
9	Vischongo	3278	145.26	174.93	165.39	31.47	15.49	5.07	5.71	22.72	31.67	56.82	60.58	92.44	807.57
10	Tambillo	3295	136.62	152.14	121.21	48.02	13.78	6.65	11.76	12.25	26.98	48.04	66.20	112.08	755.75
11	Quinua	3316	142.89	143.87	134.66	40.32	19.71	9.22	10.86	14.13	37.24	55.21	66.78	108.64	783.52
12	Paras	3330	154.71	193.41	152.99	53.53	13.93	3.42	6.26	16.27	52.77	52.36	67.76	98.74	866.14
13	Pampa Cangallo	3374	153.97	154.37	138.77	51.58	8.39	4.48	7.42	11.67	28.11	38.69	61.36	105.31	764.12
14	Vilcashuamán	3394	161.54	153.73	127.11	41.72	13.83	7.26	5.56	13.14	33.35	42.26	55.40	100.32	755.24
15	Pucaloma	3489	123.25	147.25	116.85	38.53	9.52	6.99	10.81	8.09	22.79	45.05	52.47	85.30	666.90
16	S. P. de Quicato	3497	170.44	167.07	145.31	69.65	15.13	9.00	13.65	14.71	26.49	56.39	77.33	116.63	881.80
17	Chiara	3510	138.92	136.13	128.60	53.22	12.78	6.06	12.51	18.00	26.08	51.87	62.49	103.58	750.26
18	Allpachaca	3541	145.84	144.01	156.78	49.20	18.88	6.49	10.55	16.70	32.02	56.04	60.91	115.20	812.62
19	Putacca	3571	177.55	166.77	145.80	47.01	23.07	12.10	21.62	21.52	31.83	64.85	76.04	136.95	925.10
20	Sachabamba	3584	158.28	158.77	140.51	48.24	9.85	5.03	8.16	11.16	27.13	40.24	63.93	112.87	784.18
21	Huancavelica	3676	136.79	151.33	157.48	63.57	17.76	12.48	13.89	25.23	52.24	67.36	72.58	114.12	884.84
22	Cuchoquesera	3737	165.76	172.57	153.31	60.48	15.22	8.16	14.84	21.05	28.54	54.26	58.55	108.99	861.74
23	Luricocha	3790	96.52	84.40	69.84	32.72	8.52	8.00	4.69	7.74	23.09	33.23	43.79	55.47	468.02

N°	Estación	Altitud	Meses												Total
24	Tunsulla	3985	223.10	224.79	211.62	101.05	31.16	18.04	20.15	38.78	59.59	103.38	100.71	170.33	1302.71
25	Choccoro	4038	161.13	197.28	182.44	68.06	27.92	15.75	20.45	27.97	46.68	75.57	64.43	143.02	1030.71
26	Chaquiccocha	4039	157.51	198.27	201.28	60.96	23.20	8.33	24.61	24.64	55.91	61.81	66.90	146.61	1030.02
27	Libertadores	4090	196.14	160.88	168.43	82.57	22.33	12.90	4.20	8.00	20.78	57.89	59.22	98.63	891.97
28	Totora	4100	125.27	133.64	104.45	46.20	18.09	4.15	4.80	7.65	25.23	32.48	41.35	80.47	623.79
29	Apacheta	4185	168.97	138.27	132.83	45.82	14.32	5.21	5.93	15.92	55.52	55.17	52.25	143.18	833.39
30	Hornada	4430	142.44	145.56	121.41	47.27	11.87	5.46	3.73	12.08	16.86	41.55	62.53	87.27	698.01
31	Tunel cero	4512	150.13	154.85	144.01	73.18	19.51	6.42	5.87	12.15	26.86	47.87	68.49	113.82	823.17
32	Choclococha	4556	141.14	159.62	149.24	76.28	23.38	13.98	7.05	20.50	31.45	58.81	62.04	95.31	838.80

Se muestra el promedio de la precipitación media mensual observada en 32 estaciones pluviométricas cercanas a las zonas en estudio, con los cuales se procedió a verificar la eficiencia de regionalización de datos de precipitación media de las cuencas hidrográficas de las principales bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú.

**Anexo B. Registro de PP mensuales en zona homogénea a la cuenca
alta de la Irrigación Cachi**

Tabla 4.2.2. *PP mensual en estación Choccoro (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	157.5	148.8	196.4	34.6	72.7	32.0	18.0	30.5	64.1	68.9	59.8	126.3	1009.60
2	1976	171.1	199.6	182.2	35.6	17.9	27.6	96.7	56.2	139.3	6.2	14.5	123.4	1070.30
3	1977	74.6	206.3	146.5	35.7	28.2	1.5	26.2	2.1	82.6	41.9	122.5	114.7	882.80
4	1978	151.3	110.2	108.1	41.0	7.7	19.2	9.8	30.2	70.8	107.9	80.5	123.8	860.50
5	1979	76.2	147.6	182.2	30.4	15.7	17.1	34.4	59.1	26.9	39.0	38.1	65.0	731.70
6	1980	115.4	81.3	136.2	25.8	24.0	27.5	222.3	48.2	104.3	171.0	50.3	88.5	1094.80
7	1981	119.5	211.0	127.5	72.8	21.6	8.9	1.5	320.2	62.6	84.5	79.0	182.7	1291.80
8	1982	147.3	190.4	139.9	56.9	3.7	11.9	23.3	143.3	106.5	144.0	63.8	32.6	1063.60
9	1983	64.2	61.3	140.7	99.2	31.9	18.2	6.1	13.3	35.3	34.8	24.3	121.6	650.90
10	1984	153.5	242.4	118.7	54.4	52.1	70.2	2.4	127.4	55.9	243.7	108.4	189.0	1418.10
11	1985	62.1	184.5	148.5	68.5	51.4	51.1	21.0	39.3	72.6	35.8	29.5	138.9	903.20
12	1986	200.1	232.6	196.1	71.6	52.2	9.7	81.6	142.7	59.2	45.2	30.4	106.8	1228.20
13	1987	175.6	63.1	65.9	36.7	16.6	14.1	167.2	51.3	10.6	43.3	36.0	65.0	745.40
14	1988	162.1	148.1	184.2	71.9	59.2	24.4	5.6	0.6	18.7	54.0	15.9	131.9	876.60
15	1989	159.8	115.6	138.0	64.5	25.7	24.9	2.6	249.5	96.6	136.9	33.8	48.4	1096.30
16	1990	112.9	28.6	66.8	30.3	141.4	170.8	73.4	177.7	160.6	116.0	97.3	138.5	1314.30
17	1991	130.0	188.3	164.3	54.0	32.9	15.7	17.0	14.3	27.2	86.2	53.3	59.7	843.01
18	1992	97.5	164.1	138.4	44.8	6.7	33.7	32.5	56.6	20.5	123.7	34.1	87.4	839.82
19	1993	194.0	142.1	211.0	95.5	43.3	13.6	37.1	37.6	61.0	112.4	101.1	196.3	1244.96
20	1994	161.6	173.6	190.4	72.6	30.2	8.5	1.3	6.2	40.2	42.0	51.1	94.4	872.09
21	1995	139.5	161.1	205.8	54.0	15.3	4.7	9.8	10.1	31.8	60.9	84.6	96.7	874.29
22	1996	162.8	204.7	207.9	74.3	16.1	2.0	3.7	34.1	33.7	60.8	34.0	124.3	958.40
23	1997	177.0	184.6	117.2	55.3	21.6	0.3	3.9	76.2	70.5	48.4	80.6	170.5	1006.20
24	1998	176.0	158.7	164.9	45.5	6.2	27.8	1.4	15.9	17.0	87.7	46.6	109.2	856.91

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	142.1	211.8	181.8	93.1	20.3	8.4	9.2	3.0	77.3	82.7	46.0	237.3	1112.97
26	2000	157.6	257.8	278.9	48.1	54.3	37.7	32.5	42.3	9.8	182.3	54.1	119.0	1274.26
27	2001	205.3	159.1	276.3	74.8	113.1	17.6	52.0	35.8	30.2	69.9	73.8	31.8	1139.57
28	2002	91.4	259.8	107.4	78.0	20.3	3.8	41.5	25.9	40.4	25.6	90.1	114.3	898.55
29	2003	81.3	208.4	141.6	88.2	22.3	34.1	33.6	45.0	34.1	95.7	45.3	65.4	894.97
30	2004	29.1	264.0	198.1	65.1	9.6	51.9	24.9	32.5	45.4	45.8	64.5	202.1	1032.91
31	2005	105.0	157.0	203.2	40.4	40.8	3.8	32.7	57.0	155.9	102.4	64.1	189.2	1151.46
32	2006	230.7	170.7	197.0	89.6	11.3	16.5	3.8	67.3	43.0	107.3	119.8	119.2	1176.10
33	2007	207.6	116.7	227.4	72.7	25.1	3.8	14.5	14.3	106.8	56.6	40.4	169.1	1055.01
34	2008	228.3	265.9	180.2	39.8	35.6	18.0	4.3	3.8	33.8	57.2	81.6	153.8	1102.27
35	2009	228.6	146.4	118.9	67.2	26.4	6.5	35.6	9.3	45.5	28.7	70.3	79.7	863.10
36	2010	185.3	120.4	179.0	89.0	28.3	1.4	1.7	5.8	18.8	37.6	33.5	216.7	917.50
37	2011	299.1	303.3	106.0	0.0	0.0	3.7	31.9	17.8	49.9	77.2	105.2	162.5	1156.60
38	2012	115.1	321.7	217.9	155.3	34.7	33.2	24.9	4.8	34.3	71.6	43.3	347.8	1404.62
39	2013	168.1	114.2	159.2	2.8	17.3	83.4	31.5	40.2	45.9	82.2	38.8	151.2	934.80
40	2014	270.8	172.0	143.7	55.6	38.0	11.2	36.3	66.4	133.8	102.0	76.8	136.0	1242.60
41	2015	265.1	227.9	182.1	103.7	55.9	3.5	8.7	6.5	8.5	31.6	55.5	53.9	1002.95
42	2016	6.5	25.6	29.5	63.2	9.6	59.0	8.1	22.5	15.1	29.8	14.5	113.6	397.00
Media		151.39	172.65	162.05	60.78	32.31	24.59	31.58	53.39	57.07	78.13	59.22	128.53	1018.63
Máximo		299.10	321.72	278.85	155.30	141.40	170.80	222.30	320.20	160.60	243.70	122.50	347.80	1418.10
Mínimo		6.50	25.60	29.50	0.00	0.00	0.28	1.26	0.60	8.50	6.20	14.50	31.80	397.00

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Choccoro completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Tabla 4.2.3. *PP mensual en estación Chaquiccocha (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	129.6	112.1	153.4	23.0	40.9	6.4	11.0	7.7	33.4	40.5	48.3	92.5	698.80
2	1976	140.8	150.3	142.3	23.6	10.1	5.5	59.1	14.2	72.7	3.7	11.7	90.4	724.40
3	1977	61.4	155.4	114.4	23.7	15.9	0.3	16.0	0.5	43.1	24.6	98.9	84.1	638.30
4	1978	124.5	83.0	84.5	27.3	4.3	3.8	6.0	7.6	36.9	63.4	65.0	90.7	597.00
5	1979	62.7	111.2	142.3	20.2	8.8	3.4	21.0	15.0	14.0	22.9	30.7	47.6	499.80
6	1980	94.9	61.3	106.3	17.1	13.5	5.5	135.8	12.2	54.4	100.5	40.6	64.9	707.00
7	1981	98.4	158.9	99.6	48.3	12.2	1.8	0.9	81.1	32.7	49.7	63.8	133.8	781.20
8	1982	121.2	143.5	109.2	37.8	2.1	2.4	14.2	36.3	55.5	84.7	51.5	23.9	682.30
9	1983	52.9	46.2	109.9	65.9	18.0	3.6	3.7	3.4	18.4	20.5	19.6	89.1	451.20
10	1984	126.3	182.6	92.7	36.1	29.3	14.1	1.5	32.3	29.2	143.3	87.5	138.5	913.40
11	1985	51.1	139.0	116.0	45.5	28.9	10.2	12.8	10.0	37.9	21.1	23.8	101.8	598.10
12	1986	164.7	175.2	153.1	47.6	29.3	2.0	49.8	36.2	30.9	26.6	24.5	78.2	818.10
13	1987	144.5	47.5	51.5	24.4	9.3	2.8	102.1	13.0	5.5	25.4	29.1	47.6	502.70
14	1988	133.4	111.6	143.9	47.8	33.3	4.9	3.4	0.1	9.8	31.7	12.9	96.6	629.40
15	1989	131.5	87.1	107.8	42.8	14.5	5.0	1.6	63.2	50.4	80.5	27.3	35.5	647.20
16	1990	92.9	21.6	52.1	20.1	79.6	34.2	44.8	45.0	83.8	68.2	78.6	101.5	722.40
17	1991	121.9	168.5	173.6	39.3	51.9	6.4	11.0	1.8	15.0	54.3	56.0	42.2	741.90
18	1992	71.0	131.7	91.4	26.1	3.0	11.5	38.0	20.0	8.1	96.8	38.9	67.6	604.10
19	1993	154.6	94.8	162.3	71.5	22.9	4.8	15.0	9.3	37.9	65.9	79.5	148.1	866.60
20	1994	129.7	130.9	144.4	51.2	17.8	2.2	9.2	1.7	31.3	24.6	39.9	72.1	655.00
21	1995	110.1	104.4	152.9	36.9	8.1	1.1	3.5	1.5	26.2	35.5	65.6	72.4	618.20
22	1996	132.0	129.4	155.1	51.4	9.4	0.5	3.3	8.7	21.7	34.5	29.8	99.0	674.80
23	1997	138.9	128.4	85.9	37.9	12.2	0.1	1.6	20.5	40.4	31.5	64.3	130.2	691.90
24	1998	154.8	133.4	142.1	34.4	3.3	9.8	0.5	4.1	12.7	52.9	40.2	84.6	672.80

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	114.5	154.2	142.3	65.5	13.5	2.2	6.0	0.9	47.9	50.3	37.6	133.5	768.40
26	2000	128.4	175.2	195.9	30.7	29.8	8.8	21.2	8.3	14.0	97.8	31.7	102.7	844.50
27	2001	366.2	184.6	230.6	69.9	86.2	16.2	25.0	28.6	39.8	44.6	64.5	95.5	1251.70
28	2002	106.4	371.5	242.4	62.2	21.4	15.5	73.3	23.3	112.2	141.0	140.8	243.8	1553.80
29	2003	67.0	176.9	119.2	73.0	16.0	0.0	0.0	35.6	26.3	10.9	93.8	155.0	773.65
30	2004	92.5	198.0	131.1	40.5	4.0	21.0	29.0	15.0	40.5	56.5	49.5	217.0	894.60
31	2005	97.4	259.5	296.6	47.0	10.0	0.5	7.0	24.5	116.0	79.5	55.0	97.0	1090.00
32	2006	116.9	188.3	175.0	121.0	8.2	10.4	0.0	51.7	25.2	73.1	92.5	107.1	969.40
33	2007	186.0	123.1	357.9	0.0	0.0	3.0	20.5	13.5	87.3	40.4	37.4	166.3	1035.40
34	2008	217.9	150.2	163.8	61.5	23.1	8.4	28.7	29.5	17.5	59.3	68.6	114.8	943.30
35	2009	167.3	132.3	94.9	73.5	39.9	0.0	38.0	0.0	0.0	51.0	0.0	123.0	719.90
36	2010	178.2	133.8	127.6	27.5	8.4	0.6	0.9	3.9	18.3	30.3	28.3	127.0	684.80
37	2011	179.4	227.3	165.1	14.8	3.4	0.7	15.4	4.0	27.6	34.7	65.8	112.9	851.10
38	2012	99.0	217.6	177.5	44.5	10.3	3.3	10.6	2.7	36.1	38.4	48.7	187.7	876.40
39	2013	117.3	122.0	113.7	19.6	24.8	14.8	22.8	9.3	18.7	40.4	38.5	128.9	670.80
40	2014	129.2	128.1	120.5	24.1	12.1	2.8	19.5	9.6	43.1	34.8	36.7	67.2	627.70
41	2015	110.5	108.9	101.6	34.9	19.2	2.8	23.0	7.9	28.1	22.0	32.2	88.9	580.00
42	2016	36.1	98.4	51.9	29.5	8.5	4.0	11.5	6.2	12.1	21.0	17.6	53.1	349.90
Media		125.10	141.85	140.34	41.42	19.46	6.13	21.86	17.14	36.01	50.70	49.22	103.67	793.44
Máximo		366.20	371.50	357.90	121.00	86.20	34.20	135.80	81.10	116.00	143.30	140.80	243.80	1553.80
Mínimo		36.10	21.60	51.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	23.90	349.90

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Chaquiccocha completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Tabla 4.2.4. *PP mensual en estación Apacheta (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	168.1	108.0	133.4	26.9	31.7	6.5	6.7	27.6	65.4	48.0	46.5	118.2	787.00
2	1976	182.6	144.8	123.8	27.7	7.8	5.6	36.2	50.8	142.2	4.3	11.3	115.4	852.50
3	1977	79.7	149.7	99.5	27.8	12.3	0.3	9.8	1.9	84.3	29.2	95.3	107.4	697.20
4	1978	161.5	79.9	73.5	31.9	3.3	3.9	3.7	27.2	72.2	75.2	62.7	115.8	710.80
5	1979	81.3	107.1	123.8	23.6	6.8	3.5	12.9	53.4	27.5	27.2	29.6	60.8	557.50
6	1980	123.1	59.0	92.5	20.0	10.5	5.6	83.1	43.6	106.5	119.1	39.1	82.9	785.00
7	1981	127.6	153.1	86.6	56.6	9.4	1.8	0.6	289.3	63.9	58.8	61.5	170.9	1080.10
8	1982	157.1	138.2	95.0	44.3	1.6	2.4	8.7	129.5	108.7	100.4	49.6	30.5	866.00
9	1983	68.6	44.5	95.6	77.2	13.9	3.7	2.3	12.0	36.0	24.2	18.9	113.8	510.70
10	1984	163.8	175.9	80.6	42.3	22.7	14.3	0.9	115.1	57.1	169.8	84.3	176.9	1103.70
11	1985	66.2	133.9	100.9	53.3	22.4	10.4	7.8	35.6	74.2	25.0	22.9	130.0	682.60
12	1986	213.5	168.8	133.2	55.7	22.7	2.0	30.5	129.0	60.5	31.5	23.6	99.9	970.90
13	1987	187.3	45.8	44.8	28.6	7.2	2.9	62.5	46.3	10.8	30.1	28.0	60.8	555.10
14	1988	173.0	107.5	125.2	56.0	25.8	5.0	2.1	0.5	19.1	37.6	12.4	123.4	687.60
15	1989	170.6	83.9	93.7	50.2	11.2	5.0	1.0	225.4	98.7	95.4	26.3	45.3	906.70
16	1990	120.5	20.8	45.3	23.6	61.6	34.7	27.4	160.6	164.0	80.8	75.7	129.6	944.60
17	1991	234.3	248.0	227.4	65.7	53.8	7.0	7.1	2.4	25.2	67.9	80.9	55.5	1075.20
18	1992	96.6	188.3	81.2	27.6	2.4	20.5	41.4	99.7	14.0	169.2	57.7	117.4	916.03
19	1993	206.0	83.1	146.0	86.5	18.5	5.2	6.7	17.1	80.8	75.9	77.0	209.9	1012.70
20	1994	171.5	101.5	131.7	65.8	12.9	3.3	0.2	2.8	53.3	28.4	38.9	101.0	711.30
21	1995	148.1	94.2	142.3	48.9	6.5	1.8	1.8	4.6	42.1	41.1	64.4	103.4	699.33
22	1996	172.8	119.7	143.8	67.3	6.9	0.8	0.7	15.5	44.6	41.0	25.9	132.9	771.99
23	1997	188.0	108.0	81.0	50.1	9.2	0.1	0.7	34.7	93.5	32.7	61.4	182.3	841.68
24	1998	186.9	92.8	114.1	41.3	2.6	10.7	0.3	7.2	22.5	59.2	35.5	116.7	689.74

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	150.8	123.8	125.8	84.4	8.7	3.2	1.7	1.4	102.4	55.9	35.0	114.7	807.77
26	2000	167.4	150.8	126.9	35.4	23.1	14.5	8.1	12.7	28.8	80.0	17.5	133.3	798.49
27	2001	218.2	73.7	150.5	37.2	36.9	5.8	6.1	11.2	43.8	31.2	57.6	94.2	766.52
28	2002	115.9	113.5	130.3	51.9	13.7	2.6	14.1	16.7	109.4	54.4	57.7	186.5	866.69
29	2003	127.5	115.0	145.6	79.9	16.2	0.2	0.3	22.2	48.4	24.3	26.0	154.3	759.81
30	2004	78.3	95.6	86.7	28.4	7.4	10.7	7.1	13.1	112.7	34.6	35.0	180.8	690.58
31	2005	98.3	63.4	121.5	30.7	8.0	0.0	2.5	10.5	39.0	47.5	39.2	157.2	617.72
32	2006	125.0	64.8	110.5	38.5	2.0	8.0	2.5	10.5	93.1	32.0	43.4	109.0	639.30
33	2007	111.6	101.6	166.8	95.0	38.0	4.5	0.0	16.3	76.0	76.8	48.8	174.1	909.43
34	2008	224.7	145.4	92.0	29.2	2.0	8.6	10.8	16.9	35.9	40.0	35.4	90.5	731.42
35	2009	178.5	224.0	110.8	77.8	44.0	6.0	17.2	13.8	32.7	69.9	120.8	175.6	1071.05
36	2010	271.2	164.9	123.8	2.8	1.2	0.2	0.0	9.9	42.0	46.1	46.6	173.1	881.86
37	2011	236.2	293.8	173.9	3.6	0.4	0.1	0.8	5.8	38.1	46.0	65.9	145.9	1010.50
38	2012	143.7	227.5	173.4	4.7	0.5	0.9	0.3	5.1	43.2	59.7	78.8	241.6	979.37
39	2013	234.9	186.9	149.2	31.0	59.5	45.3	20.5	43.4	21.6	78.2	48.5	186.6	1105.60
40	2014	221.8	148.1	169.3	66.4	25.0	10.3	33.2	68.8	97.1	82.6	66.3	137.7	1126.60
41	2015	253.1	167.2	142.2	106.8	47.0	18.8	15.3	28.4	66.4	61.5	49.0	181.4	1137.10
42	2016	73.9	231.4	88.3	91.4	23.3	14.2	14.5	25.3	0.0	62.2	45.4	93.5	763.40
Media		159.04	129.71	119.10	47.48	17.64	7.40	12.15	44.38	61.85	58.45	48.72	129.30	859.31
Máximo		271.20	293.80	227.35	106.80	61.60	45.30	83.10	289.30	164.00	169.80	120.80	241.60	1137.10
Mínimo		66.20	20.80	44.80	2.85	0.44	0.00	0.00	0.50	0.00	4.30	11.30	30.50	510.70

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Apacheta completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Tabla 4.2.5. *PP mensual en estación Choclococha (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	123.7	156.5	144.1	50.6	40.5	5.2	0.7	1.4	31.6	38.1	59.8	83.9	736.10
2	1976	182.6	150.7	120.0	34.3	6.5	13.9	20.7	32.5	47.1	5.2	4.6	101.8	719.90
3	1977	99.2	209.7	110.0	68.1	20.7	0.0	0.3	0.6	28.8	29.3	92.1	85.0	743.80
4	1978	103.8	87.9	74.8	39.3	5.6	3.6	1.2	1.0	19.1	29.9	81.4	64.4	512.00
5	1979	50.7	105.4	113.3	27.2	4.4	2.3	2.8	5.9	5.8	11.0	24.8	35.6	389.20
6	1980	84.4	48.7	46.7	33.3	28.0	16.2	62.0	39.8	30.3	64.6	81.3	21.2	556.50
7	1981	40.7	60.3	34.7	108.0	14.0	0.1	0.0	17.4	24.7	22.8	30.9	76.8	430.40
8	1982	63.4	243.2	170.2	22.4	2.0	2.9	4.3	132.9	57.7	17.8	3.3	1.2	721.30
9	1983	78.7	44.5	95.4	114.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	48.0	57.0	477.30
10	1984	180.5	291.1	130.5	91.2	48.5	38.9	0.7	106.0	30.8	208.6	124.0	154.2	1405.00
11	1985	79.7	47.0	20.6	18.1	4.3	28.2	1.0	0.2	13.3	33.3	35.9	113.5	395.10
12	1986	258.2	89.5	89.6	22.7	0.9	18.2	1.1	1.6	0.9	0.7	3.0	82.0	568.40
13	1987	248.3	70.6	103.3	33.6	2.9	0.0	18.7	11.6	4.0	16.5	21.0	46.3	576.80
14	1988	230.8	161.2	152.4	106.8	68.1	1.5	0.0	0.3	4.7	39.0	16.3	81.5	862.60
15	1989	104.4	68.6	88.9	44.2	14.0	8.3	0.5	25.0	32.0	69.0	41.3	24.1	520.30
16	1990	19.0	3.0	22.1	27.3	124.3	94.2	9.3	22.0	59.0	75.7	170.1	77.7	703.70
17	1991	105.1	212.3	83.7	71.9	120.5	21.7	0.0	0.0	2.0	26.6	18.1	28.0	689.90
18	1992	83.7	77.4	94.2	39.1	2.0	14.1	11.2	23.0	7.9	100.8	49.5	55.2	558.10
19	1993	123.3	121.7	146.8	170.7	18.4	28.0	8.5	34.8	63.8	96.7	99.8	58.8	971.30
20	1994	122.8	316.6	229.1	42.8	35.9	10.0	27.2	14.8	53.6	26.0	39.6	19.0	937.40
21	1995	28.9	125.6	171.6	93.4	16.1	0.0	0.0	1.0	24.0	57.4	63.9	59.8	641.70
22	1996	213.3	151.7	178.4	108.4	22.2	2.0	2.9	40.9	39.9	60.4	55.1	156.0	1031.20
23	1997	242.9	247.4	83.1	117.0	27.9	0.0	0.0	216.5	52.9	97.8	92.6	145.8	1323.90
24	1998	364.8	454.6	379.1	147.7	0.0	57.0	0.0	24.1	47.3	115.7	148.4	96.8	1835.50

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	231.1	377.5	227.0	196.4	51.5	10.8	14.1	10.0	77.2	185.3	67.5	198.6	1647.00
26	2000	189.0	238.5	269.0	113.7	15.0	2.0	31.0	34.0	41.6	154.1	72.0	152.2	1312.10
27	2001	263.9	104.9	150.6	141.9	26.3	15.0	15.0	3.0	58.8	94.1	122.0	95.1	1090.60
28	2002	97.5	262.9	290.3	78.9	18.0	35.1	21.2	4.0	40.3	78.6	69.4	133.1	1129.30
29	2003	273.8	373.6	354.8	119.5	44.0	0.0	14.1	5.0	8.6	33.1	22.4	158.0	1406.90
30	2004	57.4	202.0	169.1	78.3	4.0	34.7	12.8	27.3	80.2	74.7	90.0	182.6	1013.10
31	2005	126.0	131.5	211.2	56.5	7.0	0.0	0.0	9.0	17.2	38.7	45.2	213.3	855.60
32	2006	238.1	196.5	202.6	91.4	0.0	7.0	0.0	22.0	38.0	88.0	101.3	126.9	1111.80
33	2007	101.7	129.4	159.3	74.2	5.0	3.4	0.0	2.0	20.1	57.6	54.3	147.1	754.10
34	2008	296.1	183.0	120.7	71.7	3.1	17.0	4.3	43.5	18.3	58.4	47.7	89.9	953.70
35	2009	193.4	193.7	123.8	87.7	40.3	4.2	9.1	17.3	23.4	56.2	127.3	116.2	992.60
36	2010	246.2	180.5	148.7	55.8	12.2	1.6	0.4	13.9	15.5	41.5	37.8	123.7	877.80
37	2011	247.9	306.8	192.5	30.0	4.9	2.0	6.8	14.5	23.2	47.6	87.9	110.0	1074.10
38	2012	136.7	293.6	206.9	90.5	15.0	9.3	4.7	9.5	30.4	52.7	65.1	182.9	1097.30
39	2013	162.0	164.6	132.6	40.0	36.2	41.4	10.0	33.2	15.8	55.3	51.4	125.6	868.10
40	2014	178.5	172.9	140.5	49.1	17.7	7.7	8.5	34.1	36.4	47.7	49.0	65.5	807.60
41	2015	152.7	146.9	118.4	70.9	28.0	7.7	10.1	28.1	23.7	30.1	43.1	86.6	746.30
42	2016	49.8	132.8	60.5	60.0	12.4	11.1	5.1	22.3	10.2	28.8	23.5	51.8	468.30
Media		154.16	174.69	146.69	74.74	23.27	13.72	8.10	25.86	30.00	59.42	61.47	97.25	975.24
Máximo		364.80	454.60	379.10	196.40	124.30	94.20	62.00	216.50	80.20	208.60	170.10	213.30	1835.50
Mínimo		19.00	3.00	20.60	18.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	3.00	1.20	389.20

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Choclococha completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú.

Tabla 4.2.6. *PP mensual en estación Tunel Cero (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	165.2	134.3	150.9	42.3	54.0	15.6	1.4	3.5	25.8	38.6	36.1	84.6	752.30
2	1976	149.0	166.9	98.2	39.0	5.7	8.7	13.1	14.2	29.7	3.4	27.1	110.0	665.00
3	1977	66.4	156.3	90.0	59.2	25.3	1.4	5.4	0.0	63.8	41.1	120.8	92.7	722.40
4	1978	145.5	83.4	83.8	51.1	5.5	1.7	1.2	12.6	50.4	76.1	106.2	101.1	718.60
5	1979	60.8	155.9	111.4	35.5	7.1	9.7	3.5	13.0	15.0	23.1	72.6	71.6	579.20
6	1980	114.4	106.6	144.5	49.1	17.9	11.5	21.2	6.9	38.9	113.6	56.0	66.2	746.80
7	1981	107.6	179.1	102.0	36.9	11.1	4.6	0.1	74.0	18.4	69.2	84.6	141.9	829.50
8	1982	149.2	187.0	62.5	90.2	5.8	1.6	2.5	21.7	43.0	80.4	128.1	18.7	790.70
9	1983	61.9	52.8	120.8	151.3	20.1	4.0	0.6	1.5	9.8	37.6	33.7	186.8	680.90
10	1984	152.1	328.4	151.0	103.7	41.7	23.2	0.4	22.1	22.9	146.6	140.0	133.2	1265.30
11	1985	85.0	137.6	161.3	68.5	45.1	24.6	2.2	7.3	26.9	32.6	36.3	117.4	744.80
12	1986	189.9	234.3	143.0	99.0	31.5	4.5	20.6	27.2	20.4	30.2	24.2	81.5	906.30
13	1987	184.4	70.0	73.4	62.5	4.8	1.6	25.8	6.5	4.3	16.2	31.0	46.0	526.50
14	1988	156.6	118.3	129.3	110.2	44.2	8.9	0.3	0.1	3.9	32.4	17.2	97.9	719.30
15	1989	140.9	94.6	108.8	82.4	18.8	17.3	0.3	46.6	23.9	87.8	38.2	40.7	700.30
16	1990	101.1	27.3	54.8	37.4	100.2	60.0	12.1	32.9	62.2	71.5	91.6	117.1	768.20
17	1991	97.0	166.9	136.9	70.7	99.2	16.7	2.6	0.2	10.7	53.7	52.2	28.2	735.00
18	1992	65.5	61.7	69.1	41.2	1.3	7.2	4.5	12.6	5.9	70.8	50.1	53.0	442.90
19	1993	282.3	175.5	256.1	263.3	19.2	10.2	2.7	9.9	33.0	74.7	120.9	155.8	1403.60
20	1994	148.9	254.0	154.3	80.4	34.6	3.4	10.9	3.0	43.9	26.8	54.0	72.3	886.50
21	1995	104.1	111.8	103.9	78.2	8.7	0.0	0.2	0.3	38.1	41.2	87.4	70.4	644.30
22	1996	157.4	129.8	141.6	106.2	34.0	0.0	5.8	10.8	23.4	32.9	36.8	114.0	792.70
23	1997	125.9	128.0	80.0	45.6	23.1	0.0	0.3	24.5	27.5	43.5	77.2	132.5	708.10
24	1998	219.7	139.6	138.4	45.3	0.0	11.9	0.0	6.4	16.1	43.4	74.2	91.3	786.30

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	108.8	219.9	160.6	78.4	49.5	0.5	1.9	1.3	22.3	100.1	32.6	146.8	922.70
26	2000	200.9	228.0	191.4	53.4	31.6	0.0	9.1	6.0	29.4	102.0	48.9	160.0	1060.70
27	2001	242.7	128.8	163.0	78.4	11.2	8.0	12.7	4.9	27.4	43.1	100.9	72.3	893.40
28	2002	92.8	179.0	162.5	50.3	31.2	8.4	21.6	5.6	38.3	38.5	71.6	111.5	811.30
29	2003	107.5	157.9	139.8	51.9	10.1	0.6	1.3	4.9	2.1	60.2	40.3	171.2	747.80
30	2004	46.8	171.0	134.0	116.2	6.0	9.9	3.6	6.9	41.8	25.6	55.7	169.7	787.20
31	2005	97.2	115.9	254.4	40.0	8.7	0.0	0.0	2.2	13.6	13.6	45.6	128.0	719.20
32	2006	160.5	132.8	136.1	74.8	0.7	16.2	0.0	10.3	23.3	55.8	78.1	121.6	810.20
33	2007	122.7	113.5	208.3	72.4	22.3	4.0	3.1	6.4	25.6	41.0	49.9	110.7	779.90
34	2008	201.1	153.7	105.9	30.7	5.0	13.5	0.1	13.0	9.9	41.0	42.4	111.1	727.40
35	2009	145.4	147.4	98.0	72.6	30.6	0.1	5.3	3.8	16.2	53.9	191.5	161.7	926.50
36	2010	196.1	166.9	99.8	50.9	9.2	1.3	0.3	3.4	11.0	29.3	34.8	104.3	707.30
37	2011	193.7	238.5	147.1	28.6	4.2	1.2	3.8	2.8	16.7	33.8	87.8	107.7	865.90
38	2012	106.8	228.2	158.2	86.3	12.8	5.7	2.6	1.8	21.8	37.4	65.0	179.1	905.70
39	2013	126.6	128.0	101.4	38.1	30.8	25.3	5.6	6.3	11.3	39.3	51.3	122.9	686.90
40	2014	139.5	134.4	107.4	46.8	15.1	4.7	4.8	6.5	26.1	33.9	49.0	64.1	632.30
41	2015	119.3	114.2	90.5	67.6	23.9	4.7	5.7	5.3	17.0	21.4	43.0	84.8	597.40
42	2016	38.9	103.2	46.2	57.2	10.6	6.8	2.8	4.3	7.3	20.4	23.4	50.7	371.80
Media		135.19	149.08	127.87	70.09	23.15	8.55	5.29	10.80	24.26	49.47	64.48	104.84	777.27
Máximo		282.30	328.40	256.10	263.30	100.20	60.00	25.80	74.00	63.80	146.60	191.50	186.80	1403.60
Mínimo		38.90	27.30	46.20	28.60	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	3.40	17.20	18.70	371.80

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Tunel Cero completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú.

Tabla 4.2.7. *PP mensual en estación Hornada (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	134.2	114.3	103.1	17.9	12.8	4.9	0.5	1.5	13.2	17.5	47.8	67.5	535.20
2	1976	137.0	144.7	82.5	15.5	2.0	4.3	5.0	4.2	20.4	1.8	12.6	78.1	508.10
3	1977	64.9	149.4	76.3	24.8	6.3	0.3	1.2	0.1	20.0	14.6	92.8	67.7	518.40
4	1978	122.4	73.1	59.9	18.7	1.7	1.7	0.5	2.4	16.2	26.3	73.8	71.1	467.80
5	1979	56.5	107.8	84.5	14.2	2.6	2.7	1.3	3.7	5.6	9.0	35.8	38.7	362.40
6	1980	95.1	62.2	71.8	14.4	6.1	4.8	19.2	1.2	17.3	83.9	43.8	105.4	525.20
7	1981	147.9	208.1	126.3	77.3	1.5	0.0	0.0	27.2	3.0	15.3	105.9	106.2	818.70
8	1982	188.2	207.7	182.0	40.0	0.0	0.0	0.0	15.0	23.0	81.0	94.0	24.2	855.10
9	1983	80.4	68.8	156.4	99.5	10.6	2.0	0.2	0.6	5.0	3.2	20.8	131.0	578.50
10	1984	122.1	207.4	78.1	34.1	13.8	10.9	0.1	9.5	11.7	83.3	95.4	144.5	810.90
11	1985	46.9	219.4	154.2	40.0	13.0	7.0	0.8	6.7	14.5	10.8	35.7	91.7	640.70
12	1986	283.1	305.6	156.6	58.3	19.0	0.0	2.5	17.3	6.9	16.6	29.0	65.7	960.60
13	1987	181.0	94.4	54.4	26.4	0.5	0.0	15.7	2.8	2.2	7.9	25.3	31.6	442.20
14	1988	128.7	96.9	98.8	56.5	13.6	8.5	0.0	0.0	0.8	20.5	14.2	87.3	525.80
15	1989	172.9	120.0	122.5	31.0	3.4	0.8	0.0	43.3	23.7	95.4	40.7	42.4	696.10
16	1990	171.3	20.1	79.8	15.4	37.6	32.7	8.0	30.0	40.2	53.0	94.8	101.7	684.60
17	1991	87.0	160.6	160.1	32.2	40.9	12.4	1.7	0.0	8.4	44.0	57.1	11.8	616.20
18	1992	42.7	27.1	31.8	18.7	0.0	0.0	0.3	8.3	3.0	38.5	40.4	42.5	253.30
19	1993	160.1	107.8	141.2	111.9	6.4	3.6	0.0	6.7	10.1	63.1	137.7	210.1	958.70
20	1994	199.3	308.4	108.3	36.2	17.4	0.5	4.0	1.3	25.3	20.3	55.1	93.9	870.00
21	1995	142.7	73.2	127.3	31.6	0.3	0.0	0.0	0.0	29.1	24.9	88.4	61.5	579.00
22	1996	142.4	127.5	107.1	41.1	7.1	0.3	1.2	4.0	12.8	18.3	40.6	89.6	592.00
23	1997	128.8	145.0	55.7	28.8	7.5	0.0	0.1	13.2	17.0	25.2	69.7	106.0	597.00
24	1998	216.5	205.3	144.1	32.8	0.2	9.7	0.0	2.2	11.8	31.0	77.7	71.4	802.70

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	122.7	217.9	122.2	50.6	13.5	1.7	1.5	0.6	22.2	52.8	42.3	127.0	775.00
26	2000	151.3	187.4	150.4	29.7	7.2	1.8	4.1	2.8	14.8	55.4	39.4	113.0	757.30
27	2001	207.1	107.6	121.8	37.5	7.9	4.4	3.4	1.8	14.7	25.4	81.4	62.1	675.10
28	2002	79.4	176.6	125.6	28.8	7.0	6.1	5.2	1.7	18.5	22.2	60.2	96.0	627.30
29	2003	134.7	183.9	141.5	38.4	7.1	0.5	1.5	2.2	3.7	20.1	30.0	117.3	680.90
30	2004	46.7	150.3	101.9	33.9	1.8	9.0	1.9	2.7	24.9	18.9	57.9	132.9	582.80
31	2005	88.8	99.9	131.3	19.4	2.9	0.1	0.2	1.5	9.0	14.2	37.7	124.0	529.00
32	2006	158.0	129.0	111.6	36.1	0.4	5.3	0.0	4.0	13.3	29.5	74.8	94.1	656.10
33	2007	112.1	97.3	140.5	30.6	4.7	2.0	0.6	1.6	12.2	22.0	44.3	101.2	569.10
34	2008	197.9	135.9	78.6	18.7	1.8	6.8	0.6	3.9	7.0	22.3	39.0	69.1	581.60
35	2009	138.9	138.0	74.2	34.6	11.6	1.2	2.0	1.5	8.9	21.5	103.9	89.3	625.60
36	2010	180.8	129.6	88.3	20.6	2.4	0.4	0.1	1.0	4.4	16.2	30.3	98.9	573.00
37	2011	182.1	220.1	114.4	11.1	1.0	0.4	1.3	1.1	6.6	18.6	70.5	87.9	715.10
38	2012	100.4	210.7	123.0	33.4	2.9	2.0	0.9	0.7	8.6	20.6	52.2	146.1	701.50
39	2013	119.0	118.1	78.8	14.7	7.0	9.0	2.0	2.4	4.5	21.6	41.2	100.3	518.60
40	2014	131.1	124.1	83.5	18.1	3.4	1.7	1.7	2.5	10.3	18.7	39.3	52.3	486.70
41	2015	112.2	105.4	70.4	26.2	5.4	1.7	2.0	2.1	6.7	11.8	34.5	69.2	447.60
42	2016	36.6	95.3	36.0	22.1	2.4	2.4	1.0	1.6	2.9	11.2	18.8	41.3	271.60
Media		132.19	142.43	106.11	33.85	7.49	3.90	2.20	5.64	12.72	29.25	55.40	87.23	618.94
Máximo		283.10	308.40	182.00	111.90	40.90	32.70	19.20	43.30	40.20	95.40	137.70	210.10	960.60
Mínimo		36.60	20.10	31.80	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	1.80	12.60	11.80	253.30

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica Hornada completados con el método de vector regional que se encuentra en la zona homogénea dentro la cuenca alta de la Irrigación Cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú.

Anexo C. Precipitación en las cuencas hidrográficas en estudio

Tabla 4.2.8. *PP mens. en microcuena bocatoma Choccoro (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	157.4	135.4	176.8	31.8	59.6	23.2	14.5	27.6	61.6	61.1	55.5	121.2	925.70
2	1976	171.4	181.2	164.1	32.6	14.7	20.1	78.2	51.1	134.0	5.5	13.3	118.4	984.60
3	1977	74.9	187.8	132.0	32.8	23.1	1.1	21.1	1.9	79.3	37.2	113.4	110.1	814.70
4	1978	151.1	100.1	97.3	37.5	6.3	13.9	7.9	27.3	67.9	95.5	74.6	118.6	798.00
5	1979	76.1	133.9	164.0	27.8	12.8	12.4	27.8	53.5	25.8	34.5	35.1	62.2	665.90
6	1980	115.3	73.6	122.1	23.6	19.8	20.0	179.7	43.9	100.2	151.2	46.8	84.3	980.50
7	1981	118.8	190.5	114.0	66.7	17.7	6.4	1.2	289.7	60.3	74.8	72.6	174.8	1187.50
8	1982	146.4	173.2	125.9	51.7	3.0	8.6	18.8	130.6	102.5	127.0	58.3	31.1	977.10
9	1983	64.2	55.5	126.1	90.5	26.1	13.2	4.9	12.0	33.8	30.9	22.7	115.9	595.80
10	1984	153.9	220.5	107.0	49.9	42.8	51.1	1.9	116.0	53.8	216.6	100.5	181.3	1295.30
11	1985	62.3	166.3	132.5	62.3	41.9	37.2	16.9	35.6	69.7	31.8	27.3	133.3	817.10
12	1986	200.0	209.6	175.8	65.0	42.5	7.2	65.8	129.1	56.8	39.9	28.0	102.5	1122.20
13	1987	176.0	57.1	59.6	33.5	13.6	10.2	135.0	46.5	10.2	38.4	33.3	62.4	675.80
14	1988	162.8	134.9	166.0	65.9	48.8	17.6	4.5	0.5	18.0	47.9	14.7	126.4	808.00
15	1989	159.3	104.6	123.8	58.9	21.1	18.1	2.1	225.7	92.8	121.0	31.3	46.3	1005.00
16	1990	111.8	25.8	59.6	27.7	116.2	124.2	59.2	160.8	154.3	102.8	90.7	132.6	1165.70
17	1991	155.4	201.7	180.4	55.8	40.4	12.7	14.0	10.2	25.5	78.4	60.2	57.1	891.80
18	1992	95.0	167.5	120.1	38.8	5.3	28.4	35.3	64.0	17.7	133.0	40.5	93.1	838.70
19	1993	192.7	122.8	190.0	91.0	35.3	10.8	27.5	30.0	64.1	99.1	92.8	194.0	1150.10
20	1994	160.5	151.5	172.2	68.9	24.8	6.7	1.9	5.0	42.8	37.0	46.9	93.4	811.60
21	1995	138.1	139.4	185.3	51.5	12.5	3.7	7.2	7.9	33.8	53.7	77.5	96.0	806.60
22	1996	162.9	176.5	187.4	70.8	13.2	1.6	2.9	27.3	35.5	53.6	31.7	124.5	887.90
23	1997	177.0	160.9	105.4	53.0	17.8	0.2	2.9	62.0	73.7	43.4	74.4	169.9	940.60
24	1998	177.8	141.7	151.8	44.2	5.0	22.2	1.0	12.8	18.2	77.9	43.7	108.9	805.20

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	142.5	185.5	164.8	89.4	17.0	6.6	7.1	2.5	81.2	73.8	42.6	197.3	1010.30
26	2000	157.5	223.5	233.9	43.9	44.2	29.2	25.5	31.9	15.1	149.4	43.0	121.2	1118.30
27	2001	224.3	140.2	240.7	65.6	91.7	14.6	38.1	29.0	34.8	58.3	69.1	53.7	1060.10
28	2002	99.1	234.7	127.2	70.4	18.8	4.8	37.8	23.4	64.7	44.3	86.9	145.0	957.10
29	2003	92.5	183.5	142.1	85.3	20.4	22.4	22.2	38.4	37.0	69.8	45.0	96.3	854.90
30	2004	47.5	216.1	164.4	53.7	8.5	38.9	21.0	26.1	62.2	44.4	55.9	198.6	937.30
31	2005	102.9	143.7	192.1	38.9	29.7	2.5	22.7	42.4	123.0	86.8	57.1	173.1	1014.90
32	2006	194.1	146.4	174.0	80.2	8.7	13.8	3.1	51.8	54.0	85.7	98.3	115.7	1025.80
33	2007	181.5	113.7	224.9	71.6	25.9	3.9	11.5	14.7	97.4	60.4	42.3	170.4	1018.20
34	2008	227.1	225.1	156.9	39.6	26.1	14.8	8.3	9.8	32.9	53.4	68.9	134.4	997.30
35	2009	210.7	164.8	114.9	70.8	32.3	5.8	31.3	9.7	38.1	41.3	76.1	107.9	903.70
36	2010	206.6	133.1	160.8	61.8	19.7	1.0	1.2	6.7	24.6	39.2	36.3	197.5	888.50
37	2011	272.5	294.3	129.1	2.4	0.5	2.5	22.6	13.6	45.0	65.6	91.7	153.8	1093.60
38	2012	121.0	288.9	203.6	107.5	23.9	22.3	17.4	4.7	36.9	65.7	52.8	306.3	1251.00
39	2013	180.3	133.4	152.8	11.6	28.7	67.6	28.0	38.3	37.3	77.5	41.2	158.1	954.80
40	2014	245.5	162.2	148.3	55.5	32.4	10.2	34.0	61.9	116.2	91.0	70.4	130.0	1157.60
41	2015	247.7	201.8	164.9	98.2	50.3	7.3	11.8	12.3	25.0	38.3	51.7	89.2	998.50
42	2016	26.2	84.2	46.5	67.3	13.0	42.6	10.1	21.8	11.1	37.2	22.5	102.9	485.40
Media		150.97	159.22	149.55	55.85	27.53	18.61	25.85	47.86	56.40	70.82	55.66	126.42	959.95

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica virtual en la microcuenca de la bocatoma Choccoro que se encuentra en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, fueron generados con la interpolación de Kriging, a partir de datos históricos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel Cero y Hornada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.9. *PP mens. en subcuenca de bocat. Chicllarazo (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	146.8	119.4	157.3	26.3	45.4	12.7	11.4	18.4	48.7	48.8	50.5	106.9	792.60
2	1976	158.4	160.8	145.7	27.2	11.2	10.8	61.3	33.5	106.1	4.4	12.4	104.5	836.30
3	1977	68.9	165.4	117.3	27.0	17.6	0.6	16.7	1.2	63.1	29.7	103.7	97.2	708.40
4	1978	141.0	88.5	86.8	31.4	4.8	7.5	6.2	18.2	54.1	76.8	68.2	105.2	688.70
5	1979	70.9	119.0	145.9	23.3	9.8	6.8	21.8	35.7	20.6	27.7	32.5	55.2	569.20
6	1980	107.5	65.8	109.9	19.6	14.8	10.7	140.8	28.5	79.5	122.7	42.0	77.4	819.20
7	1981	113.7	173.3	104.9	56.4	13.4	3.5	1.0	193.7	47.4	60.0	68.8	155.6	991.70
8	1982	140.0	154.0	114.3	44.5	2.3	4.7	14.7	84.8	80.9	104.3	56.1	28.1	828.70
9	1983	60.2	50.2	115.4	77.3	20.2	7.2	3.9	8.1	27.0	24.3	20.2	105.3	519.30
10	1984	141.8	194.5	94.8	41.3	32.4	27.4	1.5	75.5	42.5	172.0	91.4	160.9	1076.00
11	1985	57.2	152.8	122.7	53.5	32.6	19.9	13.3	24.0	55.6	25.2	25.1	117.8	699.70
12	1986	188.4	193.0	159.6	56.3	33.3	3.6	51.9	86.6	45.3	32.6	26.2	90.5	967.30
13	1987	162.8	52.0	52.5	28.4	10.4	5.6	106.4	30.8	8.1	30.6	30.5	54.9	573.00
14	1988	149.1	118.2	147.4	55.2	36.5	9.9	3.5	0.3	14.2	38.3	13.5	112.2	698.30
15	1989	150.4	94.6	112.3	49.7	16.0	9.7	1.7	151.5	73.9	98.9	28.8	41.6	829.10
16	1990	108.7	23.4	55.3	23.3	88.0	66.9	46.7	107.8	122.7	82.6	81.5	118.3	925.20
17	1991	152.6	193.3	186.4	49.1	46.3	8.8	11.4	5.0	20.7	65.8	62.5	49.3	851.20
18	1992	83.1	152.1	98.4	30.6	3.7	18.9	36.8	49.5	12.5	120.5	42.5	84.9	733.50
19	1993	178.4	103.3	169.5	81.0	26.3	6.7	17.9	17.8	53.5	79.4	85.6	179.5	998.90
20	1994	150.8	136.2	149.9	60.0	19.2	3.8	4.4	2.9	38.7	29.7	42.9	86.7	725.20
21	1995	129.6	114.4	162.0	43.2	9.1	2.2	4.6	4.4	31.9	42.5	70.7	86.3	700.90
22	1996	149.3	144.9	163.2	60.0	10.1	0.9	2.7	16.1	30.1	41.7	29.7	112.9	761.60
23	1997	159.2	135.5	91.4	43.8	13.3	0.1	1.9	34.5	60.8	34.7	67.3	152.8	795.30
24	1998	167.0	126.1	136.7	37.1	3.8	13.7	0.7	7.4	15.7	61.4	40.0	98.5	708.10

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	129.2	158.8	145.7	74.7	13.3	3.8	5.4	1.4	68.2	57.6	38.7	152.8	849.60
26	2000	145.5	188.5	195.6	34.9	33.6	17.3	19.9	17.2	16.4	111.7	33.1	114.2	927.90
27	2001	284.6	148.1	218.7	60.4	78.4	13.5	26.2	25.4	37.4	45.9	64.6	78.5	1081.70
28	2002	104.5	272.1	175.5	62.1	18.7	8.6	48.7	21.8	92.1	87.3	105.2	194.2	1190.80
29	2003	85.2	165.5	128.6	76.7	16.9	8.4	8.2	33.9	33.6	35.2	63.3	131.6	787.10
30	2004	72.4	185.8	134.4	42.5	6.2	25.3	21.7	18.2	59.5	46.7	49.0	201.8	863.50
31	2005	98.8	180.0	224.0	40.1	16.9	1.2	12.0	28.3	103.9	75.4	52.7	134.4	967.70
32	2006	146.3	149.6	161.1	89.5	7.2	11.2	1.6	43.7	46.8	69.1	85.6	109.8	921.50
33	2007	170.8	115.0	272.2	42.5	16.2	3.5	13.4	14.2	87.9	53.1	41.1	167.3	997.20
34	2008	220.4	176.4	147.0	46.2	20.3	10.6	17.5	18.9	26.0	52.6	62.5	117.0	915.40
35	2009	184.0	159.0	103.9	71.6	36.8	3.1	31.3	5.7	19.6	49.5	50.1	125.2	839.80
36	2010	203.3	137.8	137.7	35.5	11.2	0.7	0.9	5.7	24.3	35.6	34.3	160.3	787.30
37	2011	222.7	261.9	150.9	7.9	1.7	1.2	15.3	7.6	35.2	47.4	75.3	133.0	960.10
38	2012	114.1	244.3	184.2	60.2	13.4	9.9	11.2	3.7	36.8	51.4	55.1	239.9	1024.20
39	2013	160.0	136.3	132.8	18.0	31.3	39.0	23.9	25.2	25.7	59.8	41.1	148.7	841.80
40	2014	187.5	143.3	137.5	42.3	21.5	6.7	26.8	38.5	78.6	63.1	54.2	102.1	902.10
41	2015	185.2	152.7	130.8	69.8	34.9	7.1	17.0	12.4	32.7	34.3	42.2	104.0	823.10
42	2016	38.5	114.8	55.3	53.3	12.4	20.0	11.2	14.8	9.4	33.5	24.1	78.2	465.50
Media		140.21	145.73	138.94	46.99	21.70	10.80	21.32	32.69	47.33	58.66	51.54	116.08	857.71

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica virtual en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo que se encuentra en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, fueron generados con la interpolación de Kriging, a partir de datos históricos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel Cero y Hornada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.10. *PP mens. en subcuenca de bocat. Apacheta (1975-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	161.9	110.9	132.8	27.3	31.6	6.4	6.0	22.8	57.2	44.5	46.6	110.6	758.60
2	1976	175.8	145.6	120.2	27.1	7.3	5.7	33.3	43.3	122.0	4.1	11.7	110.5	806.60
3	1977	77.8	151.7	98.2	29.8	12.7	0.3	8.9	1.6	74.7	28.2	95.9	101.8	681.60
4	1978	154.1	79.7	73.2	31.6	3.4	3.5	3.4	22.8	63.5	69.2	65.7	108.8	678.90
5	1979	76.7	108.7	120.6	23.2	6.5	3.5	11.6	44.4	23.9	24.8	31.5	57.9	533.30
6	1980	117.9	60.6	91.7	20.9	11.1	5.9	77.1	37.2	92.0	112.9	41.5	80.7	749.50
7	1981	123.8	154.6	88.6	58.5	9.1	1.6	0.5	240.8	54.7	54.0	64.5	159.7	1010.40
8	1982	153.9	148.4	103.0	44.4	1.7	2.1	7.9	111.8	95.3	94.1	54.1	28.2	844.90
9	1983	68.7	46.5	101.3	82.0	13.8	3.3	2.1	9.9	30.6	23.1	20.6	114.3	516.20
10	1984	158.9	187.5	85.0	45.2	23.7	14.6	0.8	98.8	50.1	161.8	88.5	169.8	1084.70
11	1985	65.1	137.0	104.6	51.1	22.0	10.9	7.0	29.7	64.0	24.2	24.7	124.5	664.80
12	1986	216.5	178.1	134.3	55.7	22.1	2.4	27.7	107.3	51.4	28.9	23.3	94.8	942.50
13	1987	186.5	51.0	48.7	29.5	6.5	2.4	57.5	38.5	9.4	27.1	27.7	56.9	541.70
14	1988	169.0	108.8	124.9	59.1	27.1	5.1	1.9	0.4	16.2	35.7	12.8	116.8	677.80
15	1989	165.3	86.2	96.5	49.2	11.1	5.1	0.9	189.2	85.5	92.9	28.3	43.6	853.80
16	1990	118.5	20.4	47.5	23.4	63.7	36.1	25.4	134.9	143.1	77.2	80.8	123.6	894.60
17	1991	208.8	233.5	211.8	62.3	56.9	8.1	6.5	1.9	22.0	63.2	74.8	49.6	999.40
18	1992	89.6	165.2	77.6	27.6	2.2	17.6	35.9	83.1	12.3	150.1	55.1	104.9	821.20
19	1993	199.8	89.7	150.0	96.8	17.6	5.9	6.3	16.0	71.1	74.7	83.7	199.3	1010.90
20	1994	168.7	130.4	134.3	62.5	14.9	3.2	2.3	3.0	49.8	27.3	40.6	95.0	732.00
21	1995	139.9	94.4	140.8	49.5	6.5	1.5	1.6	3.8	39.6	40.0	66.8	95.9	680.30
22	1996	169.2	121.4	142.3	67.3	8.5	0.7	1.1	14.8	40.2	39.2	28.5	128.0	761.20
23	1997	180.5	116.5	79.2	49.9	10.3	0.1	0.7	37.7	81.3	34.5	63.6	170.9	825.20
24	1998	194.5	116.6	127.3	44.0	2.3	12.0	0.2	7.2	21.8	57.9	44.0	110.1	737.90

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	148.0	143.7	130.6	84.4	12.1	3.2	2.3	1.6	89.9	61.1	36.6	119.5	833.00
26	2000	166.0	159.6	138.3	37.9	22.1	12.0	9.1	11.9	27.6	81.6	22.5	131.9	820.50
27	2001	228.6	84.8	152.2	43.8	35.6	6.6	7.1	10.8	41.5	33.7	63.3	91.8	799.80
28	2002	111.5	139.0	143.3	51.5	14.4	4.9	17.1	15.0	98.7	57.6	63.3	179.4	895.70
29	2003	129.2	132.9	150.7	76.7	16.2	0.3	0.9	20.1	41.0	24.2	30.4	153.3	775.90
30	2004	75.5	110.2	93.8	34.1	6.6	11.6	7.9	12.5	99.2	35.6	39.8	178.9	705.70
31	2005	98.4	80.7	139.4	32.0	7.4	0.0	2.1	9.8	38.4	44.8	40.2	151.8	645.00
32	2006	131.0	82.5	117.5	45.7	2.0	8.1	2.0	12.2	79.5	36.2	51.0	108.8	676.50
33	2007	115.0	103.8	176.6	83.6	31.8	4.2	1.2	14.2	68.0	68.9	48.2	165.2	880.70
34	2008	223.9	145.4	95.8	31.7	3.0	8.8	10.5	17.6	31.2	40.3	37.8	90.5	736.50
35	2009	173.8	209.4	107.1	74.7	41.0	5.0	16.4	11.9	28.0	64.7	116.0	164.8	1012.80
36	2010	256.5	161.6	120.9	8.3	2.1	0.3	0.1	8.8	36.1	42.3	43.8	160.4	841.20
37	2011	227.2	282.9	169.4	6.7	0.9	0.2	1.7	5.4	33.8	42.7	67.4	137.0	975.30
38	2012	136.7	227.0	170.1	13.5	1.9	1.2	0.9	4.7	39.2	54.5	74.5	226.2	950.40
39	2013	213.9	176.0	139.6	30.0	52.3	39.7	18.3	36.8	19.4	69.7	47.7	173.0	1016.40
40	2014	204.9	145.3	157.3	59.3	22.0	8.9	28.2	57.1	82.7	72.0	61.3	122.3	1021.30
41	2015	226.2	156.1	131.6	94.2	40.8	15.9	14.3	24.7	57.2	53.4	46.5	162.5	1023.40
42	2016	67.6	207.9	80.5	80.8	20.2	11.9	12.7	21.6	1.4	53.8	40.6	84.2	683.20
Media		154.17	133.15	120.22	47.78	17.26	7.16	11.41	38.04	54.39	55.40	50.15	122.80	837.50

Datos históricos de precipitación mensual en la estación pluviométrica virtual en la subcuenca de la bocatomía Apacheta que se encuentra en la cuenca alta de la Irrigación Cachi, fueron generados con la interpolación de Kriging, a partir de datos históricos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta, Choclococha, Tunel Cero y Hornada. Fuente: elaboración propia.

Anexo D. Precipitación máxima en 24 horas en la zona en estudio

Tabla 4.2.11. *PP máxima en 24 horas en las cuencas en estudio (1992-2016) en (mm)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Máximo
1	1992	16.9	14.1	22.6	7.1	9.9	8.5	8.5	12.7	11.3	35.3	14.1	25.4	35.30 octubre
2	1993	29.6	26.8	28.2	25.4	9.9	8.5	41.2	9.9	15.5	26.8	24.0	38.1	41.20 julio
3	1994	28.2	26.8	42.3	25.4	5.6	5.6	41.2	7.1	8.5	33.8	32.4	31.2	42.30 marzo
4	1995	21.3	47.9	39.2	14.8	8.0	41.4	5.4	5.1	17.5	29.3	34.1	31.0	47.90 febrero
5	1996	16.6	24.5	19.7	23.1	7.9	41.2	2.1	18.9	11.1	6.3	21.4	21.7	41.20 junio
6	1997	32.0	34.3	50.1	25.4	11.8	0.0	0.0	19.7	22.6	22.6	29.6	35.3	50.10 marzo
7	1998	49.3	35.3	46.5	35.3	41.2	12.7	1.0	14.1	19.7	19.7	40.9	49.3	49.30 diciembre
8	1999	46.5	35.3	28.9	47.9	9.9	8.5	8.5	11.3	39.5	32.4	14.1	29.0	47.90 abril
9	2000	32.4	35.2	47.5	10.2	15.5	7.1	10.8	13.4	2.8	26.8	15.5	37.3	47.45 marzo
10	2001	43.7	34.6	41.9	22.6	35.3	11.3	15.5	7.2	9.2	13.1	22.0	23.2	43.71 enero
11	2002	39.9	79.0	35.3	23.3	15.5	3.1	15.7	10.6	13.6	18.3	21.2	35.3	79.00 febrero
12	2003	35.3	31.0	51.4	31.0	6.0	0.2	7.1	11.2	12.7	10.5	15.0	26.3	51.36 marzo
13	2004	35.3	33.1	45.1	12.9	16.9	14.1	17.6	7.1	19.7	12.0	13.4	40.0	45.12 marzo
14	2005	37.3	24.5	20.0	15.6	2.4	0.6	22.0	8.5	21.0	25.0	7.8	34.8	37.33 enero
15	2006	42.9	32.0	30.8	18.0	2.1	6.0	0.3	12.0	18.0	13.0	12.5	21.7	42.93 enero
16	2007	18.0	30.5	62.1	9.1	41.6	3.6	5.3	9.5	13.1	9.7	10.1	26.6	62.08 marzo
17	2008	33.7	36.2	24.3	4.4	10.1	7.8	3.2	14.2	12.5	17.8	9.7	18.6	36.20 febrero
18	2009	29.7	44.8	49.0	15.4	7.3	4.1	4.8	6.6	13.8	5.2	4.9	20.1	48.98 marzo
19	2010	26.4	20.9	30.4	16.0	10.0	2.5	7.8	6.7	12.7	14.6	9.5	29.8	30.40 marzo
20	2011	39.2	46.0	27.4	14.9	11.4	4.6	18.5	6.6	13.1	21.4	18.2	25.0	45.99 febrero
21	2012	19.0	49.9	28.9	21.2	12.7	21.5	8.8	2.8	9.4	20.2	13.4	35.5	49.90 febrero
22	2013	35.9	17.7	18.6	9.0	16.3	15.6	7.9	17.5	15.7	20.1	13.8	25.0	35.90 enero
23	2014	41.7	30.9	31.3	17.6	9.6	3.2	15.3	23.5	26.0	14.7	20.3	15.2	41.70 enero
24	2015	32.2	24.5	32.8	13.3	21.5	6.7	7.5	8.4	10.5	7.2	18.5	41.1	41.06 diciembre

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Máximo
25	2016	14.3	31.6	15.7	30.8	6.1	46.0	6.2	16.3	0.0	14.0	10.0	25.5	46.00 junio
Máximo		49.3	79.0	62.1	47.9	41.6	46.0	41.2	23.5	39.5	35.3	40.9	49.3	79.00

Precipitación máxima en 24 horas durante 1992 hasta 2016 en mm para las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi, los datos que se muestra son seleccionados; de los registros históricos de precipitación máxima en 24 horas en las estaciones pluviométricas Choccoro, Chaquiccocha, Apacheta y Tunsulla que es operado por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho; y los datos satelitales de precipitación máxima TRMM_3B42_Daily. Fuente: elaboración propia.

Anexo E. Temperatura máxima mensual en la zona en estudio

Tabla 4.2.12. *Tmáx en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
2	1976	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
3	1977	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
4	1978	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
5	1979	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
6	1980	17.8	18.0	16.4	15.2	16.1	16.8	14.9	15.9	15.6	15.0	16.2	18.6	16.4
7	1981	17.3	15.8	17.9	15.4	15.2	16.6	16.4	15.5	14.7	15.4	17.1	17.2	16.2
8	1982	17.4	15.1	16.5	14.6	16.2	15.9	15.5	14.9	15.2	15.6	16.6	19.1	16.0
9	1983	18.9	18.3	20.0	16.8	17.3	16.3	17.4	17.0	16.2	16.9	17.9	18.7	17.7
10	1984	16.6	13.8	15.3	14.1	14.8	14.4	15.0	15.4	15.3	15.2	16.6	17.2	15.3
11	1985	16.0	13.9	14.4	13.4	13.9	14.2	14.7	15.8	15.7	17.4	16.1	17.3	15.2
12	1986	15.9	13.5	14.7	13.8	14.8	15.9	14.7	15.8	14.6	16.7	17.3	18.2	15.5
13	1987	16.1	16.0	18.5	15.9	16.4	15.6	16.8	17.4	17.4	17.6	17.1	19.7	17.0
14	1988	16.7	16.1	16.6	13.6	15.0	16.4	15.9	17.1	16.5	16.2	17.1	17.3	16.2
15	1989	15.9	15.4	16.0	14.0	14.4	15.3	15.3	15.6	17.0	15.3	18.1	20.3	16.0
16	1990	16.1	16.6	17.6	15.8	15.9	15.0	15.5	16.3	16.4	15.8	17.3	18.7	16.4
17	1991	18.5	17.0	17.5	15.7	16.4	17.1	16.6	16.8	16.4	16.8	16.9	20.2	17.2
18	1992	17.9	18.4	18.2	17.1	17.3	16.4	15.9	16.5	17.2	15.9	17.9	19.4	17.3
19	1993	16.7	16.6	16.4	14.7	16.4	16.9	15.4	16.2	15.9	15.6	16.9	17.9	16.3
20	1994	16.5	14.7	15.1	13.5	15.3	15.8	15.6	16.3	16.1	17.0	17.1	18.4	15.9
21	1995	16.5	16.0	15.6	15.5	15.7	16.4	17.0	18.2	16.3	16.8	17.2	18.4	16.6
22	1996	16.9	15.6	16.2	14.6	15.3	16.3	16.2	15.8	16.0	16.3	17.1	17.2	16.1
23	1997	16.0	14.2	15.3	14.0	14.7	17.0	15.7	15.2	17.3	18.3	17.7	19.1	16.2
24	1998	16.1	16.0	16.9	16.5	17.5	16.8	16.8	17.4	18.2	16.7	16.4	17.9	16.9

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	16.6	13.6	14.2	12.5	13.5	15.3	14.5	16.1	15.0	15.8	17.4	17.6	15.2
26	2000	15.7	14.1	14.1	13.7	15.1	16.1	14.9	15.3	17.0	15.3	18.9	17.9	15.7
27	2001	16.1	15.0	15.3	14.9	15.2	15.2	14.4	15.2	15.0	15.2	16.8	17.9	15.5
28	2002	16.7	14.1	15.6	14.4	15.0	15.6	14.3	14.9	15.1	15.7	16.6	18.2	15.5
29	2003	17.1	15.1	15.4	13.9	14.4	16.2	15.1	16.0	15.7	17.7	17.4	18.1	16.0
30	2004	16.4	15.5	16.6	15.3	16.0	15.3	14.3	15.0	15.6	17.0	17.3	17.8	16.0
31	2005	17.5	16.2	17.9	15.7	16.8	16.9	16.5	17.0	16.3	16.0	17.3	18.1	16.9
32	2006	14.3	14.4	15.2	14.0	14.9	15.3	15.1	15.6	16.8	16.6	16.5	18.4	15.6
33	2007	16.0	15.1	14.7	13.0	14.8	15.6	14.8	16.2	15.2	16.4	17.3	17.4	15.5
34	2008	14.6	13.9	14.4	13.4	14.3	15.7	15.7	17.4	16.7	16.2	17.5	17.6	15.6
35	2009	16.2	15.0	16.0	14.7	14.6	15.8	14.9	16.8	17.3	17.1	17.3	17.5	16.1
36	2010	15.8	15.9	17.1	15.5	15.8	16.4	17.4	17.3	16.6	17.0	18.0	17.3	16.7
37	2011	16.1	14.1	14.2	12.6	13.0	15.1	14.2	15.8	15.4	15.9	16.7	15.5	14.9
38	2012	15.6	13.6	13.7	12.6	14.3	14.4	14.8	16.3	15.7	16.5	16.5	16.4	15.0
39	2013	14.7	14.9	16.4	15.9	15.5	15.4	14.6	15.6	17.0	16.4	17.8	17.8	16.0
40	2014	15.7	14.8	15.9	14.3	15.3	16.9	15.4	15.7	15.6	16.3	18.1	18.7	16.1
41	2015	15.3	14.8	15.1	13.3	14.7	16.0	16.1	16.5	16.9	17.2	17.7	17.6	15.9
42	2016	18.3	15.7	17.6	16.1	16.4	16.2	15.9	16.6	17.2	16.8	18.3	18.5	17.0
Media		16.60	15.64	16.12	14.68	15.44	16.02	15.44	16.14	16.10	16.20	17.12	18.16	16.1

Datos históricos de Temperatura máxima mensual en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura máxima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura máxima dentro de la cuenca del río Choccoro; esto es producto de calibración de datos de temperatura máxima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura máxima satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Choccoro. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.13. *T_{máx} en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
2	1976	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
3	1977	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
4	1978	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
5	1979	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
6	1980	17.6	18.1	15.9	15.6	16.3	16.4	14.7	15.9	15.8	15.5	16.3	18.1	16.4
7	1981	17.2	15.9	17.4	15.8	15.5	16.1	16.2	15.5	14.9	15.8	17.2	16.7	16.2
8	1982	17.3	15.2	16.0	14.9	16.4	15.5	15.3	14.9	15.5	16.1	16.6	18.6	16.0
9	1983	18.7	18.5	19.4	17.2	17.6	15.8	17.3	17.0	16.4	17.5	18.0	18.2	17.6
10	1984	16.4	13.9	14.8	14.4	15.0	14.1	14.8	15.4	15.5	15.6	16.7	16.7	15.3
11	1985	15.8	14.0	14.0	13.7	14.1	13.8	14.5	15.8	16.0	17.9	16.2	16.8	15.2
12	1986	15.8	13.6	14.3	14.1	15.0	15.5	14.5	15.8	14.8	17.2	17.3	17.7	15.5
13	1987	15.9	16.1	18.0	16.2	16.6	15.2	16.6	17.4	17.7	18.1	17.2	19.1	17.0
14	1988	16.5	16.2	16.1	14.0	15.2	16.0	15.8	17.1	16.7	16.7	17.2	16.9	16.2
15	1989	15.8	15.5	15.5	14.3	14.6	14.9	15.1	15.6	17.2	15.8	18.2	19.7	16.0
16	1990	16.0	16.7	17.1	16.2	16.1	14.6	15.4	16.3	16.7	16.3	17.4	18.1	16.4
17	1991	18.3	17.1	17.0	16.1	16.6	16.7	16.4	16.8	16.7	17.3	16.9	19.7	17.1
18	1992	17.7	18.5	17.7	17.6	17.6	16.0	15.8	16.5	17.4	16.4	17.9	18.9	17.3
19	1993	16.6	16.7	15.9	15.1	16.7	16.4	15.3	16.2	16.1	16.0	16.9	17.4	16.3
20	1994	16.4	14.8	14.6	13.8	15.6	15.4	15.4	16.3	16.4	17.5	17.2	17.9	15.9
21	1995	16.3	16.1	15.2	15.9	15.9	16.0	16.8	18.2	16.6	17.3	17.3	17.8	16.6
22	1996	16.7	15.7	15.7	15.0	15.5	15.9	16.1	15.8	16.3	16.8	17.2	16.7	16.1
23	1997	15.8	14.3	14.8	14.4	14.9	16.6	15.6	15.2	17.5	18.9	17.8	18.6	16.2
24	1998	15.9	16.1	16.4	16.9	17.8	16.4	16.6	17.4	18.4	17.3	16.4	17.4	16.9

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	16.5	13.7	13.8	12.8	13.7	14.9	14.3	16.1	15.3	16.2	17.5	17.1	15.2
26	2000	15.5	14.2	13.7	14.1	15.3	15.7	14.7	15.3	17.3	15.8	19.0	17.4	15.7
27	2001	16.0	15.1	14.9	15.3	15.4	14.8	14.2	15.2	15.2	15.7	16.8	17.4	15.5
28	2002	16.6	14.2	15.2	14.7	15.2	15.2	14.1	14.9	15.4	16.2	16.7	17.7	15.5
29	2003	16.9	15.2	15.0	14.2	14.6	15.8	15.0	16.0	15.9	18.3	17.5	17.6	16.0
30	2004	16.2	15.6	16.1	15.7	16.3	14.9	14.1	15.0	15.9	17.5	17.4	17.3	16.0
31	2005	17.4	16.3	17.3	16.1	17.0	16.5	16.3	17.0	16.5	16.5	17.4	17.6	16.8
32	2006	14.2	14.5	14.8	14.3	15.1	14.9	14.9	15.6	17.0	17.1	16.6	17.9	15.6
33	2007	15.9	15.2	14.2	13.4	15.0	15.2	14.6	16.2	15.4	16.9	17.4	16.9	15.5
34	2008	14.5	14.0	14.0	13.7	14.5	15.3	15.5	17.4	17.0	16.7	17.6	17.1	15.6
35	2009	16.1	15.1	15.5	15.1	14.9	15.4	14.8	16.8	17.5	17.7	17.4	17.0	16.1
36	2010	15.6	16.0	16.6	15.9	16.0	16.0	17.2	17.3	16.8	17.5	18.1	16.8	16.7
37	2011	15.9	14.2	13.8	12.9	13.2	14.7	14.1	15.8	15.7	16.4	16.7	15.1	14.9
38	2012	15.5	13.6	13.3	12.9	14.5	14.0	14.6	16.3	15.9	17.0	16.5	15.9	15.0
39	2013	14.5	15.0	15.9	16.3	15.7	15.0	14.4	15.6	17.3	16.9	17.9	17.3	16.0
40	2014	15.5	14.9	15.4	14.7	15.6	16.5	15.2	15.7	15.8	16.8	18.2	18.2	16.0
41	2015	15.1	14.9	14.6	13.7	14.9	15.6	15.9	16.5	17.2	17.7	17.8	17.1	15.9
42	2016	18.1	15.8	17.0	16.5	16.6	15.7	15.8	16.6	17.5	17.3	18.4	17.9	16.9
Media		16.45	15.74	15.63	15.03	15.66	15.61	15.28	16.14	16.33	16.70	17.20	17.65	16.1

Datos históricos de Temperatura máxima mensual en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura máxima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura máxima dentro de la cuenca del río Chicllarazo; esto es producto de calibración de datos de temperatura máxima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura máxima satelital M2SMNXSLV, en la estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta, que son similares a la zona de la cuenca del río Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.14. *Tmáx en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
2	1976	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
3	1977	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
4	1978	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
5	1979	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
6	1980	14.7	14.9	14.4	14.8	14.8	14.8	13.6	14.9	14.5	14.2	13.7	15.1	14.5
7	1981	14.3	14.1	14.3	15.0	14.5	13.9	14.5	13.8	13.9	14.6	15.2	14.7	14.4
8	1982	14.9	13.9	14.0	14.3	15.0	13.2	13.7	13.8	14.1	14.7	14.4	16.3	14.4
9	1983	16.7	16.3	16.7	16.1	16.0	13.8	15.0	15.5	14.9	16.1	16.0	15.3	15.7
10	1984	13.9	12.9	13.3	13.9	14.1	12.6	13.1	13.8	14.5	14.6	14.5	14.3	13.8
11	1985	13.8	13.1	12.3	12.7	13.4	12.8	12.8	14.2	14.6	16.1	14.7	14.0	13.7
12	1986	13.5	12.9	13.4	13.8	13.7	14.0	13.1	14.0	14.1	16.2	15.5	15.4	14.1
13	1987	14.5	15.1	15.6	15.7	15.3	14.1	14.8	16.0	16.3	16.9	15.6	16.2	15.5
14	1988	13.9	15.3	14.2	13.5	14.4	14.0	14.4	15.9	15.7	15.2	15.6	14.2	14.7
15	1989	13.6	13.9	13.4	14.4	14.5	13.2	13.4	14.1	15.7	15.2	16.6	16.5	14.6
16	1990	14.4	15.6	15.5	15.4	15.3	13.5	13.9	15.2	15.2	15.0	15.5	15.7	15.0
17	1991	15.8	15.7	14.9	15.4	16.1	14.8	14.6	15.8	15.8	15.5	15.3	16.4	15.5
18	1992	16.0	16.4	15.9	16.6	16.5	14.2	14.4	14.8	15.4	15.1	15.6	16.7	15.6
19	1993	14.6	14.9	14.7	14.1	15.5	14.9	14.0	15.0	15.2	15.6	15.4	15.6	15.0
20	1994	14.2	13.9	13.5	13.8	15.1	13.5	14.1	15.3	15.7	16.1	15.8	15.3	14.7
21	1995	14.6	15.1	13.9	15.6	14.9	14.0	14.9	16.9	15.7	15.8	15.6	15.1	15.2
22	1996	14.6	14.3	14.5	14.9	14.7	14.2	14.7	14.5	15.6	16.1	15.2	14.5	14.8
23	1997	13.9	13.4	13.8	14.3	14.2	13.6	14.8	14.0	16.4	17.4	16.5	16.8	14.9
24	1998	16.0	16.3	16.6	17.4	16.8	15.0	15.4	16.1	16.7	16.4	14.5	15.3	16.0

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	14.8	13.3	13.2	13.3	13.8	13.4	13.6	15.0	14.3	15.5	15.8	14.3	14.2
26	2000	13.6	13.4	12.8	14.3	15.3	14.3	13.4	14.7	16.3	14.8	17.0	14.4	14.5
27	2001	13.6	13.9	13.6	15.1	14.8	13.7	13.5	14.8	14.5	15.8	15.8	15.8	14.6
28	2002	15.2	13.7	14.5	14.9	14.9	14.5	13.0	14.6	15.1	15.3	15.1	16.2	14.7
29	2003	15.6	14.8	14.4	14.8	14.6	15.0	14.4	15.2	15.3	17.5	16.3	15.4	15.3
30	2004	14.6	14.7	15.3	15.7	15.9	13.9	13.4	14.1	15.1	16.8	16.0	15.3	15.1
31	2005	15.3	15.5	15.6	16.2	16.2	15.0	15.6	15.9	15.5	15.9	15.9	15.0	15.6
32	2006	13.1	13.9	14.1	14.6	15.0	13.8	14.0	14.7	15.5	15.8	15.2	15.8	14.6
33	2007	14.6	14.0	13.4	13.5	14.4	14.4	13.6	15.0	14.7	16.0	16.1	14.9	14.6
34	2008	13.6	13.6	13.1	13.7	14.1	14.1	14.3	16.1	15.9	15.7	16.5	14.9	14.6
35	2009	14.2	14.0	14.6	15.2	14.3	14.3	13.5	15.3	16.9	16.8	15.3	14.7	14.9
36	2010	14.6	15.4	15.7	16.0	15.4	14.9	15.6	16.3	15.7	16.1	16.1	14.5	15.5
37	2011	13.9	13.0	12.5	13.4	13.7	13.8	13.2	15.0	14.8	15.4	15.5	13.7	14.0
38	2012	14.0	12.2	12.9	13.2	14.6	13.3	14.0	15.1	15.1	16.3	15.0	14.2	14.1
39	2013	14.4	13.8	14.6	15.7	14.8	13.8	13.7	14.4	16.5	15.9	16.2	14.7	14.9
40	2014	13.5	13.9	14.2	15.0	15.1	15.2	13.9	14.8	15.0	16.1	16.6	15.6	14.9
41	2015	14.4	14.2	14.1	14.0	14.6	14.8	14.5	15.7	16.2	17.4	16.6	16.1	15.2
42	2016	17.4	15.7	16.9	16.6	16.1	14.9	15.2	15.9	16.7	16.1	16.5	15.6	16.1
Media		14.57	14.43	14.34	14.79	14.92	14.18	14.02	15.03	15.27	15.66	15.40	15.23	14.8

Datos históricos de Temperatura máxima mensual en la subcuenca de la bocatoma Apacheta de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura máxima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura máxima dentro de la cuenca del río Apacheta; esto es producto de calibración de datos de temperatura máxima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura máxima satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Anexo F. Temperatura media mensual en la zona en estudio

Tabla 4.2.15. *Tmed en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
2	1976	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
3	1977	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
4	1978	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
5	1979	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
6	1980	7.5	7.6	6.9	6.5	5.9	6.1	5.1	5.4	5.4	5.8	6.6	7.3	6.33
7	1981	7.2	6.8	7.4	6.6	5.8	5.8	5.7	5.0	5.0	5.7	7.0	7.4	6.27
8	1982	7.1	6.7	7.0	6.2	6.0	5.6	5.5	4.9	5.5	6.1	6.7	7.9	6.25
9	1983	8.2	8.2	8.7	7.5	6.9	6.0	6.6	5.7	5.9	6.6	7.3	7.5	7.09
10	1984	6.5	5.8	6.3	6.1	5.8	5.2	4.9	4.7	5.5	6.0	6.7	6.8	5.86
11	1985	6.5	6.2	6.0	5.9	5.4	4.1	4.8	5.2	5.6	6.6	6.4	7.0	5.82
12	1986	6.7	5.7	5.9	6.0	5.4	5.6	4.3	5.2	5.3	6.1	6.8	7.7	5.89
13	1987	7.0	7.4	7.4	6.8	6.1	5.6	6.0	5.8	6.6	6.9	7.4	8.4	6.80
14	1988	7.1	7.5	7.0	6.2	5.7	5.9	5.2	5.8	6.1	6.5	7.1	7.1	6.44
15	1989	6.6	6.8	6.4	6.1	5.3	5.3	4.9	5.1	6.3	6.2	6.9	8.1	6.16
16	1990	7.0	7.5	7.3	6.9	6.0	5.2	5.2	5.1	5.9	6.3	7.2	7.9	6.46
17	1991	7.9	7.7	7.5	6.9	6.3	6.2	5.5	5.2	5.8	6.6	6.6	8.1	6.69
18	1992	7.4	7.8	7.5	7.3	7.0	6.0	5.1	5.2	6.2	6.0	7.1	8.0	6.72
19	1993	6.8	7.0	6.8	6.4	6.5	5.7	5.4	5.0	5.9	6.0	7.1	7.8	6.37
20	1994	7.0	6.5	6.4	6.1	5.9	5.3	5.1	5.3	5.9	6.5	7.1	7.8	6.24
21	1995	7.1	7.0	6.6	6.8	6.1	6.0	6.3	6.5	6.1	6.6	7.2	7.5	6.66
22	1996	7.0	7.0	6.8	6.4	6.0	5.6	5.1	5.5	6.0	6.5	6.6	7.2	6.32
23	1997	6.5	6.2	6.0	5.9	5.5	5.9	5.7	5.0	6.6	7.3	7.3	8.3	6.35
24	1998	7.5	7.7	7.9	7.9	6.9	6.3	6.3	6.3	7.0	6.8	6.7	7.5	7.06

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	6.9	6.3	6.0	5.6	5.3	5.3	4.8	4.9	5.6	6.0	6.9	7.3	5.92
26	2000	6.6	6.2	5.9	6.1	5.9	5.8	4.9	5.4	6.4	5.9	7.5	7.3	6.14
27	2001	6.6	6.4	6.5	6.2	5.7	5.1	5.1	4.4	5.7	6.0	7.1	7.2	6.01
28	2002	7.3	6.6	6.6	6.4	5.7	5.5	4.6	4.8	5.5	6.3	7.0	7.7	6.17
29	2003	7.5	7.1	6.7	6.1	5.6	6.0	5.3	5.1	5.7	7.0	7.4	7.9	6.43
30	2004	7.0	7.1	7.1	6.9	6.2	5.1	5.0	4.5	5.9	6.8	7.3	7.6	6.37
31	2005	7.6	7.3	7.7	7.2	6.6	6.2	5.4	5.4	5.7	6.2	7.1	7.5	6.67
32	2006	6.2	6.8	6.8	6.3	5.1	5.7	5.0	5.1	6.0	6.5	6.9	8.0	6.19
33	2007	7.4	6.8	6.5	5.9	5.7	5.3	5.0	5.3	5.6	6.3	7.3	7.2	6.20
34	2008	6.3	6.1	6.0	5.8	5.3	5.2	5.5	6.1	6.2	6.5	7.4	7.4	6.16
35	2009	7.0	6.8	6.8	6.6	5.7	5.6	5.3	5.9	6.5	7.0	7.3	7.2	6.47
36	2010	6.9	7.1	7.5	7.2	6.2	6.2	6.0	5.2	6.4	6.5	7.4	7.2	6.65
37	2011	6.6	6.0	6.0	5.9	4.9	5.1	4.8	5.4	5.7	6.2	7.3	6.6	5.87
38	2012	6.7	5.8	6.0	5.8	5.5	5.0	4.6	5.1	6.0	6.5	7.0	6.6	5.88
39	2013	6.3	6.7	7.1	6.8	6.2	5.6	4.9	5.0	6.4	6.5	7.5	7.5	6.36
40	2014	6.7	6.5	6.7	6.4	5.8	6.1	5.3	5.1	5.7	6.4	7.5	7.8	6.34
41	2015	6.5	6.5	6.5	5.9	5.7	5.8	5.3	5.4	6.5	6.8	7.6	7.2	6.31
42	2016	8.1	7.5	8.0	7.3	6.4	5.7	5.2	5.5	6.5	6.3	7.1	7.8	6.77
Media		7.05	6.92	6.82	6.46	5.89	5.67	5.25	5.31	5.89	6.33	7.04	7.49	6.34

Datos históricos de Temperatura media mensual en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura media que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura media dentro de la cuenca del río Choccoro; esto es producto de calibración de datos de temperatura media observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura media satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Choccoro. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.16. *Tmed en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
2	1976	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
3	1977	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
4	1978	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
5	1979	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
6	1980	7.6	7.8	7.0	6.6	5.9	5.9	5.0	5.5	5.4	6.2	6.7	6.9	6.37
7	1981	7.2	6.9	7.6	6.7	5.9	5.6	5.5	5.1	5.0	6.1	7.1	7.0	6.30
8	1982	7.1	6.9	7.1	6.3	6.0	5.4	5.3	5.0	5.6	6.5	6.8	7.6	6.29
9	1983	8.3	8.4	8.8	7.6	6.9	5.8	6.3	5.8	5.9	7.0	7.4	7.2	7.14
10	1984	6.6	6.0	6.5	6.2	5.8	5.0	4.8	4.8	5.5	6.4	6.8	6.5	5.90
11	1985	6.6	6.3	6.2	6.0	5.5	4.0	4.6	5.3	5.6	7.1	6.5	6.7	5.86
12	1986	6.8	5.9	6.0	6.1	5.4	5.4	4.2	5.3	5.3	6.5	6.8	7.3	5.92
13	1987	7.1	7.6	7.6	7.0	6.1	5.4	5.8	5.9	6.7	7.4	7.5	8.0	6.84
14	1988	7.2	7.7	7.1	6.3	5.8	5.7	5.0	5.9	6.1	6.9	7.2	6.8	6.48
15	1989	6.6	6.9	6.5	6.2	5.3	5.1	4.7	5.2	6.3	6.6	7.0	7.8	6.19
16	1990	7.1	7.7	7.4	7.0	6.1	5.0	5.0	5.1	5.9	6.7	7.3	7.5	6.50
17	1991	8.0	7.9	7.6	7.0	6.4	6.0	5.3	5.3	5.8	7.0	6.7	7.7	6.74
18	1992	7.4	7.9	7.6	7.5	7.1	5.9	4.9	5.3	6.3	6.4	7.2	7.7	6.77
19	1993	6.8	7.2	6.9	6.6	6.5	5.5	5.3	5.1	5.9	6.4	7.2	7.5	6.41
20	1994	7.0	6.7	6.5	6.2	5.9	5.2	4.9	5.3	5.9	7.0	7.2	7.4	6.28
21	1995	7.2	7.2	6.8	7.0	6.2	5.8	6.1	6.6	6.1	7.1	7.2	7.1	6.70
22	1996	7.1	7.2	6.9	6.5	6.1	5.4	4.9	5.6	6.0	7.0	6.7	6.9	6.36
23	1997	6.5	6.3	6.2	6.0	5.5	5.8	5.5	5.1	6.6	7.8	7.4	8.0	6.39
24	1998	7.6	7.9	8.0	8.0	7.0	6.1	6.1	6.4	7.0	7.2	6.8	7.1	7.11

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	7.0	6.5	6.1	5.7	5.4	5.2	4.7	5.0	5.7	6.4	7.0	6.9	5.96
26	2000	6.6	6.3	6.0	6.2	5.9	5.6	4.7	5.5	6.5	6.3	7.6	7.0	6.18
27	2001	6.7	6.6	6.6	6.4	5.8	5.0	4.9	4.4	5.7	6.4	7.2	6.9	6.05
28	2002	7.4	6.7	6.8	6.5	5.8	5.4	4.5	4.8	5.6	6.7	7.1	7.3	6.21
29	2003	7.6	7.2	6.8	6.2	5.6	5.8	5.1	5.2	5.7	7.5	7.5	7.5	6.47
30	2004	7.0	7.2	7.3	7.0	6.2	4.9	4.9	4.6	6.0	7.2	7.4	7.2	6.42
31	2005	7.7	7.5	7.8	7.3	6.6	6.0	5.2	5.5	5.8	6.7	7.2	7.2	6.71
32	2006	6.3	6.9	6.9	6.4	5.1	5.5	4.8	5.2	6.1	7.0	7.0	7.6	6.23
33	2007	7.4	7.0	6.6	6.0	5.8	5.1	4.8	5.4	5.6	6.8	7.4	6.9	6.24
34	2008	6.4	6.3	6.1	6.0	5.3	5.1	5.3	6.2	6.2	6.9	7.5	7.1	6.19
35	2009	7.1	7.0	6.9	6.7	5.7	5.4	5.2	6.0	6.6	7.4	7.4	6.8	6.52
36	2010	7.0	7.3	7.7	7.3	6.2	6.0	5.8	5.3	6.5	6.9	7.4	6.9	6.69
37	2011	6.7	6.2	6.1	6.0	4.9	4.9	4.7	5.5	5.7	6.7	7.3	6.3	5.91
38	2012	6.7	5.9	6.1	5.9	5.5	4.8	4.5	5.2	6.0	6.9	7.1	6.3	5.93
39	2013	6.4	6.9	7.2	6.9	6.2	5.5	4.7	5.1	6.4	6.9	7.5	7.2	6.41
40	2014	6.8	6.6	6.8	6.6	5.9	5.9	5.1	5.2	5.7	6.8	7.6	7.5	6.37
41	2015	6.6	6.7	6.7	6.0	5.7	5.6	5.2	5.5	6.5	7.3	7.7	6.8	6.36
42	2016	8.1	7.7	8.1	7.4	6.5	5.5	5.0	5.6	6.5	6.7	7.2	7.4	6.82
Media		7.13	7.08	6.94	6.58	5.92	5.50	5.08	5.40	5.93	6.75	7.13	7.15	6.38

Datos históricos de Temperatura media mensual en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura media que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura media dentro de la cuenca del río Chicllarazo; esto es producto de calibración de datos de temperatura media observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura media satelital M2SMNXSLV, en las estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta, que son similares a la zona de la cuenca del río Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.17. *Tmed en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
2	1976	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
3	1977	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
4	1978	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
5	1979	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
6	1980	5.4	5.2	5.5	4.9	4.1	4.2	3.4	4.2	3.8	5.0	4.6	4.4	4.56
7	1981	5.0	5.4	5.3	5.0	4.2	3.1	3.6	3.4	3.6	4.6	5.0	5.0	4.43
8	1982	4.9	5.1	5.4	4.7	3.6	3.1	3.3	3.7	4.0	4.8	4.7	5.4	4.38
9	1983	6.3	6.4	6.9	5.9	4.7	3.5	4.0	4.4	4.2	5.5	5.3	4.9	5.16
10	1984	4.4	4.6	4.7	4.7	4.4	3.3	2.9	3.1	4.0	5.0	4.7	4.4	4.18
11	1985	4.4	4.8	4.6	4.3	3.9	2.9	2.7	3.8	4.0	5.1	4.9	4.6	4.17
12	1986	5.0	4.5	4.7	4.8	3.4	3.8	2.6	3.5	4.0	4.9	5.1	5.1	4.28
13	1987	5.5	6.1	5.5	5.5	4.3	3.8	3.8	4.4	5.0	5.7	5.7	5.7	5.09
14	1988	5.2	6.0	5.4	4.9	4.3	3.7	3.4	4.6	4.9	5.4	5.4	4.5	4.80
15	1989	4.7	5.3	4.7	4.9	4.0	3.4	2.9	3.7	4.5	5.6	5.1	5.0	4.48
16	1990	5.4	5.9	6.0	5.5	4.5	3.4	3.2	3.8	4.2	5.1	5.6	5.5	4.83
17	1991	5.9	6.3	5.7	5.6	4.9	3.9	3.5	4.2	4.4	5.3	4.7	5.0	4.95
18	1992	5.8	5.6	6.0	5.7	5.2	3.8	3.2	3.5	4.0	5.0	4.8	5.3	4.83
19	1993	4.9	5.3	5.4	5.0	4.5	3.8	3.4	3.7	4.5	5.5	5.3	5.6	4.74
20	1994	5.2	5.1	5.1	5.0	4.7	3.5	3.5	4.2	4.8	5.4	5.5	5.2	4.77
21	1995	5.4	5.4	5.1	5.5	4.5	3.8	4.1	5.4	4.9	5.7	5.4	4.8	5.01
22	1996	5.1	5.5	5.5	5.3	4.6	3.5	3.4	4.4	4.7	5.6	4.6	4.7	4.74
23	1997	4.6	4.8	4.9	4.6	3.8	3.1	4.3	3.5	5.2	6.2	5.7	5.9	4.72
24	1998	6.5	6.8	7.4	6.7	5.3	4.4	4.6	4.9	5.1	5.7	4.6	5.1	5.58

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	5.3	5.2	4.9	4.8	4.2	3.3	3.3	4.0	4.1	5.4	5.0	4.7	4.51
26	2000	4.9	4.9	4.7	5.3	4.8	3.7	3.0	4.4	4.9	5.2	5.5	4.8	4.67
27	2001	4.7	5.2	5.2	5.3	4.3	3.6	3.5	3.6	4.6	5.8	5.6	5.2	4.72
28	2002	5.7	5.4	5.6	5.6	4.6	4.2	3.0	4.0	4.5	5.6	5.5	5.6	4.95
29	2003	6.0	5.9	5.7	5.2	4.6	4.4	3.8	4.1	4.4	6.3	5.9	5.5	5.15
30	2004	5.3	5.8	6.3	5.9	4.6	3.6	3.4	3.7	4.8	5.9	5.8	5.4	5.03
31	2005	5.7	6.2	6.1	6.2	5.0	4.2	3.8	4.4	4.3	5.5	5.5	4.9	5.16
32	2006	4.8	5.7	5.6	5.4	4.0	4.0	3.5	4.0	4.7	5.4	5.4	5.4	4.82
33	2007	5.9	5.3	5.3	5.0	4.3	3.9	3.1	4.2	4.5	5.5	5.5	4.7	4.76
34	2008	5.0	5.0	4.7	4.8	3.8	3.5	3.8	4.7	4.7	5.5	6.1	4.9	4.71
35	2009	5.5	5.5	5.6	5.5	4.3	3.8	3.5	4.3	5.3	6.3	5.4	4.8	4.98
36	2010	5.4	6.0	6.5	6.2	4.9	4.5	3.9	4.2	4.9	5.4	5.3	4.7	5.18
37	2011	4.9	4.6	4.5	4.9	4.0	3.6	3.1	4.3	4.5	5.2	5.9	4.8	4.51
38	2012	4.9	4.2	5.0	4.7	4.2	3.5	3.4	4.0	4.8	5.7	5.3	4.5	4.52
39	2013	5.4	5.4	5.5	5.5	4.7	3.7	3.4	4.0	5.1	5.6	5.6	4.9	4.89
40	2014	5.0	5.2	5.4	5.5	4.2	4.5	3.6	4.1	4.5	5.8	5.7	5.1	4.89
41	2015	5.4	5.6	5.8	5.1	4.3	4.4	3.6	4.5	5.1	6.4	6.0	5.6	5.15
42	2016	6.7	6.7	7.4	6.4	5.0	4.2	4.0	4.6	5.3	5.5	5.4	5.4	5.55
Media		5.33	5.43	5.50	5.25	4.36	3.80	3.47	4.12	4.45	5.41	5.24	4.97	4.78

Datos históricos de Temperatura media mensual en la subcuenca de la bocatoma Apacheta de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura media que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura media dentro de la cuenca del río Apacheta; esto es producto de calibración de datos de temperatura media observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura media satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Anexo G. Temperatura mínima mensual en la zona en estudio

Tabla 4.2.18. *Tmín en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	-0.3	-0.5	-0.4	-1.3	-2.5	-6.1	-6.8	-9.2	-1.7	-1.9	-2.1	-0.7	-2.79
2	1976	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-3.4	-3.3	-6.8	-5.5	-1.5	-1.6	-2.3	-1.1	-2.34
3	1977	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-2.7	-4.5	-7.0	-5.6	-2.6	-1.9	-2.0	-1.1	-2.49
4	1978	-0.3	-0.7	-0.4	-1.9	-4.5	-6.0	-15.2	-8.1	-2.7	-1.9	-2.5	-1.0	-3.76
5	1979	-0.2	-0.4	-0.3	-1.5	-3.3	-5.1	-0.8	-2.2	-1.9	-2.1	-1.9	-0.8	-1.70
6	1980	-0.3	-0.5	-0.4	-1.3	-2.5	-6.1	-6.8	-9.2	-1.7	-1.9	-2.1	-0.7	-2.79
7	1981	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-3.4	-3.3	-6.8	-5.5	-1.5	-1.6	-2.3	-1.1	-2.34
8	1982	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-2.7	-4.5	-7.0	-5.6	-2.6	-1.9	-2.0	-1.1	-2.49
9	1983	-0.3	-0.7	-0.4	-1.9	-4.5	-6.0	-15.2	-8.1	-2.7	-1.9	-2.5	-1.0	-3.76
10	1984	-0.2	-0.4	-0.3	-1.5	-3.3	-5.1	-0.8	-2.2	-1.9	-2.1	-1.9	-0.8	-1.70
11	1985	-0.2	-0.5	-0.3	-1.6	-3.5	2.5	-1.2	-6.1	-2.2	-1.9	-1.8	-0.9	-1.48
12	1986	-0.3	-0.4	-0.3	-1.5	-2.0	-4.4	4.8	-6.4	-2.4	-1.3	-1.6	-1.1	-1.40
13	1987	-0.3	-0.6	-0.3	-1.6	-2.8	-5.0	-8.0	-6.9	-3.3	-2.2	-2.9	-1.3	-2.94
14	1988	-0.3	-0.7	-0.3	-1.8	-3.1	-5.1	-1.2	-8.6	-3.0	-2.2	-2.5	-0.9	-2.47
15	1989	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-2.0	-3.1	0.3	-6.0	-3.1	-2.2	-1.6	-1.0	-1.77
16	1990	-0.3	-0.6	-0.3	-1.8	-3.4	-4.0	-3.8	-2.7	-2.3	-2.2	-2.6	-1.2	-2.10
17	1991	-0.3	-0.7	-0.4	-1.8	-3.5	-5.2	-3.6	-3.5	-2.2	-2.2	-1.8	-0.9	-2.17
18	1992	-0.2	-0.5	-0.3	-1.6	-4.5	-6.7	0.5	-4.7	-2.6	-1.9	-2.0	-1.0	-2.13
19	1993	-0.2	-0.5	-0.3	-1.7	-4.2	-2.6	-6.8	-1.2	-2.8	-2.0	-2.6	-1.3	-2.19
20	1994	-0.3	-0.5	-0.3	-1.7	-3.0	-2.3	-2.8	-3.9	-2.9	-2.0	-2.5	-1.1	-1.94
21	1995	-0.3	-0.5	-0.3	-1.6	-3.8	-5.1	-13.8	-12.5	-3.0	-2.2	-2.3	-0.9	-3.86
22	1996	-0.3	-0.6	-0.3	-1.6	-4.0	-3.3	1.9	-10.4	-3.1	-2.4	-1.7	-1.0	-2.22
23	1997	-0.2	-0.4	-0.2	-1.1	-2.9	-3.9	-10.7	-5.6	-3.5	-2.5	-2.2	-1.4	-2.89
24	1998	-0.3	-0.7	-0.4	-2.4	-4.2	-7.1	-14.2	-13.2	-3.9	-2.4	-1.9	-1.0	-4.31

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	-0.2	-0.5	-0.3	-1.3	-3.0	-2.7	-2.3	-1.2	-2.8	-1.7	-1.9	-0.9	-1.57
26	2000	-0.2	-0.5	-0.3	-1.4	-3.4	-5.0	-0.4	-10.7	-3.1	-1.9	-1.9	-0.9	-2.48
27	2001	-0.3	-0.5	-0.3	-1.2	-3.1	-2.5	-7.5	1.4	-3.2	-1.9	-2.5	-0.9	-1.88
28	2002	-0.3	-0.6	-0.3	-1.6	-3.1	-3.8	-2.3	-4.8	-2.7	-2.2	-2.3	-1.1	-2.09
29	2003	-0.3	-0.6	-0.3	-1.3	-3.6	-5.1	-6.9	-3.2	-2.4	-2.2	-2.4	-1.3	-2.48
30	2004	-0.3	-0.6	-0.4	-1.8	-3.7	-2.3	-8.2	-1.9	-3.2	-2.1	-2.6	-1.1	-2.33
31	2005	-0.3	-0.6	-0.4	-1.9	-3.8	-5.6	-2.0	-3.9	-2.3	-2.0	-2.1	-1.0	-2.17
32	2006	-0.2	-0.6	-0.4	-1.6	-1.0	-6.4	-3.2	-6.9	-2.6	-1.8	-2.2	-1.1	-2.33
33	2007	-0.3	-0.5	-0.4	-1.4	-3.0	-2.1	-3.6	-6.4	-2.6	-1.9	-2.7	-0.9	-2.15
34	2008	-0.3	-0.4	-0.2	-1.2	-2.1	-2.1	-5.5	-9.5	-3.0	-2.1	-2.6	-1.0	-2.50
35	2009	-0.3	-0.5	-0.3	-1.7	-3.1	-3.4	-8.1	-9.4	-3.4	-2.3	-2.6	-0.9	-3.00
36	2010	-0.3	-0.5	-0.4	-2.1	-3.6	-6.6	-1.3	-0.9	-3.2	-1.8	-2.4	-1.0	-2.02
37	2011	-0.2	-0.4	-0.3	-1.5	-1.8	-1.6	-3.2	-7.8	-2.6	-2.0	-2.6	-1.0	-2.09
38	2012	-0.2	-0.3	-0.3	-1.5	-2.5	-2.4	1.5	-2.9	-3.0	-2.0	-2.3	-0.8	-1.40
39	2013	-0.2	-0.5	-0.3	-1.3	-4.0	-5.6	-1.5	-3.6	-3.0	-2.1	-2.4	-1.0	-2.14
40	2014	-0.2	-0.5	-0.3	-1.6	-2.7	-4.6	-6.2	-5.1	-2.6	-2.0	-2.3	-1.1	-2.44
41	2015	-0.2	-0.5	-0.3	-1.5	-3.2	-4.7	-1.5	-5.0	-3.1	-2.2	-2.5	-0.9	-2.14
42	2016	-0.3	-0.7	-0.4	-2.0	-3.6	-4.2	-0.2	-6.2	-3.0	-1.6	-1.7	-1.1	-2.08
	Media	-0.26	-0.53	-0.33	-1.59	-3.19	-4.19	-4.63	-5.73	-2.69	-2.00	-2.23	-1.02	-2.36

Datos históricos de Temperatura mínima mensual en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura mínima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura mínima dentro de la cuenca del río Choccoro; esto es producto de calibración de datos de temperatura mínima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura mínima satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Choccoro. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.19. *Tmín en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	-0.2	-0.1	0.0	-1.1	-2.8	-6.4	-8.4	-9.3	-2.0	-2.3	-2.1	-0.9	-2.98
2	1976	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.9	-3.5	-8.3	-5.5	-1.8	-1.9	-2.3	-1.3	-2.52
3	1977	-0.2	-0.1	0.0	-1.2	-3.1	-4.8	-8.6	-5.7	-3.1	-2.2	-2.0	-1.3	-2.69
4	1978	-0.3	-0.2	0.0	-1.6	-5.1	-6.4	-18.6	-8.2	-3.2	-2.2	-2.4	-1.2	-4.13
5	1979	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.7	-5.4	-1.0	-2.2	-2.3	-2.4	-1.9	-0.9	-1.79
6	1980	-0.2	-0.1	0.0	-1.1	-2.8	-6.4	-8.4	-9.3	-2.0	-2.3	-2.1	-0.9	-2.98
7	1981	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.9	-3.5	-8.3	-5.5	-1.8	-1.9	-2.3	-1.3	-2.52
8	1982	-0.2	-0.1	0.0	-1.2	-3.1	-4.8	-8.6	-5.7	-3.1	-2.2	-2.0	-1.3	-2.69
9	1983	-0.3	-0.2	0.0	-1.6	-5.1	-6.4	-18.6	-8.2	-3.2	-2.2	-2.4	-1.2	-4.13
10	1984	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.7	-5.4	-1.0	-2.2	-2.3	-2.4	-1.9	-0.9	-1.79
11	1985	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-4.0	2.7	-1.5	-6.2	-2.6	-2.2	-1.8	-1.1	-1.54
12	1986	-0.2	-0.1	0.0	-1.2	-2.3	-4.6	5.8	-6.5	-2.9	-1.5	-1.6	-1.4	-1.38
13	1987	-0.3	-0.2	0.0	-1.4	-3.2	-5.4	-9.8	-7.0	-4.0	-2.6	-2.9	-1.6	-3.18
14	1988	-0.3	-0.2	0.0	-1.5	-3.5	-5.4	-1.4	-8.7	-3.6	-2.6	-2.4	-1.1	-2.57
15	1989	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-2.3	-3.3	0.4	-6.1	-3.7	-2.6	-1.6	-1.2	-1.83
16	1990	-0.3	-0.2	0.0	-1.5	-3.9	-4.3	-4.7	-2.7	-2.8	-2.5	-2.6	-1.4	-2.24
17	1991	-0.3	-0.2	0.0	-1.5	-4.0	-5.5	-4.4	-3.6	-2.7	-2.6	-1.7	-1.0	-2.30
18	1992	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-5.1	-7.1	0.7	-4.7	-3.2	-2.2	-2.0	-1.2	-2.22
19	1993	-0.2	-0.1	0.0	-1.5	-4.8	-2.8	-8.3	-1.3	-3.4	-2.3	-2.6	-1.6	-2.40
20	1994	-0.2	-0.1	0.0	-1.4	-3.4	-2.4	-3.5	-3.9	-3.5	-2.3	-2.5	-1.4	-2.06
21	1995	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-4.3	-5.5	-16.9	-12.7	-3.6	-2.6	-2.2	-1.1	-4.22
22	1996	-0.2	-0.2	0.0	-1.4	-4.5	-3.5	2.3	-10.5	-3.8	-2.8	-1.6	-1.2	-2.28
23	1997	-0.2	-0.1	0.0	-1.0	-3.2	-4.1	-13.1	-5.7	-4.2	-2.9	-2.2	-1.7	-3.21
24	1998	-0.3	-0.2	0.0	-2.0	-4.8	-7.6	-17.4	-13.4	-4.7	-2.8	-1.9	-1.2	-4.69

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	-0.2	-0.2	0.0	-1.1	-3.4	-2.9	-2.8	-1.3	-3.4	-2.0	-1.8	-1.2	-1.68
26	2000	-0.2	-0.1	0.0	-1.2	-3.8	-5.3	-0.5	-10.9	-3.7	-2.3	-1.8	-1.1	-2.59
27	2001	-0.2	-0.1	0.0	-1.0	-3.5	-2.6	-9.2	1.4	-3.9	-2.2	-2.5	-1.1	-2.09
28	2002	-0.2	-0.2	0.0	-1.4	-3.6	-4.1	-2.8	-4.8	-3.2	-2.6	-2.3	-1.3	-2.21
29	2003	-0.3	-0.2	0.0	-1.1	-4.1	-5.5	-8.5	-3.3	-2.9	-2.6	-2.4	-1.6	-2.70
30	2004	-0.2	-0.2	0.0	-1.5	-4.2	-2.5	-10.0	-1.9	-3.8	-2.4	-2.6	-1.3	-2.56
31	2005	-0.3	-0.2	0.0	-1.6	-4.4	-6.0	-2.4	-3.9	-2.8	-2.4	-2.1	-1.3	-2.27
32	2006	-0.2	-0.2	0.0	-1.3	-1.1	-6.8	-4.0	-7.0	-3.1	-2.1	-2.2	-1.4	-2.45
33	2007	-0.3	-0.1	0.0	-1.2	-3.4	-2.2	-4.4	-6.5	-3.2	-2.2	-2.6	-1.1	-2.28
34	2008	-0.2	-0.1	0.0	-1.0	-2.4	-2.2	-6.7	-9.6	-3.7	-2.5	-2.5	-1.3	-2.69
35	2009	-0.2	-0.2	0.0	-1.5	-3.5	-3.6	-9.9	-9.5	-4.0	-2.7	-2.6	-1.1	-3.24
36	2010	-0.2	-0.2	0.0	-1.7	-4.1	-7.1	-1.5	-0.9	-3.9	-2.2	-2.4	-1.2	-2.13
37	2011	-0.2	-0.1	0.0	-1.2	-2.1	-1.7	-3.9	-7.9	-3.1	-2.4	-2.6	-1.2	-2.21
38	2012	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-2.8	-2.5	1.8	-2.9	-3.6	-2.3	-2.3	-1.0	-1.45
39	2013	-0.2	-0.2	0.0	-1.1	-4.5	-5.9	-1.9	-3.7	-3.7	-2.5	-2.3	-1.3	-2.27
40	2014	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.1	-4.9	-7.6	-5.2	-3.2	-2.3	-2.3	-1.3	-2.63
41	2015	-0.2	-0.1	0.0	-1.3	-3.6	-5.0	-1.9	-5.0	-3.8	-2.6	-2.5	-1.1	-2.26
42	2016	-0.3	-0.2	0.0	-1.6	-4.1	-4.4	-0.2	-6.3	-3.6	-1.9	-1.6	-1.4	-2.15
	Media	-0.23	-0.15	-0.03	-1.34	-3.62	-4.45	-5.67	-5.81	-3.24	-2.35	-2.20	-1.24	-2.53

Datos históricos de Temperatura mínima mensual en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura mínima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura mínima dentro de la cuenca del río Chicllarazo; esto es producto de calibración de datos de temperatura mínima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura mínima satelital M2SMNXSLV, en la estaciones meteorológicas Choccoro y Apacheta, que son similares a la zona de la cuenca del río Chicllarazo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.20. *Tmín en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (°C)*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.7	-0.6	-0.4	-1.79
2	1976	0.0	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.1	-0.7	-0.6	-1.79
3	1977	0.0	0.1	0.1	0.0	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.3	-0.3	-0.4	-1.73
4	1978	-0.1	0.1	0.2	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	0.0	-0.2	-0.4	-1.71
5	1979	0.0	0.1	0.0	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.8	-0.2	-0.1	-1.74
6	1980	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.7	-0.6	-0.4	-1.79
7	1981	0.0	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.1	-0.7	-0.6	-1.79
8	1982	0.0	0.1	0.1	0.0	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.3	-0.3	-0.4	-1.73
9	1983	-0.1	0.1	0.2	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	0.0	-0.2	-0.4	-1.71
10	1984	0.0	0.1	0.0	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.8	-0.2	-0.1	-1.74
11	1985	0.0	0.1	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.9	-0.3	-0.5	-1.79
12	1986	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.9	-0.1	-0.5	-1.79
13	1987	-0.1	0.1	0.0	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.3	-0.2	-1.2	-0.8	-1.74
14	1988	-0.1	0.1	0.1	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.2	-0.7	-0.7	-0.3	-1.70
15	1989	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-1.1	-0.6	-0.1	-1.80
16	1990	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.5	-1.2	-0.7	-1.87
17	1991	-0.1	0.2	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.5	-0.6	0.0	-1.76
18	1992	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.4	-0.6	-0.2	-1.75
19	1993	0.0	0.0	0.1	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.6	-0.7	-0.8	-1.86
20	1994	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	0.0	-0.2	-0.7	-0.6	-1.66
21	1995	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.2	-1.0	-0.4	-0.3	-1.68
22	1996	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-0.2	-3.3	-8.7	-0.2	-0.1	-0.8	-0.6	-0.4	-1.21
23	1997	0.0	0.1	0.0	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.7	-1.1	-0.6	-1.0	-1.83
24	1998	-0.1	0.1	0.2	-0.6	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.4	-0.7	-0.6	-0.5	-1.73

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Media
25	1999	-0.1	0.1	0.1	-0.1	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.3	-0.6	-0.5	-1.76
26	2000	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.8	0.0	-0.4	-1.77
27	2001	-0.1	0.1	0.1	0.0	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.6	-0.8	-0.8	-0.4	-1.73
28	2002	-0.1	0.1	0.1	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.9	-0.9	-0.6	-1.87
29	2003	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-0.2	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.8	-0.8	-1.0	-1.75
30	2004	-0.1	0.1	0.1	-0.4	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.7	-0.5	-1.0	-0.7	-1.77
31	2005	-0.1	0.1	0.1	-0.5	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.8	-0.5	-0.6	-1.83
32	2006	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.6	-0.8	-0.7	-1.83
33	2007	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	0.0	-0.3	-0.6	-0.2	-1.64
34	2008	-0.1	0.0	0.0	0.0	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.4	-1.2	-0.5	-1.83
35	2009	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.6	-1.0	-0.9	-0.5	-1.79
36	2010	-0.1	0.1	0.1	-0.5	-0.4	-3.3	-8.7	-4.6	-0.2	-0.2	-0.6	-0.6	-1.57
37	2011	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.2	-1.1	-0.5	-1.81
38	2012	0.0	0.0	0.1	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.2	-0.3	-0.8	-0.5	-1.68
39	2013	-0.1	0.1	0.1	0.0	-0.3	-3.3	-8.7	-4.6	-1.6	-0.5	-0.6	-0.5	-1.66
40	2014	-0.1	0.1	0.1	-0.2	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.4	-0.8	-0.6	-0.5	-1.73
41	2015	-0.1	0.1	0.1	-0.3	-1.7	-3.3	-8.7	-4.6	-0.3	-1.1	-0.7	-0.6	-1.76
42	2016	-0.1	0.2	0.2	-0.6	0.0	-3.3	-8.7	-4.6	-0.4	-0.3	0.0	-0.6	-1.52
Media		-0.07	0.09	0.10	-0.24	-1.52	-3.26	-8.69	-4.48	-1.11	-0.56	-0.60	-0.49	-1.74

Datos históricos de Temperatura mínima mensual en la subcuenca de la bocatoma Apacheta de la Irrigación cachi, la tabla mostrada es producto de dato satelital de temperatura mínima que ha sido corregido por el factor de corrección para la temperatura mínima dentro de la cuenca del río Apacheta; esto es producto de calibración de datos de temperatura mínima observada por la Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, y datos de temperatura mínima satelital M2SMNXSLV, en la estación meteorológica Apacheta. Fuente: elaboración propia.

Anexo H. Tabla de Radiación solar extraterrestre

Tabla 4.2.21. *Radiación solar extraterrestre en mm/día para hemisferio sur*

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
70	16.9	11.7	6.4	2	0.1	0	0	0.9	4.4	9.6	15.2	18.5
68	16.7	12	6.9	2.4	0.3	0	0	1.3	4.9	10	15.3	18.2
66	16.7	12.2	7.4	2.9	0.6	0	0.2	1.7	5.3	10.4	15.3	18
64	16.7	12.6	7.9	3.4	1	0.2	0.5	2.2	5.9	10.7	15.5	17.9
62	16.8	12.9	8.3	3.9	1.4	0.5	0.8	2.6	6.3	11.1	15.6	17.9
60	16.9	13.2	8.8	4.4	1.8	0.8	1.2	3.1	6.8	11.5	15.8	17.9
58	17	13.5	9.2	4.9	2.2	1.2	1.6	3.6	7.3	11.8	16	18
56	17.1	13.8	9.6	5.4	2.7	1.6	2	4	7.8	12.2	16.1	18
54	17.2	14	10	5.9	3.1	2	2.4	4.5	8.2	12.5	16.3	18.1
52	17.3	14.3	10.4	6.4	3.6	2.4	2.9	5	8.7	12.8	16.4	18.1
50	17.4	14.5	10.9	6.8	4.1	2.9	3.3	5.5	9.1	13.1	16.6	18.2
48	17.5	14.8	11.2	7.3	4.5	3.3	3.8	6	9.5	13.4	16.7	18.2
46	17.6	15	11.6	7.8	5	3.8	4.2	6.4	9.9	13.7	16.8	18.2
44	17.6	15.2	12	8.2	5.5	4.3	4.7	6.9	10.3	13.9	16.9	18.2
42	17.7	15.4	12.3	8.7	6	4.7	5.2	7.3	10.7	14.2	17	18.2
40	17.7	15.6	12.6	9.1	6.4	5.2	5.7	7.8	11.1	14.4	17.1	18.2
38	17.7	15.7	12.9	9.5	6.9	5.7	6.2	8.2	11.4	14.6	17.1	18.2
36	17.7	15.9	13.2	9.9	7.4	6.2	6.6	8.7	11.8	14.8	17.1	18.1
34	17.7	16	13.5	10.3	7.8	6.6	7.1	9.1	12.1	15	17.1	18.1
32	17.7	16.1	13.8	10.7	8.3	7.1	7.6	9.5	12.4	15.1	17.1	18
30	17.6	16.2	14	11.1	8.7	7.6	8	9.9	12.7	15.3	17.1	17.9
28	17.6	16.2	14.2	11.5	9.2	8	8.4	10.3	13	15.4	17.1	17.8
26	17.5	16.3	14.4	11.8	9.6	8.5	8.9	10.7	13.3	15.5	17.1	17.7
24	17.3	16.3	14.6	12.2	10	8.9	9.3	11.1	13.5	15.6	17	17.6
22	17.2	16.4	14.8	12.5	10.4	9.4	9.8	11.5	13.8	15.7	16.9	17.4
20	17.1	16.3	14.9	12.8	10.9	9.8	10.2	11.8	14	15.8	16.8	17.2
18	16.9	16.3	15.1	13.1	11.2	10.2	10.6	12.2	14.2	15.8	16.7	17
16	16.8	16.3	15.2	13.4	11.6	10.7	11	12.5	14.4	15.8	16.6	16.8
14	16.6	16.2	15.3	13.6	12	11.1	11.4	12.8	14.5	15.8	16.4	16.6
12	16.4	16.2	15.4	13.9	12.3	11.5	11.8	13.1	14.7	15.8	16.2	16.3
10	16.1	16	15.4	14.1	12.7	11.9	12.2	13.4	14.8	15.7	16	16.1
8	15.9	15.9	15.5	14.3	13	12.2	12.5	13.6	14.9	15.7	15.8	15.8
6	15.6	15.8	15.5	14.5	13.3	12.6	12.9	13.9	15	15.6	15.6	15.5
4	15.3	15.6	15.5	14.7	13.6	13	13.2	14.1	15.1	15.5	15.3	15.2
2	15.1	15.5	15.5	14.9	13.9	13.3	13.5	14.4	15.1	15.4	15.1	14.9
0	14.8	15.3	15.5	15	14.2	13.6	13.8	14.6	15.2	15.3	14.8	14.5

Tabla de Radiación solar extraterrestre en mm/día (Allen et al., 1998) (Original en MJ·m⁻²·día⁻¹; 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹).
Fuente: Sánchez, J. (2015), Hidrología – Hidrogeología, Departamento de Geología – Universidad de Salamanca, España. Obtenido de <http://hidrologia.usal.es>.

Anexo I. ETP en las cuencas hidrográficas en estudio

Tabla 4.2.22. ETP en microcuenca de bocatoma Choccoro (1975-2016) en (mm)

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	126.6	113.8	110.4	93.2	88.0	88.5	87.8	106.9	96.5	109.1	117.8	129.8	1268.3
2	1976	126.6	113.7	110.3	93.7	90.1	83.0	87.6	98.6	96.0	108.1	118.5	130.9	1257.2
3	1977	126.5	113.9	110.3	93.6	88.5	85.4	88.2	98.9	99.0	109.0	117.4	130.8	1261.4
4	1978	126.7	114.3	110.6	94.8	92.5	88.5	103.3	104.6	99.3	108.9	118.9	130.6	1293.1
5	1979	126.4	113.6	110.1	93.7	89.7	86.6	74.6	90.8	97.2	109.6	117.1	129.8	1239.3
6	1980	126.6	113.8	110.4	93.2	88.0	88.5	87.8	106.9	96.5	109.1	117.8	129.8	1268.3
7	1981	123.2	103.3	117.8	94.7	87.9	81.2	92.9	95.8	92.0	108.8	123.0	126.6	1247.2
8	1982	123.0	101.0	111.2	90.7	89.0	81.7	90.5	94.2	98.7	112.3	118.9	135.9	1247.2
9	1983	134.5	118.4	130.7	103.2	99.3	86.9	114.2	108.0	103.3	119.1	127.9	132.3	1377.7
10	1984	117.3	92.9	104.0	89.2	86.3	78.5	74.2	86.9	97.1	111.1	118.8	122.5	1178.7
11	1985	115.1	94.9	99.8	86.8	83.4	58.0	74.0	98.9	99.4	120.6	115.3	124.8	1170.9
12	1986	116.1	91.6	100.1	87.9	81.7	81.4	57.1	99.7	95.5	113.9	120.3	131.8	1177.1
13	1987	118.2	107.3	119.5	97.3	90.0	82.2	97.2	107.0	111.6	123.9	127.0	141.2	1322.5
14	1988	120.9	107.7	111.7	89.2	86.2	85.1	78.0	110.0	105.8	117.1	124.3	125.1	1261.0
15	1989	115.5	102.1	106.7	88.7	80.3	76.4	72.0	98.0	108.3	113.1	123.5	140.9	1225.5
16	1990	118.4	109.2	116.1	97.7	90.2	77.6	83.0	91.4	103.0	115.0	125.7	134.7	1262.1
17	1991	131.2	112.0	116.7	97.5	92.7	87.6	86.1	95.5	102.4	119.6	118.7	139.8	1299.7
18	1992	126.2	115.8	118.9	102.8	99.9	88.6	73.7	97.2	107.3	112.9	125.4	137.4	1305.9
19	1993	119.1	106.8	109.7	92.8	95.3	80.3	89.9	87.3	103.0	112.2	123.8	132.1	1252.3
20	1994	119.7	98.7	103.5	88.1	87.3	76.1	80.7	95.0	103.8	119.3	124.4	133.2	1229.7
21	1995	119.9	105.4	106.6	96.2	90.9	85.4	110.0	123.6	105.3	119.7	124.0	130.4	1317.6
22	1996	121.1	103.9	109.4	92.0	90.2	80.0	71.3	109.6	104.4	118.5	119.3	125.5	1245.1
23	1997	115.1	95.7	102.4	87.0	84.1	83.9	99.2	95.5	111.5	129.1	126.4	139.2	1269.1
24	1998	120.7	108.5	116.9	105.4	99.3	91.2	110.2	122.6	116.8	121.0	118.3	129.3	1360.4

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	119.6	94.6	98.8	81.9	81.0	75.8	76.1	86.9	99.5	112.0	122.2	126.9	1175.4
26	2000	114.5	95.3	98.1	87.9	87.6	83.9	72.8	108.8	109.0	110.5	129.7	128.2	1226.3
27	2001	116.5	99.5	104.9	90.9	86.6	74.5	87.9	75.6	100.7	111.2	122.9	127.8	1199.0
28	2002	121.9	97.4	106.7	91.3	86.3	79.6	74.8	91.9	98.8	114.9	121.4	131.6	1216.5
29	2003	124.2	102.9	106.2	88.0	85.4	85.1	88.8	92.1	100.2	124.9	126.4	133.0	1257.1
30	2004	118.9	104.1	112.0	96.3	91.9	74.2	88.7	84.2	103.3	120.9	126.6	129.6	1250.5
31	2005	126.4	107.5	119.0	99.1	95.4	88.2	81.9	97.3	101.7	115.0	123.4	130.6	1285.5
32	2006	107.8	99.0	105.8	89.6	78.6	84.6	79.9	99.8	105.3	117.6	120.6	133.8	1222.5
33	2007	119.9	101.6	102.9	85.0	85.3	75.0	80.1	101.0	99.2	116.1	126.6	126.1	1218.9
34	2008	109.6	94.3	99.2	85.3	80.8	75.2	87.9	113.9	106.9	116.9	127.5	127.9	1225.3
35	2009	118.8	101.1	108.6	93.4	85.1	79.2	91.1	111.1	110.9	122.9	126.6	126.1	1274.8
36	2010	116.6	105.3	115.8	98.9	91.1	88.9	84.3	90.2	108.2	118.7	128.2	125.9	1272.3
37	2011	116.3	94.7	99.2	83.8	75.1	72.5	77.5	103.4	100.1	114.4	123.9	116.8	1177.5
38	2012	114.8	91.6	97.2	83.7	82.2	72.3	67.2	92.4	103.1	117.7	121.1	119.3	1162.6
39	2013	109.8	100.5	111.0	96.4	91.0	83.1	74.6	91.6	108.7	117.7	127.8	129.3	1241.6
40	2014	115.2	99.0	107.6	91.2	86.5	85.7	88.1	95.9	100.7	116.5	128.8	133.9	1249.2
41	2015	113.0	99.2	104.2	86.2	85.5	83.1	79.7	98.5	109.2	122.3	128.6	126.1	1235.7
42	2016	131.4	106.8	119.3	100.6	93.3	81.9	75.7	102.3	109.7	116.3	125.3	133.1	1295.7
Media		120.24	103.63	109.06	92.35	88.09	81.55	84.29	99.05	103.07	115.89	123.09	130.25	1248.78

Datos históricos de evapotranspiración potencial mensual calculados para la microcuenca de bocatoma Choccoro de la Irrigación cachi, fue calculado con el método de Hargreaves propuesto por Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006), Estudio Riego y Drenaje FAO 56, así mismo el método de cálculo de evapotranspiración potencial ha sido validado por varios investigadores en América del Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.23. ETP en subcuenca de bocatoma Chicllarazo (1975-2016) en (mm)

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	126.4	113.9	108.2	94.0	89.4	87.7	89.8	107.6	98.2	113.5	118.4	126.9	1273.9
2	1976	126.3	113.8	108.2	94.5	91.8	81.8	89.6	99.2	97.6	112.2	119.1	128.4	1262.5
3	1977	126.2	113.9	108.2	94.4	89.9	84.4	90.2	99.4	101.1	113.4	118.0	128.2	1267.4
4	1978	126.5	114.0	108.2	95.4	94.4	87.7	107.9	105.2	101.5	113.2	119.5	128.0	1301.5
5	1979	126.2	113.8	108.2	94.5	91.3	85.7	74.1	91.2	99.0	114.0	117.7	127.0	1242.7
6	1980	126.4	113.9	108.2	94.0	89.4	87.7	89.8	107.6	98.2	113.5	118.4	126.9	1273.9
7	1981	123.0	103.2	115.6	95.5	89.6	80.1	94.7	96.3	93.6	113.0	123.6	124.2	1252.3
8	1982	122.8	100.8	109.1	91.4	90.4	80.8	92.6	94.7	100.9	116.8	119.5	133.0	1252.9
9	1983	134.3	118.1	128.2	104.0	101.3	86.1	118.6	108.7	105.5	124.0	128.6	129.5	1386.9
10	1984	117.1	92.7	102.1	89.8	87.9	77.8	73.7	87.2	98.9	115.6	119.4	120.0	1182.2
11	1985	114.8	94.6	97.9	87.4	85.0	56.4	73.7	99.4	101.4	125.5	115.9	122.3	1174.2
12	1986	115.9	91.4	98.3	88.5	82.9	80.5	53.1	100.2	97.5	118.2	121.0	129.1	1176.7
13	1987	118.0	106.8	117.5	98.1	91.5	81.4	99.4	107.6	114.3	129.1	127.7	138.3	1329.8
14	1988	120.6	107.3	109.5	89.7	87.8	84.2	77.5	110.7	108.2	122.0	124.9	122.6	1265.1
15	1989	115.2	101.9	104.7	89.4	81.6	75.5	70.9	98.5	110.8	117.8	124.2	137.8	1228.1
16	1990	118.2	108.9	114.0	98.5	91.9	76.7	83.8	91.8	105.1	119.8	126.4	132.0	1267.0
17	1991	131.0	111.5	114.5	98.3	94.4	86.6	86.7	95.9	104.4	124.5	119.3	136.6	1303.9
18	1992	126.0	116.0	116.8	103.7	101.9	87.9	72.4	97.7	109.5	117.4	126.0	134.4	1309.7
19	1993	118.9	106.9	107.6	93.4	97.2	79.1	91.9	87.7	105.3	116.7	124.5	129.6	1258.7
20	1994	119.4	98.4	101.5	88.7	88.8	75.0	81.0	95.5	106.2	124.1	125.0	130.5	1234.2
21	1995	119.6	105.2	104.5	97.0	92.7	84.5	114.0	124.5	107.8	124.8	124.7	127.7	1327.0
22	1996	120.8	103.6	107.3	92.6	92.0	79.0	69.2	110.2	106.9	123.5	119.9	123.0	1248.2
23	1997	114.9	95.5	100.7	87.8	85.5	82.9	102.4	96.0	114.2	134.7	127.1	136.4	1278.2
24	1998	120.5	108.1	114.4	106.0	101.3	90.4	114.4	123.5	119.8	126.2	118.9	126.7	1370.1

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	119.4	94.1	96.9	82.6	82.5	74.8	76.3	87.2	101.9	116.4	122.9	124.3	1179.3
26	2000	114.3	95.1	96.2	88.6	89.3	83.0	72.1	109.5	111.5	114.9	130.4	125.5	1230.4
27	2001	116.3	99.3	102.8	91.8	88.2	73.5	90.2	75.7	103.3	115.6	123.6	125.1	1205.4
28	2002	121.7	96.9	104.6	91.9	87.9	78.6	75.1	92.3	101.0	119.7	122.0	129.0	1220.7
29	2003	124.0	102.4	104.1	88.7	87.0	84.2	90.8	92.5	102.3	130.2	127.0	130.4	1263.8
30	2004	118.7	103.7	109.8	96.9	93.6	73.1	91.2	84.5	105.8	125.9	127.3	127.0	1257.6
31	2005	126.2	107.2	116.7	99.8	97.2	87.3	81.8	97.8	103.7	119.7	124.0	128.0	1289.3
32	2006	107.6	98.6	103.7	90.2	79.5	84.0	80.5	100.3	107.6	122.3	121.2	131.1	1226.6
33	2007	119.7	101.3	100.7	85.6	86.8	73.9	80.8	101.6	101.4	120.8	127.2	123.6	1223.6
34	2008	109.4	94.2	97.4	86.0	82.0	74.1	89.3	114.6	109.4	121.8	128.2	125.3	1231.7
35	2009	118.5	100.8	106.5	94.0	86.6	78.2	93.5	111.8	113.5	128.2	127.2	123.5	1282.4
36	2010	116.4	105.2	113.5	99.5	92.9	88.2	83.8	90.6	110.8	123.5	128.9	123.4	1276.6
37	2011	116.1	94.6	97.2	84.3	76.3	71.3	78.1	104.0	102.3	119.0	124.5	114.6	1182.4
38	2012	114.6	91.6	95.3	84.2	83.6	71.3	65.5	92.8	105.6	122.5	121.8	117.0	1165.5
39	2013	109.6	100.2	108.8	97.3	92.8	82.3	74.5	92.0	111.2	122.6	128.5	126.7	1246.7
40	2014	115.0	98.9	105.7	91.9	87.9	84.7	89.9	96.3	103.0	121.3	129.5	131.1	1255.2
41	2015	112.8	99.0	102.2	86.8	87.1	82.2	79.4	99.0	111.8	127.5	129.3	123.5	1240.6
42	2016	131.2	106.2	116.9	101.3	95.1	80.9	74.8	102.9	112.2	120.9	126.0	130.4	1298.6
Media		120.00	103.42	106.96	93.05	89.68	80.61	85.22	99.56	105.34	120.63	123.74	127.59	1254.01

Datos históricos de evapotranspiración potencial mensual calculados para la subcuenca de bocatoma Chichllarazo de la Irrigación cachi, fue calculado con el método de Hargreaves propuesto por Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006), Estudio Riego y Drenaje FAO 56, así mismo el método de cálculo de evapotranspiración potencial ha sido validado por varios investigadores en América del Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.24. ETP en subcuenca de bocatoma Apacheta (1975-2016) en (mm)

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
1	1975	105.2	92.7	96.4	82.8	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	98.8	95.3	102.5	1081.3
2	1976	105.0	92.6	96.5	83.6	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	97.0	95.5	103.3	1081.0
3	1977	105.0	92.6	96.4	82.7	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	97.6	94.3	102.6	1078.8
4	1978	105.1	92.5	96.1	83.7	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	96.7	93.9	102.4	1078.0
5	1979	104.9	92.7	96.6	82.8	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	99.3	94.0	101.4	1079.2
6	1980	105.2	92.7	96.4	82.8	76.6	72.5	82.1	89.5	86.7	98.8	95.3	102.5	1081.3
7	1981	101.9	90.6	95.1	84.3	76.3	66.9	84.4	83.4	84.6	96.7	102.4	105.1	1071.6
8	1982	103.5	88.6	94.3	80.5	75.3	65.5	82.0	84.7	86.6	98.6	97.1	111.6	1068.3
9	1983	116.2	101.5	109.5	90.9	81.5	68.0	87.2	91.7	89.6	105.3	104.8	105.5	1151.6
10	1984	97.8	83.5	89.5	79.4	76.0	65.2	79.3	82.4	87.6	100.8	97.4	98.9	1037.7
11	1985	97.4	85.2	85.6	74.8	72.7	64.2	77.9	86.0	87.8	105.8	99.1	100.2	1036.6
12	1986	99.2	83.1	89.7	79.8	71.7	69.3	78.3	84.4	86.6	105.3	101.9	107.4	1056.6
13	1987	104.5	96.4	100.5	87.5	78.4	69.8	86.0	92.6	93.5	109.5	108.6	113.7	1141.0
14	1988	101.4	96.9	95.0	79.8	76.6	69.1	83.6	93.1	90.6	104.3	105.6	99.8	1095.6
15	1989	97.9	89.4	89.8	81.7	75.8	66.6	80.1	85.6	93.0	106.3	106.8	109.0	1082.0
16	1990	104.3	97.4	101.8	87.2	79.1	67.3	81.9	88.3	90.3	101.3	107.8	110.7	1117.6
17	1991	111.6	99.1	98.8	87.5	82.5	71.5	84.3	91.0	93.0	103.9	101.3	108.7	1133.2
18	1992	111.4	98.6	103.2	90.5	84.6	69.9	83.1	86.0	90.1	100.9	102.8	111.7	1132.9
19	1993	102.6	92.8	97.1	82.4	79.7	71.2	82.9	87.4	91.6	105.3	104.7	111.6	1109.1
20	1994	102.4	88.9	91.7	80.8	79.4	67.5	83.5	90.2	90.0	105.6	106.5	107.6	1094.1
21	1995	105.0	94.0	93.2	87.4	78.3	69.4	87.6	98.7	90.6	108.4	104.5	104.2	1121.5
22	1996	103.3	91.4	96.4	85.2	74.6	68.7	84.2	78.2	89.5	108.3	100.4	102.2	1082.4
23	1997	98.6	86.2	92.2	80.9	74.1	66.5	87.9	84.5	95.3	116.4	109.4	117.6	1109.7
24	1998	114.7	103.0	111.1	97.8	85.4	73.6	90.4	94.9	95.0	109.1	98.0	106.9	1179.8

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total
25	1999	104.7	87.2	89.8	78.0	74.7	66.7	81.9	88.7	87.8	103.5	104.0	101.6	1068.6
26	2000	99.0	86.4	87.9	83.1	80.2	69.9	80.2	89.7	96.2	102.1	108.2	102.1	1085.0
27	2001	98.1	89.1	92.3	84.9	77.4	68.2	82.5	86.8	87.5	108.2	107.4	108.6	1090.9
28	2002	108.1	89.4	96.9	86.3	78.4	71.9	79.7	87.5	91.5	106.0	105.1	112.5	1113.2
29	2003	111.3	94.7	96.9	84.3	74.0	73.5	85.1	89.4	91.6	116.1	110.2	111.0	1138.0
30	2004	104.5	94.0	102.3	89.5	80.9	68.5	81.8	85.2	90.3	110.8	109.6	109.2	1126.5
31	2005	108.6	98.0	102.6	92.7	83.3	72.7	87.5	92.5	91.8	107.2	106.1	105.3	1148.3
32	2006	96.5	91.0	95.6	84.6	76.6	69.8	83.3	88.0	93.2	105.8	104.4	110.8	1099.5
33	2007	107.4	90.0	91.8	79.9	76.2	70.4	81.2	89.7	85.7	105.7	107.1	103.0	1088.0
34	2008	99.7	87.8	89.0	78.7	74.2	68.8	85.1	94.2	94.5	105.2	112.8	104.8	1094.7
35	2009	103.8	90.8	97.2	86.4	76.2	70.0	82.3	90.7	97.2	114.6	105.2	104.0	1118.4
36	2010	104.6	97.0	104.7	92.1	78.0	73.7	88.0	92.6	90.8	105.5	106.3	102.8	1135.9
37	2011	100.1	83.8	85.8	79.1	73.5	68.4	80.3	89.7	90.3	102.0	108.9	100.2	1062.2
38	2012	100.3	79.8	89.1	77.9	76.4	67.2	83.1	89.0	88.7	107.5	103.4	100.3	1062.6
39	2013	103.9	89.5	97.1	87.3	75.3	68.9	82.1	87.3	97.6	106.5	107.9	104.3	1107.7
40	2014	99.1	89.1	95.2	85.9	77.7	74.2	83.6	88.7	88.1	109.3	109.6	108.1	1108.7
41	2015	104.0	91.6	96.1	81.7	76.9	73.3	84.7	92.3	93.1	117.5	111.2	112.7	1135.2
42	2016	120.5	100.8	112.5	94.9	79.1	72.6	87.7	93.2	95.6	106.2	105.9	109.8	1178.7
Media		104.25	91.72	96.09	84.39	77.40	69.85	83.27	88.93	90.40	105.23	103.82	106.15	1111.03

Datos históricos de evapotranspiración potencial mensual calculados para la subcuenca de la bocatoma Apacheta de la Irrigación cachi, fue calculado con el método de Hargreaves propuesto por Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006), Estudio Riego y Drenaje FAO 56, así mismo el método de cálculo de evapotranspiración potencial ha sido validado por varios investigadores en América del Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo J. Qmed mensual observados en las estaciones hidrométricas

Tabla 4.2.25. *Qmed mens. en estación Capillapata Choccoro*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	1998					0.04	0.03	0.07	0.07	0.09	0.10	0.08	0.14
2	1999	1.52	1.92	2.10	1.89	0.34	0.13	0.12	0.15	0.13	0.14	0.12	0.11
3	2000	0.72	0.73	0.60	0.32	0.43	0.55	0.41	0.32	0.33	0.33	0.57	0.50
4	2001	0.95	2.49	1.29	0.43	0.24	0.15	0.11	0.08	0.07	0.06	0.07	0.08
5	2002	0.17	0.94	1.32	0.10	0.06	0.07	0.06	0.05	0.04	0.25	0.13	0.03
6	2003	1.30	2.44	1.84	0.56	0.23	0.10	0.06	0.06	0.05	0.25	1.21	3.54
7	2004	1.22	1.53	0.91	0.74				0.07	0.09	0.09	0.10	0.13
8	2005	0.68	0.96	1.50	0.41	0.14	0.09	0.08	0.06	0.07	0.08	0.18	0.22
9	2006	1.59	2.51	1.30	1.23	0.23	0.14	0.11	0.11	0.10	0.09	0.11	0.31
10	2007	0.90	1.52	1.62	0.29	0.34	0.13	0.09	0.32	0.40	0.09	0.56	1.53
Media		1.00	1.67	1.39	0.66	0.23	0.15	0.12	0.13	0.14	0.15	0.31	0.66

Registro histórico de caudales medios mensuales aforados en la estación hidrométrica que se encuentra en la bocatoma Choccoro de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Tabla 4.2.26. *Qmed mens. en la estación Chicllarazo*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	1988				6.90	3.28	1.57	0.32	0.12	0.06	0.13	0.17	0.34
2	1989	3.32	4.59	5.47	3.85	0.80	0.55	0.27	0.30	0.20	0.33	0.46	0.22
3	1990												
4	1991	2.37	5.48	3.36	2.09	0.78	0.44	0.13	0.10	0.15	0.22	0.33	0.25
5	1992	0.37	1.49	2.04	0.36	0.16	0.17	0.14	0.14	0.13	0.31	0.19	0.22
6	1993	2.37	3.94	6.44	2.67	1.17	0.53	0.61	0.20	0.19	0.67	2.95	6.01
7	1994	4.18	6.91	6.51	2.93	0.72	0.27	0.20	0.13	0.13	0.13	0.26	0.42
8	1995		2.80	6.97	1.80	0.35	0.19	0.17	0.13	0.15	0.15	0.31	0.88
9	1996	4.58	6.65	3.72	3.65	0.97	0.29	0.17	0.14	0.12	0.12	0.17	0.56
10	1997	2.24	5.71	3.24	0.73	0.32	0.21	0.17	0.27	0.35	0.36	0.84	2.12
11	1998	6.69	6.14	3.15	4.97	0.24	0.20	0.16	0.14	0.62	1.62	1.93	2.07
12	1999	2.08	9.19	7.06	4.75	1.27	1.47	0.21	0.14	0.15	0.54	0.23	0.88
13	2000	4.98	9.97	6.84	1.03	0.38	0.30	0.22	0.21	0.17	0.59	0.21	1.18
14	2001	5.12	3.10	3.67	1.15	0.80	0.29	0.22	0.15	0.19			
15	2002	1.13	6.77	5.60	1.56	0.61	0.42	0.48	0.37	0.53	0.45	0.66	1.38
16	2003	7.71	10.16	10.88	2.53	0.66	0.34						
Media		3.63	5.92	5.35	2.73	0.83	0.48	0.25	0.18	0.22	0.43	0.67	1.27

Registro histórico de caudales medios mensuales aforados en la estación hidrométrica que se encuentra en la bocatoma Chicllarazo de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Tabla 4.2.27. *Qmed mens. en la estación Apacheta*

N°	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1	1994				3.75	1.42	0.69	0.51	0.41	0.45	0.44	0.91	0.83
2	1995	4.45	4.97	10.17	2.00	0.64	0.43	0.39	0.36	0.33	0.37	1.22	1.52
3	1996	5.63	8.45	5.71	5.87	1.22	0.69	0.49	0.47	0.45	0.38	0.47	1.69
4	1997	2.82	4.94	2.60	0.89	0.55	0.35	0.29	0.36	0.41	0.54	2.15	2.44
5	1998	5.96	4.39	3.05	3.10	0.75	0.46	0.37	0.37				
6	1999												
7	2000	5.46	8.60	7.35	2.19	1.13	0.68	0.53	0.51	0.40	1.22	0.46	1.16
8	2001	6.45	6.10	6.84	2.83	1.83	1.16	0.88	0.71	0.97			
9	2002	2.52	8.18	6.08	3.14	1.27	1.00		0.59	0.65	1.13	2.38	4.30
10	2003	4.80	7.31	6.87	4.93	1.49	0.82	0.43	0.41	0.42	0.40	0.40	1.06
Media		4.76	6.62	6.09	3.19	1.14	0.70	0.49	0.47	0.51	0.64	1.14	1.86

Registro histórico de caudales medios mensuales aforados en la estación hidrométrica que se encuentra en la bocatoma Apacheta de la Irrigación cachi. Fuente: elaboración propia fuente: Red Hidrometeorológica del Gobierno Regional de Ayacucho.

Anexo K. Qmed mensual simulados en la bocatoma Choccoro

Tabla 4.2.28. *Q_{med mens. simulados (m³/s) en bocatoma Choccoro con Témez}*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	0.52	0.71	0.99	0.43	0.28	0.17	0.08	0.06	0.14	0.18	0.18	0.41
1976	0.83	1.17	1.01	0.46	0.20	0.10	0.21	0.20	0.56	0.25	0.11	0.34
1977	0.31	1.03	0.75	0.38	0.18	0.09	0.05	0.03	0.17	0.15	0.38	0.45
1978	0.72	0.60	0.49	0.29	0.14	0.06	0.03	0.03	0.14	0.31	0.31	0.46
1979	0.36	0.66	0.88	0.40	0.17	0.08	0.06	0.11	0.10	0.08	0.08	0.13
1980	0.37	0.36	0.52	0.28	0.13	0.07	0.81	0.34	0.43	0.74	0.38	0.33
1981	0.49	1.17	0.68	0.45	0.23	0.10	0.04	1.73	0.51	0.37	0.32	0.80
1982	0.79	1.15	0.77	0.44	0.20	0.09	0.05	0.44	0.49	0.61	0.38	0.20
1983	0.18	0.20	0.44	0.43	0.24	0.12	0.05	0.02	0.04	0.05	0.05	0.31
1984	0.69	1.54	0.73	0.42	0.25	0.21	0.11	0.39	0.29	1.14	0.62	0.99
1985	0.48	0.98	0.77	0.47	0.27	0.19	0.11	0.08	0.18	0.13	0.09	0.43
1986	1.06	1.54	1.18	0.60	0.33	0.16	0.21	0.53	0.35	0.21	0.13	0.28
1987	0.83	0.45	0.28	0.18	0.09	0.05	0.46	0.27	0.14	0.09	0.08	0.13
1988	0.65	0.77	0.93	0.51	0.31	0.17	0.07	0.03	0.02	0.07	0.06	0.37
1989	0.75	0.64	0.64	0.41	0.21	0.11	0.05	1.14	0.56	0.60	0.32	0.18
1990	0.38	0.24	0.18	0.13	0.41	0.64	0.38	0.82	0.92	0.61	0.49	0.61
1991	0.79	1.35	1.14	0.54	0.29	0.15	0.07	0.03	0.03	0.16	0.20	0.18
1992	0.30	0.87	0.64	0.35	0.16	0.09	0.09	0.16	0.11	0.45	0.26	0.30
1993	0.96	0.78	1.12	0.65	0.34	0.16	0.09	0.07	0.15	0.32	0.38	0.96
1994	0.92	1.03	1.07	0.57	0.28	0.13	0.05	0.02	0.06	0.08	0.10	0.25
1995	0.57	0.79	1.09	0.50	0.23	0.10	0.04	0.02	0.04	0.10	0.21	0.32
1996	0.75	1.13	1.17	0.59	0.28	0.12	0.05	0.04	0.06	0.11	0.10	0.39
1997	0.88	1.07	0.66	0.41	0.20	0.09	0.04	0.11	0.22	0.17	0.22	0.71
1998	0.97	0.93	0.88	0.44	0.20	0.10	0.05	0.02	0.02	0.15	0.15	0.33

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	0.63	1.20	1.04	0.66	0.32	0.14	0.06	0.02	0.18	0.24	0.19	0.89
2000	0.87	1.64	1.67	0.61	0.32	0.19	0.11	0.08	0.05	0.53	0.29	0.45
2001	1.27	0.98	1.61	0.64	0.51	0.27	0.15	0.11	0.09	0.13	0.20	0.18
2002	0.32	1.52	0.79	0.51	0.25	0.11	0.09	0.07	0.15	0.14	0.26	0.59
2003	0.46	1.10	0.84	0.58	0.29	0.14	0.08	0.08	0.09	0.16	0.15	0.28
2004	0.21	1.25	0.97	0.49	0.22	0.14	0.09	0.06	0.14	0.13	0.15	0.89
2005	0.55	0.83	1.11	0.47	0.23	0.11	0.06	0.08	0.43	0.38	0.28	0.76
2006	1.14	1.03	1.08	0.62	0.29	0.13	0.05	0.09	0.14	0.25	0.38	0.48
2007	0.94	0.75	1.41	0.62	0.31	0.14	0.06	0.03	0.26	0.23	0.17	0.70
2008	1.38	1.74	1.10	0.51	0.24	0.12	0.05	0.03	0.04	0.10	0.18	0.49
2009	1.16	1.14	0.73	0.49	0.26	0.13	0.08	0.05	0.06	0.08	0.18	0.37
2010	1.10	0.88	0.93	0.50	0.24	0.11	0.04	0.02	0.02	0.05	0.07	0.85
2011	1.77	2.50	1.00	0.46	0.18	0.08	0.05	0.03	0.07	0.15	0.29	0.68
2012	0.63	2.24	1.46	0.85	0.40	0.19	0.10	0.05	0.06	0.14	0.16	1.85
2013	1.15	0.97	0.91	0.41	0.19	0.22	0.15	0.11	0.10	0.20	0.16	0.61
2014	1.49	1.19	0.94	0.50	0.26	0.13	0.08	0.15	0.44	0.40	0.33	0.52
2015	1.51	1.51	1.11	0.73	0.40	0.20	0.09	0.04	0.04	0.06	0.10	0.24
2016	0.16	0.27	0.19	0.22	0.13	0.11	0.07	0.04	0.03	0.05	0.05	0.25
Promedio	0.768	1.045	0.903	0.481	0.253	0.143	0.112	0.187	0.193	0.251	0.219	0.498
Q (75%)	0.479	0.774	0.726	0.412	0.201	0.100	0.049	0.033	0.056	0.099	0.116	0.287

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Témez en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.29. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Choccoro con abcd*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	1.02	1.24	1.55	0.54	0.50	0.20	0.10	0.05	0.29	0.34	0.33	0.85
1976	1.39	1.82	1.62	0.61	0.29	0.15	0.47	0.32	0.99	0.29	0.15	0.78
1977	0.59	1.64	1.27	0.49	0.23	0.12	0.06	0.03	0.42	0.18	0.77	0.87
1978	1.26	1.07	0.90	0.40	0.18	0.09	0.04	0.02	0.33	0.62	0.57	0.91
1979	0.66	1.20	1.43	0.48	0.23	0.12	0.06	0.24	0.07	0.08	0.08	0.29
1980	0.77	0.64	0.95	0.31	0.15	0.08	1.25	0.47	0.80	1.24	0.55	0.67
1981	0.95	1.77	1.18	0.76	0.30	0.15	0.07	2.12	0.86	0.73	0.65	1.40
1982	1.37	1.79	1.32	0.68	0.29	0.15	0.07	0.85	0.86	1.06	0.60	0.25
1983	0.40	0.38	0.90	0.78	0.27	0.14	0.07	0.03	0.05	0.03	0.01	0.70
1984	1.18	2.10	1.22	0.65	0.39	0.36	0.13	0.76	0.44	1.67	1.09	1.61
1985	0.79	1.58	1.29	0.75	0.41	0.26	0.11	0.11	0.38	0.13	0.06	0.86
1986	1.60	2.14	1.81	0.95	0.51	0.24	0.41	0.96	0.53	0.29	0.13	0.65
1987	1.36	0.70	0.51	0.24	0.11	0.06	0.87	0.38	0.16	0.15	0.09	0.30
1988	1.16	1.30	1.49	0.81	0.49	0.21	0.10	0.05	0.03	0.16	0.05	0.80
1989	1.26	1.10	1.12	0.64	0.26	0.13	0.06	1.60	0.98	1.09	0.41	0.33
1990	0.79	0.27	0.36	0.13	0.76	1.02	0.57	1.29	1.45	1.06	0.92	1.15
1991	1.39	2.04	1.81	0.87	0.46	0.22	0.11	0.05	0.03	0.41	0.37	0.34
1992	0.64	1.45	1.12	0.49	0.22	0.11	0.11	0.33	0.10	0.88	0.35	0.66
1993	1.52	1.33	1.72	1.09	0.47	0.23	0.11	0.07	0.33	0.65	0.73	1.55
1994	1.52	1.66	1.67	0.92	0.37	0.19	0.09	0.05	0.13	0.10	0.18	0.57
1995	1.03	1.33	1.65	0.74	0.32	0.16	0.08	0.04	0.05	0.22	0.46	0.67
1996	1.28	1.74	1.78	0.96	0.39	0.20	0.10	0.05	0.08	0.22	0.09	0.80
1997	1.40	1.64	1.11	0.63	0.26	0.13	0.06	0.29	0.46	0.25	0.47	1.27
1998	1.56	1.56	1.48	0.65	0.29	0.15	0.07	0.04	0.02	0.40	0.23	0.72

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	1.12	1.77	1.60	1.07	0.41	0.21	0.10	0.05	0.45	0.48	0.27	1.45
2000	1.44	2.26	2.30	0.92	0.55	0.26	0.12	0.10	0.04	0.98	0.39	0.90
2001	1.84	1.60	2.22	1.04	0.94	0.37	0.25	0.11	0.12	0.28	0.42	0.32
2002	0.67	2.05	1.33	0.84	0.33	0.17	0.15	0.06	0.33	0.22	0.56	1.09
2003	0.83	1.70	1.39	0.97	0.36	0.19	0.09	0.12	0.11	0.37	0.24	0.62
2004	0.33	1.80	1.55	0.75	0.32	0.24	0.10	0.05	0.31	0.21	0.30	1.45
2005	1.00	1.42	1.73	0.66	0.31	0.16	0.08	0.15	0.83	0.69	0.48	1.33
2006	1.72	1.65	1.69	1.02	0.40	0.21	0.10	0.23	0.28	0.54	0.74	0.92
2007	1.52	1.28	1.99	1.01	0.41	0.21	0.10	0.05	0.59	0.41	0.26	1.23
2008	1.94	2.40	1.75	0.75	0.34	0.18	0.09	0.04	0.05	0.21	0.39	0.96
2009	1.73	1.79	1.25	0.82	0.35	0.17	0.10	0.05	0.09	0.13	0.43	0.75
2010	1.65	1.47	1.53	0.81	0.33	0.17	0.08	0.04	0.02	0.09	0.08	1.37
2011	2.32	3.14	1.73	0.70	0.34	0.18	0.09	0.04	0.15	0.34	0.62	1.18
2012	1.09	2.72	2.15	1.43	0.55	0.28	0.14	0.07	0.09	0.33	0.29	2.32
2013	1.85	1.64	1.54	0.56	0.27	0.46	0.15	0.16	0.14	0.44	0.23	1.12
2014	2.05	1.87	1.56	0.79	0.37	0.18	0.13	0.32	0.83	0.74	0.60	1.02
2015	2.07	2.23	1.78	1.23	0.64	0.29	0.14	0.07	0.04	0.09	0.21	0.54
2016	0.16	0.57	0.30	0.43	0.14	0.18	0.06	0.03	0.02	0.07	0.02	0.60
Promedio	1.244	1.592	1.444	0.747	0.369	0.214	0.172	0.285	0.341	0.449	0.378	0.908
Q (75%)	0.863	1.308	1.227	0.613	0.275	0.149	0.077	0.047	0.074	0.187	0.190	0.651

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo abcd en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.30. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Choccoro con GR2M*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	0.45	1.01	1.59	0.45	0.32	0.22	0.15	0.13	0.17	0.22	0.23	0.58
1976	1.34	1.86	1.57	0.45	0.23	0.17	0.25	0.25	0.79	0.30	0.19	0.46
1977	0.39	1.58	1.14	0.41	0.23	0.16	0.13	0.11	0.20	0.17	0.49	0.67
1978	1.11	0.80	0.63	0.33	0.19	0.15	0.12	0.11	0.17	0.39	0.41	0.67
1979	0.46	0.91	1.39	0.42	0.22	0.16	0.13	0.16	0.14	0.13	0.13	0.17
1980	0.48	0.44	0.71	0.32	0.19	0.15	1.10	0.47	0.58	1.19	0.47	0.42
1981	0.67	1.82	1.02	0.52	0.25	0.17	0.13	2.57	0.70	0.50	0.42	1.28
1982	1.23	1.73	1.15	0.47	0.23	0.16	0.13	0.54	0.73	0.97	0.48	0.25
1983	0.24	0.24	0.61	0.55	0.27	0.18	0.14	0.11	0.11	0.11	0.10	0.38
1984	1.03	2.48	1.07	0.46	0.29	0.26	0.17	0.47	0.38	1.91	0.92	1.58
1985	0.54	1.37	1.21	0.56	0.32	0.24	0.17	0.15	0.23	0.18	0.15	0.58
1986	1.75	2.45	1.94	0.67	0.35	0.21	0.23	0.85	0.48	0.28	0.20	0.38
1987	1.28	0.55	0.34	0.23	0.16	0.13	0.56	0.35	0.21	0.16	0.14	0.17
1988	0.92	1.17	1.50	0.60	0.35	0.22	0.15	0.12	0.11	0.12	0.11	0.46
1989	1.16	0.90	0.94	0.48	0.25	0.18	0.13	1.65	0.88	0.90	0.37	0.24
1990	0.47	0.28	0.23	0.18	0.48	0.94	0.54	1.34	1.58	0.89	0.65	0.89
1991	1.21	2.12	1.83	0.56	0.30	0.19	0.14	0.12	0.11	0.20	0.23	0.22
1992	0.37	1.31	0.96	0.39	0.21	0.16	0.14	0.20	0.16	0.59	0.33	0.41
1993	1.49	1.14	1.82	0.83	0.36	0.21	0.16	0.14	0.20	0.42	0.53	1.61
1994	1.42	1.48	1.70	0.66	0.30	0.19	0.14	0.11	0.12	0.12	0.14	0.30
1995	0.80	1.18	1.79	0.56	0.26	0.17	0.13	0.11	0.11	0.14	0.24	0.41
1996	1.14	1.78	1.94	0.68	0.28	0.18	0.14	0.12	0.12	0.14	0.14	0.50
1997	1.40	1.64	0.95	0.46	0.24	0.17	0.13	0.15	0.26	0.21	0.27	1.12
1998	1.54	1.36	1.35	0.46	0.23	0.17	0.13	0.11	0.10	0.18	0.18	0.43

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	0.93	1.87	1.70	0.84	0.33	0.20	0.14	0.12	0.21	0.30	0.24	1.41
2000	1.39	2.61	2.80	0.60	0.33	0.22	0.16	0.15	0.13	0.69	0.37	0.63
2001	2.09	1.44	2.70	0.71	0.62	0.29	0.21	0.17	0.16	0.18	0.25	0.22
2002	0.40	2.38	1.26	0.60	0.28	0.18	0.15	0.13	0.19	0.18	0.32	0.90
2003	0.62	1.65	1.33	0.72	0.31	0.20	0.15	0.14	0.14	0.21	0.19	0.35
2004	0.25	1.88	1.64	0.54	0.25	0.19	0.15	0.13	0.18	0.18	0.20	1.40
2005	0.79	1.17	1.86	0.49	0.26	0.17	0.13	0.13	0.55	0.55	0.37	1.20
2006	1.82	1.54	1.74	0.74	0.29	0.19	0.14	0.14	0.18	0.32	0.50	0.70
2007	1.49	1.03	2.33	0.74	0.32	0.20	0.14	0.12	0.30	0.30	0.23	1.05
2008	2.29	2.82	1.69	0.50	0.26	0.18	0.13	0.11	0.11	0.14	0.21	0.69
2009	1.93	1.75	1.03	0.56	0.29	0.19	0.15	0.12	0.12	0.12	0.22	0.47
2010	1.77	1.32	1.47	0.56	0.26	0.18	0.13	0.11	0.11	0.11	0.12	1.27
2011	3.05	4.04	1.39	0.38	0.21	0.15	0.12	0.11	0.12	0.18	0.37	1.02
2012	0.94	3.62	2.43	1.10	0.38	0.23	0.16	0.13	0.12	0.18	0.20	3.03
2013	1.87	1.36	1.41	0.39	0.22	0.25	0.19	0.17	0.16	0.25	0.21	0.89
2014	2.51	1.80	1.43	0.54	0.28	0.19	0.15	0.19	0.58	0.60	0.44	0.76
2015	2.47	2.42	1.73	0.90	0.44	0.24	0.16	0.13	0.12	0.11	0.14	0.28
2016	0.19	0.31	0.23	0.26	0.17	0.16	0.13	0.11	0.10	0.10	0.10	0.30
PROM	1.183	1.586	1.418	0.545	0.286	0.209	0.191	0.306	0.291	0.361	0.291	0.732
Q (75%)	0.563	1.146	1.038	0.453	0.232	0.168	0.132	0.117	0.121	0.149	0.182	0.380

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo GR2M en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.31. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Choccoro con Lutz Scholz*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	1.12	1.12	1.35	0.38	0.23	0.12	0.07	0.09	0.19	0.20	0.18	0.66
1976	1.25	1.57	1.36	0.38	0.13	0.09	0.26	0.18	0.82	0.20	0.09	0.61
1977	0.35	1.36	1.00	0.30	0.13	0.05	0.07	0.04	0.27	0.14	0.59	0.62
1978	1.08	0.70	0.52	0.20	0.08	0.07	0.05	0.08	0.21	0.41	0.32	0.65
1979	0.37	0.93	1.24	0.35	0.12	0.07	0.09	0.15	0.10	0.11	0.11	0.19
1980	0.59	0.38	0.70	0.22	0.10	0.08	1.17	0.35	0.50	1.05	0.34	0.35
1981	0.67	1.42	0.81	0.36	0.13	0.06	0.04	0.50	0.27	0.28	0.28	1.19
1982	1.15	1.51	0.95	0.34	0.10	0.06	0.07	0.74	0.60	0.80	0.33	0.15
1983	0.20	0.20	0.71	0.49	0.17	0.09	0.05	0.05	0.10	0.10	0.09	0.58
1984	1.10	1.02	0.66	0.27	0.16	0.16	0.06	0.58	0.26	0.85	0.61	1.28
1985	0.43	1.30	0.99	0.38	0.18	0.13	0.08	0.10	0.22	0.12	0.10	0.77
1986	1.25	1.34	1.39	0.48	0.20	0.08	0.20	0.75	0.31	0.16	0.11	0.45
1987	1.23	0.44	0.24	0.14	0.08	0.06	0.78	0.27	0.10	0.11	0.11	0.19
1988	1.09	1.11	1.29	0.46	0.21	0.10	0.05	0.03	0.07	0.13	0.08	0.69
1989	1.17	0.77	0.79	0.33	0.13	0.08	0.04	0.66	0.50	0.72	0.23	0.16
1990	0.55	0.20	0.19	0.12	0.59	0.80	0.31	1.10	1.25	0.68	0.49	0.84
1991	1.17	1.45	1.43	0.45	0.19	0.09	0.07	0.06	0.08	0.26	0.22	0.19
1992	0.40	1.30	0.85	0.28	0.09	0.10	0.11	0.19	0.10	0.77	0.27	0.40
1993	1.22	0.99	1.34	0.63	0.22	0.09	0.09	0.09	0.20	0.44	0.45	1.22
1994	1.30	1.36	1.38	0.50	0.17	0.07	0.04	0.04	0.11	0.11	0.14	0.38
1995	0.89	1.11	1.37	0.43	0.13	0.06	0.05	0.05	0.10	0.15	0.28	0.43
1996	1.15	1.53	1.44	0.52	0.15	0.06	0.04	0.08	0.11	0.15	0.11	0.68
1997	1.28	1.45	0.73	0.29	0.12	0.05	0.04	0.17	0.26	0.16	0.26	1.16
1998	1.39	1.26	1.19	0.37	0.11	0.09	0.04	0.06	0.07	0.26	0.16	0.52

1999	0.96	1.50	1.36	0.62	0.18	0.07	0.05	0.04	0.28	0.28	0.17	1.14
2000	1.25	1.00	0.86	0.30	0.16	0.11	0.09	0.10	0.07	0.95	0.31	0.68
2001	0.79	1.10	0.89	0.37	0.41	0.14	0.12	0.10	0.11	0.17	0.24	0.18
2002	0.44	0.84	0.84	0.39	0.14	0.06	0.10	0.09	0.20	0.14	0.34	0.95
2003	0.54	1.40	1.12	0.54	0.17	0.10	0.08	0.11	0.11	0.22	0.16	0.41
2004	0.20	0.95	1.25	0.41	0.12	0.12	0.08	0.09	0.19	0.14	0.17	1.13
2005	0.67	1.12	1.35	0.39	0.15	0.06	0.08	0.12	0.69	0.44	0.24	1.17
2006	1.37	1.32	1.38	0.56	0.15	0.08	0.04	0.13	0.17	0.33	0.48	0.65
2007	1.29	0.90	0.82	0.39	0.15	0.06	0.06	0.06	0.41	0.24	0.16	1.14
2008	0.90	0.93	1.18	0.35	0.14	0.08	0.06	0.05	0.10	0.15	0.23	0.81
2009	1.10	1.44	0.82	0.39	0.16	0.07	0.09	0.06	0.11	0.12	0.26	0.53
2010	1.11	1.09	1.24	0.44	0.15	0.06	0.04	0.04	0.08	0.11	0.12	1.13
2011	0.85	0.69	0.83	0.21	0.06	0.04	0.07	0.07	0.12	0.20	0.39	1.05
2012	0.84	0.75	1.18	0.75	0.22	0.11	0.08	0.05	0.10	0.20	0.18	0.32
2013	1.22	1.12	1.17	0.30	0.13	0.22	0.12	0.12	0.12	0.27	0.16	1.05
2014	0.90	1.37	1.18	0.40	0.16	0.08	0.10	0.18	0.62	0.46	0.31	0.78
2015	0.84	1.38	1.33	0.69	0.26	0.10	0.06	0.06	0.08	0.11	0.15	0.35
2016	0.14	0.34	0.18	0.23	0.10	0.12	0.07	0.08	0.06	0.10	0.09	0.45
PROM	0.901	1.073	1.022	0.390	0.164	0.105	0.125	0.190	0.248	0.310	0.241	0.674
Q (75%)	0.612	0.904	0.820	0.300	0.123	0.064	0.051	0.057	0.100	0.144	0.143	0.403

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Lutz Scholz en la microcuenca de la bocatoma Choccoro de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo L. Qmed mensual simulados en la bocatoma Chicllarazo

Tabla 4.2.32. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Chicllarazo con Témez*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	1.53	2.01	2.47	1.21	0.88	0.55	0.29	0.28	0.78	1.00	1.05	1.74
1976	2.63	3.14	2.65	1.32	0.61	0.31	0.71	0.72	2.12	0.89	0.46	1.40
1977	1.23	2.76	2.10	1.13	0.57	0.28	0.18	0.11	0.72	0.65	1.56	1.65
1978	2.26	1.91	1.52	0.95	0.45	0.21	0.10	0.14	0.69	1.34	1.37	1.76
1979	1.37	2.02	2.34	1.16	0.53	0.25	0.22	0.45	0.47	0.51	0.59	0.83
1980	1.60	1.37	1.61	0.89	0.44	0.25	2.11	1.03	1.59	2.58	1.44	1.42
1981	1.89	3.21	2.07	1.43	0.73	0.34	0.14	3.95	1.71	1.54	1.53	2.68
1982	2.55	3.02	2.16	1.32	0.63	0.27	0.16	1.23	1.81	2.28	1.56	0.93
1983	0.96	0.98	1.57	1.48	0.81	0.41	0.18	0.10	0.27	0.39	0.39	1.39
1984	2.23	3.57	1.99	1.23	0.78	0.59	0.31	1.21	1.16	3.53	2.19	2.89
1985	1.52	2.64	2.16	1.42	0.89	0.58	0.35	0.39	1.02	0.78	0.63	1.73
1986	3.11	3.81	3.01	1.72	1.01	0.52	0.68	1.73	1.42	1.05	0.79	1.40
1987	2.60	1.53	0.99	0.67	0.35	0.18	1.36	0.89	0.50	0.48	0.55	0.80
1988	2.19	2.27	2.46	1.50	0.95	0.53	0.23	0.10	0.11	0.41	0.36	1.48
1989	2.41	2.02	1.88	1.26	0.67	0.34	0.15	2.87	2.07	2.36	1.29	0.92
1990	1.67	0.98	0.78	0.55	1.30	1.46	1.17	2.55	3.30	2.33	1.99	2.23
1991	2.78	3.97	3.55	1.76	1.17	0.64	0.31	0.16	0.23	0.91	1.18	1.01
1992	1.33	2.79	1.89	1.09	0.51	0.30	0.42	0.80	0.56	2.12	1.26	1.53
1993	2.97	2.27	2.77	1.89	1.02	0.51	0.29	0.25	0.74	1.40	1.64	3.04
1994	2.78	2.68	2.57	1.63	0.86	0.41	0.17	0.08	0.32	0.43	0.60	1.18
1995	1.96	2.17	2.62	1.41	0.68	0.30	0.13	0.06	0.25	0.54	1.02	1.35
1996	2.30	2.80	2.82	1.67	0.82	0.36	0.14	0.12	0.29	0.54	0.54	1.47
1997	2.43	2.62	1.79	1.18	0.61	0.28	0.11	0.29	0.89	0.77	1.08	2.38
1998	2.73	2.43	2.21	1.25	0.58	0.29	0.14	0.07	0.10	0.61	0.64	1.23

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	1.86	2.67	2.43	1.75	0.87	0.39	0.16	0.07	0.70	0.90	0.76	2.05
2000	2.36	3.44	3.34	1.54	0.89	0.55	0.36	0.28	0.26	1.61	0.97	1.58
2001	4.93	3.35	3.86	1.93	1.79	0.96	0.59	0.54	0.72	0.86	1.10	1.22
2002	1.55	5.22	3.11	1.83	0.93	0.46	0.56	0.48	1.57	1.88	2.24	3.67
2003	1.91	2.94	2.14	1.71	0.88	0.43	0.20	0.36	0.57	0.67	1.14	2.01
2004	1.44	3.17	2.34	1.35	0.64	0.41	0.33	0.28	0.82	0.92	0.93	3.19
2005	1.95	3.57	4.11	1.72	0.84	0.39	0.19	0.31	1.94	1.80	1.40	2.11
2006	2.29	2.88	2.74	2.12	0.99	0.46	0.20	0.48	0.84	1.27	1.60	1.80
2007	2.85	2.45	4.75	1.76	0.84	0.39	0.20	0.16	1.25	1.14	0.95	2.58
2008	3.76	3.83	2.87	1.58	0.83	0.43	0.27	0.27	0.38	0.80	1.14	1.90
2009	3.10	3.19	2.07	1.62	1.02	0.53	0.41	0.27	0.23	0.60	0.73	1.60
2010	3.17	2.92	2.48	1.34	0.64	0.29	0.11	0.06	0.16	0.38	0.50	2.30
2011	3.82	5.43	2.94	1.34	0.54	0.23	0.13	0.09	0.27	0.58	1.05	1.99
2012	1.92	4.53	3.40	1.85	0.90	0.43	0.22	0.11	0.33	0.72	0.92	4.03
2013	3.08	2.89	2.48	1.20	0.68	0.70	0.54	0.50	0.56	1.11	1.00	2.36
2014	3.49	3.10	2.58	1.43	0.75	0.37	0.31	0.52	1.30	1.31	1.22	1.79
2015	3.59	3.33	2.68	1.84	1.09	0.57	0.31	0.20	0.30	0.40	0.54	1.15
2016	0.78	1.50	0.98	0.89	0.50	0.32	0.21	0.17	0.13	0.27	0.34	0.92
PROM	2.354	2.843	2.459	1.427	0.796	0.439	0.366	0.589	0.844	1.112	1.053	1.826
Q (75%)	1.714	2.273	2.066	1.217	0.614	0.298	0.166	0.127	0.291	0.584	0.631	1.363

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Témez en la subcuenca de bocatoma Chicllarazo de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.33. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Chicllarazo con abcd*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	2.19	3.08	3.81	1.97	1.57	0.91	0.59	0.57	1.20	1.29	1.37	2.29
1976	3.61	4.72	4.31	2.23	1.08	0.72	1.44	1.03	2.52	1.22	0.63	2.10
1977	1.83	3.94	3.43	1.77	0.96	0.49	0.50	0.25	1.26	0.90	2.28	2.42
1978	3.35	3.09	2.53	1.40	0.68	0.35	0.25	0.42	1.23	1.80	1.89	2.44
1979	2.04	3.10	3.61	1.86	0.90	0.50	0.62	0.84	0.76	0.79	0.86	1.16
1980	2.20	2.01	2.52	1.30	0.64	0.49	2.81	1.48	2.23	3.08	1.95	2.06
1981	2.71	4.52	3.46	2.34	1.13	0.58	0.28	3.71	2.56	2.17	2.14	3.52
1982	3.84	4.72	3.72	2.23	1.08	0.56	0.36	1.69	2.29	2.77	2.08	1.15
1983	1.47	1.39	2.42	2.19	1.06	0.61	0.34	0.30	0.66	0.68	0.59	2.05
1984	3.17	5.19	3.56	2.10	1.34	1.12	0.54	1.58	1.50	3.77	3.20	4.07
1985	2.56	4.08	3.59	2.34	1.44	1.03	0.66	0.71	1.40	0.94	0.80	2.33
1986	4.17	5.70	5.00	3.11	1.80	0.93	1.37	2.04	1.78	1.32	0.99	1.93
1987	3.53	2.42	1.69	0.98	0.48	0.31	2.11	1.22	0.73	0.88	0.86	1.17
1988	2.98	3.50	3.81	2.47	1.53	0.87	0.44	0.22	0.32	0.81	0.46	2.18
1989	3.40	3.24	3.07	2.00	0.97	0.63	0.30	2.96	2.72	2.90	1.64	1.31
1990	2.35	1.30	1.35	0.72	1.82	2.00	1.57	2.55	3.51	2.89	2.67	3.05
1991	3.87	5.56	5.45	3.19	2.13	1.10	0.66	0.34	0.57	1.41	1.58	1.31
1992	1.85	3.66	2.96	1.60	0.78	0.62	0.89	1.16	0.73	2.55	1.70	2.08
1993	3.93	3.71	4.34	3.23	1.62	0.89	0.71	0.57	1.27	1.86	2.23	3.97
1994	4.26	4.58	4.32	2.82	1.40	0.73	0.40	0.20	0.76	0.71	0.99	1.75
1995	2.82	3.34	4.02	2.34	1.13	0.59	0.28	0.18	0.70	0.95	1.59	1.94
1996	3.30	4.22	4.42	2.88	1.39	0.72	0.35	0.31	0.68	0.94	0.80	2.19
1997	3.55	4.17	3.05	1.90	0.92	0.48	0.23	0.70	1.41	1.06	1.59	3.19
1998	4.18	4.31	3.95	2.19	1.06	0.57	0.27	0.19	0.36	1.19	1.02	1.93

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	2.88	4.28	4.11	2.99	1.45	0.75	0.36	0.18	1.30	1.40	1.09	3.04
2000	3.69	5.35	5.52	2.95	1.80	1.16	0.86	0.50	0.52	2.20	1.31	2.47
2001	6.03	5.79	6.17	3.78	2.96	1.62	1.21	0.85	1.10	1.20	1.53	1.76
2002	2.34	6.36	5.60	3.51	1.71	0.97	1.32	0.73	2.09	2.33	2.87	4.55
2003	3.32	4.69	3.97	2.96	1.43	0.76	0.50	0.80	0.96	0.98	1.51	2.85
2004	2.23	4.58	4.03	2.34	1.13	0.86	0.71	0.52	1.36	1.25	1.32	4.01
2005	3.30	4.99	5.91	3.25	1.62	0.84	0.59	0.77	2.35	2.27	1.85	3.03
2006	3.71	4.54	4.52	3.49	1.69	0.87	0.42	0.94	1.27	1.70	2.16	2.63
2007	3.98	3.98	6.37	3.53	1.71	0.88	0.61	0.47	1.86	1.61	1.33	3.42
2008	5.29	5.96	4.90	2.86	1.49	0.91	0.69	0.57	0.71	1.20	1.52	2.54
2009	4.19	5.01	3.65	2.73	1.62	0.84	0.88	0.44	0.47	1.01	1.18	2.44
2010	4.49	4.72	4.18	2.28	1.10	0.57	0.28	0.14	0.49	0.78	0.83	3.12
2011	5.19	7.68	5.73	2.96	1.43	0.74	0.36	0.18	0.65	1.02	1.71	2.84
2012	3.03	6.15	5.67	3.52	1.70	0.92	0.62	0.31	0.77	1.13	1.37	4.74
2013	4.81	4.89	4.15	2.15	1.30	1.35	1.00	0.78	0.83	1.42	1.26	3.06
2014	4.49	4.87	4.23	2.45	1.27	0.66	0.76	0.97	1.89	1.72	1.60	2.35
2015	4.16	4.89	4.12	2.95	1.77	0.91	0.66	0.35	0.62	0.63	0.87	2.01
2016	1.18	2.55	1.64	1.37	0.66	0.51	0.43	0.41	0.27	0.55	0.48	1.48
Promedio	3.368	4.305	4.021	2.458	1.351	0.807	0.720	0.836	1.254	1.507	1.469	2.522
Q (75%)	2.597	3.538	3.482	2.027	1.065	0.585	0.359	0.318	0.683	0.942	0.988	1.955

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo abcd en la subcuenca de bocatoma Chicllarazo de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.34. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Chicllarazo con GR2M*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	1.08	2.67	4.44	1.29	1.19	0.96	0.84	0.95	1.81	2.08	2.12	3.54
1976	5.24	5.27	4.02	1.29	0.77	0.66	1.47	1.51	4.19	1.42	1.10	3.23
1977	2.10	5.86	3.12	1.24	0.85	0.63	0.66	0.55	1.64	1.46	3.59	3.02
1978	4.38	2.67	2.33	1.26	0.76	0.66	0.58	0.72	1.70	2.84	2.72	3.41
1979	2.18	3.92	4.36	1.30	0.76	0.61	0.69	1.12	1.21	1.33	1.44	1.82
1980	3.35	2.22	3.12	1.20	0.82	0.72	4.23	1.77	3.11	4.95	2.16	2.55
1981	3.61	6.31	2.82	1.68	0.99	0.73	0.57	6.91	3.11	2.84	2.85	5.51
1982	4.17	5.09	2.94	1.40	0.75	0.60	0.61	2.44	3.71	4.39	2.49	1.44
1983	1.90	1.86	3.51	2.22	1.23	0.90	0.70	0.68	1.04	1.17	1.13	3.23
1984	4.44	6.95	2.30	1.28	1.12	1.24	0.81	2.54	2.42	7.04	3.42	5.32
1985	1.77	4.74	3.31	1.64	1.30	1.19	1.00	1.20	2.26	1.63	1.40	3.82
1986	6.41	6.53	4.34	1.64	1.23	0.85	1.56	3.38	2.74	1.99	1.58	2.99
1987	5.53	1.81	1.38	1.06	0.78	0.68	2.97	1.76	1.17	1.36	1.41	1.81
1988	4.99	3.60	4.32	1.68	1.30	0.98	0.72	0.58	0.70	1.18	1.00	3.40
1989	4.84	2.88	3.13	1.59	0.99	0.82	0.63	5.19	3.96	4.30	1.87	1.63
1990	3.42	1.45	1.50	1.08	2.74	3.12	2.34	4.63	5.96	3.76	3.27	3.93
1991	4.95	7.23	5.81	1.65	1.47	1.00	0.85	0.71	0.93	2.05	2.38	1.89
1992	2.65	5.60	2.92	1.36	0.78	0.82	1.18	1.89	1.35	4.40	2.15	2.85
1993	6.43	3.02	5.14	2.07	1.17	0.83	0.83	0.90	1.83	2.96	3.27	6.35
1994	4.38	4.17	3.89	1.63	1.01	0.74	0.58	0.51	0.96	1.12	1.50	2.61
1995	4.07	3.59	4.93	1.49	0.82	0.60	0.50	0.47	0.81	1.28	2.28	2.67
1996	4.90	4.62	4.89	1.73	0.91	0.64	0.51	0.59	0.93	1.38	1.32	3.42
1997	4.99	4.08	2.32	1.40	0.91	0.66	0.53	0.94	2.06	1.70	2.41	5.19
1998	5.16	3.48	3.24	1.21	0.67	0.59	0.46	0.44	0.54	1.36	1.38	2.64

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	3.82	5.07	3.63	1.81	0.95	0.68	0.56	0.48	1.56	1.98	1.60	4.99
2000	4.04	6.31	5.60	1.36	0.96	0.87	0.84	0.83	0.87	3.35	1.69	3.53
2001	10.45	4.26	7.21	1.70	2.24	1.41	1.32	1.32	1.71	1.88	2.29	2.36
2002	2.91	11.01	4.94	1.58	0.94	0.73	1.23	1.08	3.20	3.64	4.25	7.29
2003	2.42	5.08	3.18	1.69	0.97	0.77	0.65	1.05	1.46	1.60	2.43	4.71
2004	1.97	6.56	3.50	1.34	0.74	0.80	0.84	0.88	1.94	1.97	1.98	7.34
2005	2.58	6.07	7.80	1.57	0.88	0.62	0.59	0.87	3.64	3.40	2.45	4.67
2006	4.07	4.16	4.54	2.24	1.02	0.83	0.62	1.25	1.94	2.69	3.23	3.50
2007	5.24	3.45	9.89	1.58	0.83	0.60	0.54	0.57	2.39	2.31	1.89	5.90
2008	7.39	5.45	4.18	1.55	1.01	0.83	0.83	0.91	1.16	1.85	2.36	3.95
2009	6.22	5.08	2.58	1.84	1.41	0.91	1.14	0.84	0.95	1.57	1.76	3.52
2010	6.52	3.89	3.88	1.37	0.81	0.59	0.47	0.44	0.65	1.02	1.26	5.38
2011	7.65	9.86	3.87	1.12	0.62	0.46	0.40	0.37	0.59	1.13	2.26	4.12
2012	3.31	9.45	5.14	1.66	0.91	0.74	0.65	0.56	0.99	1.65	2.03	9.15
2013	4.56	4.32	3.60	1.21	0.98	1.39	1.27	1.31	1.45	2.35	1.99	5.23
2014	6.09	5.00	4.00	1.50	0.97	0.73	0.90	1.38	2.90	2.56	2.30	3.55
2015	6.79	5.79	3.86	2.38	1.64	1.06	0.94	0.79	1.02	1.11	1.37	2.97
2016	1.23	2.78	1.35	1.18	0.77	0.82	0.74	0.78	0.70	0.95	0.99	2.16
PROM	4.386	4.838	3.972	1.526	1.048	0.859	0.960	1.384	1.887	2.309	2.104	3.872
Q (75%)	3.013	3.504	3.119	1.290	0.812	0.657	0.583	0.613	0.969	1.367	1.459	2.710

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo GR2M en la subcuenca de bocatoma Chicllarazo de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.35. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Chicllarazo con Lutz Scholz*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	3.05	2.97	3.77	1.37	0.72	0.35	0.25	0.24	0.44	0.50	0.55	1.56
1976	3.44	4.51	3.83	1.39	0.53	0.30	0.57	0.42	1.57	0.54	0.32	1.43
1977	1.00	3.82	2.72	1.04	0.47	0.22	0.23	0.14	0.57	0.41	1.50	1.58
1978	2.94	2.00	1.44	0.67	0.29	0.22	0.18	0.24	0.48	0.83	0.86	1.59
1979	1.08	2.32	3.25	1.19	0.47	0.25	0.28	0.36	0.31	0.31	0.34	0.52
1980	1.56	1.09	1.79	0.75	0.36	0.25	2.53	0.96	1.08	2.21	0.99	1.00
1981	1.90	4.22	2.47	1.19	0.49	0.23	0.15	3.21	1.34	0.83	0.84	3.17
1982	3.40	4.31	2.76	1.19	0.43	0.22	0.22	0.92	1.07	1.64	0.95	0.50
1983	0.63	0.60	1.82	1.31	0.57	0.29	0.16	0.17	0.28	0.29	0.28	1.43
1984	2.93	4.45	2.26	0.99	0.53	0.40	0.18	0.75	0.54	3.41	2.06	3.62
1985	1.51	3.62	2.85	1.26	0.62	0.40	0.24	0.27	0.52	0.35	0.34	1.82
1986	3.82	4.77	4.28	1.76	0.74	0.34	0.48	1.04	0.68	0.45	0.37	1.09
1987	3.42	1.52	0.78	0.49	0.26	0.20	1.46	0.66	0.33	0.34	0.36	0.53
1988	2.90	2.87	3.46	1.48	0.69	0.36	0.21	0.12	0.19	0.33	0.26	1.63
1989	3.24	2.24	2.15	1.02	0.44	0.28	0.16	2.84	1.54	1.62	0.74	0.50
1990	1.61	0.77	0.63	0.38	1.03	0.88	0.61	1.60	2.44	1.51	1.29	2.12
1991	3.46	4.64	4.51	1.74	0.83	0.39	0.25	0.16	0.26	0.60	0.72	0.58
1992	0.99	3.44	2.08	0.86	0.32	0.30	0.35	0.45	0.30	1.89	0.89	1.13
1993	3.62	2.61	3.91	2.01	0.77	0.35	0.28	0.27	0.51	0.90	1.18	3.63
1994	3.84	3.82	3.78	1.64	0.64	0.31	0.18	0.15	0.33	0.34	0.43	1.01
1995	2.41	2.57	3.77	1.47	0.53	0.23	0.16	0.14	0.29	0.38	0.76	1.11
1996	3.05	3.87	4.13	1.74	0.62	0.27	0.16	0.21	0.32	0.40	0.36	1.69
1997	3.50	3.71	2.00	0.93	0.41	0.18	0.13	0.29	0.59	0.43	0.70	3.03
1998	4.08	3.56	3.31	1.29	0.46	0.28	0.15	0.16	0.20	0.53	0.47	1.30

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	2.49	4.13	3.72	1.81	0.66	0.30	0.17	0.14	0.62	0.60	0.48	2.99
2000	3.51	4.76	4.41	1.62	0.71	0.40	0.31	0.28	0.26	1.62	0.75	1.83
2001	1.72	3.54	2.68	1.31	1.11	0.48	0.35	0.33	0.39	0.44	0.69	0.93
2002	1.61	2.05	3.84	1.67	0.64	0.33	0.44	0.31	1.16	1.23	1.79	3.68
2003	1.96	4.13	3.18	1.69	0.64	0.30	0.20	0.33	0.37	0.36	0.64	2.35
2004	1.32	4.09	3.37	1.36	0.49	0.35	0.29	0.25	0.55	0.49	0.53	3.07
2005	2.08	4.32	2.57	1.08	0.46	0.21	0.19	0.29	1.44	1.10	0.75	2.49
2006	3.39	4.16	4.17	2.26	0.76	0.37	0.20	0.37	0.47	0.73	1.14	1.83
2007	3.76	3.06	2.20	0.99	0.44	0.24	0.23	0.23	1.04	0.69	0.52	3.34
2008	2.58	4.47	3.88	1.52	0.62	0.31	0.27	0.24	0.30	0.47	0.66	1.88
2009	3.86	4.57	2.54	1.40	0.69	0.29	0.34	0.20	0.25	0.42	0.50	2.11
2010	3.45	3.76	3.36	1.29	0.52	0.23	0.13	0.13	0.23	0.35	0.35	3.13
2011	2.33	2.35	3.39	1.14	0.39	0.20	0.20	0.18	0.34	0.43	0.83	2.45
2012	2.33	2.40	3.94	1.70	0.62	0.34	0.22	0.17	0.32	0.48	0.57	1.66
2013	3.53	3.74	3.23	1.15	0.56	0.47	0.34	0.29	0.30	0.56	0.48	2.86
2014	4.12	4.18	3.49	1.37	0.58	0.28	0.29	0.38	0.88	0.76	0.66	1.46
2015	3.72	4.35	3.29	1.63	0.73	0.34	0.27	0.23	0.32	0.36	0.43	1.43
2016	0.71	2.04	0.96	0.69	0.34	0.28	0.21	0.23	0.20	0.32	0.31	0.80
PROM	2.664	3.342	2.999	1.305	0.576	0.315	0.339	0.485	0.610	0.772	0.706	1.854
Q (75%)	1.762	2.441	2.317	1.053	0.457	0.244	0.179	0.184	0.299	0.383	0.429	1.111

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Lutz Scholz en la subcuenca de bocatoma Chicllarazo de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo M. Qmed mensual simulados en la bocatoma Apacheta

Tabla 4.2.36. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Apacheta con Témez*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	2.48	2.55	2.89	1.45	0.74	0.39	0.16	0.13	0.47	0.54	0.57	1.54
1976	3.70	3.96	3.00	1.53	0.66	0.29	0.25	0.38	1.89	0.91	0.40	1.37
1977	1.35	3.37	2.28	1.27	0.58	0.26	0.11	0.05	0.66	0.53	1.26	1.73
1978	3.16	2.23	1.57	0.96	0.44	0.19	0.08	0.09	0.54	0.87	1.02	1.74
1979	1.48	2.23	2.48	1.29	0.55	0.24	0.11	0.28	0.29	0.22	0.25	0.50
1980	1.70	1.40	1.53	0.90	0.40	0.19	0.75	0.65	1.30	1.99	1.22	1.23
1981	2.20	3.84	2.26	1.55	0.77	0.33	0.13	5.46	1.89	1.19	1.07	2.99
1982	3.51	4.14	2.68	1.57	0.72	0.31	0.13	1.41	1.79	1.81	1.28	0.71
1983	0.78	0.78	1.38	1.53	0.82	0.36	0.14	0.07	0.15	0.17	0.15	1.36
1984	3.20	5.36	2.53	1.52	0.78	0.40	0.18	1.15	0.98	3.02	2.11	3.80
1985	1.95	3.24	2.48	1.57	0.81	0.40	0.17	0.18	0.60	0.46	0.30	1.70
1986	5.13	5.42	3.71	2.06	1.02	0.47	0.28	1.42	1.10	0.65	0.38	1.06
1987	3.85	1.88	1.06	0.67	0.32	0.14	0.43	0.48	0.30	0.20	0.21	0.44
1988	3.03	2.67	2.76	1.74	0.93	0.45	0.18	0.07	0.06	0.18	0.16	1.44
1989	3.41	2.40	2.07	1.36	0.68	0.30	0.12	3.59	2.08	1.86	1.07	0.66
1990	1.73	1.03	0.64	0.45	0.69	0.63	0.41	2.10	3.17	1.94	1.66	2.29
1991	4.95	7.30	6.23	2.68	1.58	0.82	0.34	0.14	0.12	0.48	0.95	0.80
1992	1.21	3.68	1.94	1.09	0.48	0.25	0.27	0.95	0.62	2.44	1.42	1.74
1993	4.57	2.72	3.41	2.57	1.25	0.55	0.23	0.13	0.63	0.98	1.31	4.24
1994	4.21	3.83	3.39	2.02	0.98	0.43	0.17	0.07	0.31	0.32	0.36	1.10
1995	2.53	2.30	3.05	1.67	0.78	0.33	0.13	0.06	0.21	0.33	0.69	1.34
1996	3.45	3.21	3.36	2.04	0.98	0.42	0.16	0.10	0.25	0.34	0.32	1.78
1997	3.98	3.27	2.04	1.35	0.67	0.29	0.11	0.21	0.89	0.66	0.75	3.06
1998	4.58	3.36	2.95	1.62	0.74	0.33	0.14	0.06	0.09	0.40	0.52	1.48

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	2.89	3.76	3.23	2.34	1.14	0.49	0.20	0.08	0.94	0.94	0.69	1.76
2000	3.55	4.46	3.62	1.80	0.85	0.42	0.19	0.10	0.14	0.78	0.57	1.96
2001	5.66	2.82	3.56	1.77	0.96	0.49	0.20	0.10	0.25	0.31	0.61	1.21
2002	1.89	3.26	3.34	1.81	0.87	0.39	0.19	0.13	1.13	0.98	0.97	3.44
2003	2.90	3.46	3.64	2.27	1.12	0.49	0.19	0.13	0.28	0.26	0.24	2.33
2004	1.59	2.30	1.91	1.14	0.53	0.24	0.12	0.07	1.12	0.77	0.56	3.23
2005	2.18	1.94	2.79	1.41	0.63	0.27	0.11	0.06	0.20	0.36	0.42	2.44
2006	2.79	2.22	2.41	1.44	0.68	0.29	0.12	0.07	0.73	0.61	0.60	1.49
2007	2.08	2.40	4.13	2.45	1.28	0.61	0.24	0.12	0.60	0.88	0.78	3.01
2008	5.74	4.47	2.70	1.46	0.64	0.28	0.13	0.10	0.18	0.30	0.36	1.03
2009	3.45	6.09	3.03	2.11	1.22	0.62	0.28	0.15	0.16	0.51	1.73	3.43
2010	7.02	5.10	3.30	1.58	0.63	0.26	0.10	0.05	0.18	0.33	0.43	2.72
2011	5.77	9.82	5.36	2.17	0.86	0.36	0.14	0.06	0.16	0.32	0.69	2.28
2012	2.89	6.93	4.87	1.99	0.80	0.34	0.13	0.06	0.21	0.46	0.90	5.13
2013	5.71	5.56	3.88	1.85	1.12	0.82	0.46	0.37	0.28	0.62	0.67	3.18
2014	5.13	4.37	4.12	2.17	1.06	0.49	0.30	0.53	1.14	1.15	1.04	1.99
2015	5.52	4.66	3.48	2.63	1.43	0.74	0.34	0.22	0.50	0.61	0.60	2.76
2016	1.57	5.27	2.23	1.83	0.96	0.46	0.21	0.15	0.10	0.33	0.44	0.95
PROM	3.345	3.692	2.936	1.683	0.837	0.400	0.211	0.519	0.683	0.786	0.756	2.010
Q (75%)	2.102	2.404	2.265	1.421	0.661	0.287	0.131	0.072	0.202	0.330	0.405	1.257

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Témez en la subcuenca de bocatoma Apacheta de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.37. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Apacheta con abcd*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	3.35	4.16	4.53	2.34	1.22	0.63	0.30	0.15	0.82	0.81	0.88	2.51
1976	4.99	6.04	5.06	2.61	1.26	0.65	0.41	0.59	2.76	1.34	0.69	2.39
1977	2.44	4.80	3.94	2.06	1.00	0.52	0.25	0.12	1.24	0.60	2.07	2.86
1978	4.61	3.98	2.93	1.59	0.77	0.40	0.19	0.10	0.96	1.50	1.75	2.88
1979	2.65	3.71	4.01	2.07	1.00	0.52	0.25	0.51	0.26	0.13	0.13	0.81
1980	2.66	2.36	2.67	1.38	0.67	0.34	1.38	0.92	2.15	3.19	1.98	2.28
1981	3.55	5.50	4.01	2.85	1.38	0.71	0.35	5.53	3.56	2.38	2.17	4.37
1982	5.36	6.33	4.75	2.87	1.39	0.72	0.35	2.27	2.93	3.09	2.26	1.09
1983	1.55	1.34	2.44	2.65	1.28	0.66	0.32	0.16	0.11	0.05	0.03	2.17
1984	4.39	6.89	4.56	2.79	1.35	0.70	0.34	1.92	1.57	4.15	3.71	5.38
1985	3.61	5.04	4.22	2.78	1.34	0.69	0.34	0.18	1.03	0.50	0.26	2.55
1986	6.04	7.55	6.11	3.87	1.87	0.97	0.47	2.25	1.77	0.87	0.45	1.89
1987	4.94	3.35	2.02	1.06	0.51	0.26	0.83	0.68	0.35	0.17	0.09	0.75
1988	3.92	4.42	4.44	3.09	1.50	0.77	0.37	0.19	0.10	0.21	0.11	2.27
1989	4.60	4.16	3.61	2.41	1.17	0.60	0.29	4.20	3.67	3.41	1.76	1.22
1990	2.88	1.59	1.19	0.61	1.19	0.83	0.40	2.92	4.52	3.42	3.13	3.92
1991	6.52	9.36	8.88	5.46	3.37	1.74	0.84	0.42	0.22	0.97	1.71	1.35
1992	2.21	5.05	3.52	1.82	0.88	0.45	0.41	1.60	0.83	3.47	2.48	3.13
1993	5.90	4.97	5.33	4.54	2.20	1.14	0.55	0.27	1.25	1.78	2.35	5.47
1994	6.28	6.33	5.55	3.76	1.82	0.94	0.45	0.23	0.64	0.31	0.46	1.90
1995	3.76	3.92	4.62	2.94	1.42	0.73	0.36	0.18	0.35	0.46	1.23	2.29
1996	4.71	5.21	5.24	3.72	1.80	0.93	0.45	0.23	0.41	0.47	0.24	2.64
1997	5.17	5.33	3.70	2.47	1.20	0.62	0.30	0.35	1.57	0.91	1.37	4.26
1998	6.33	5.96	5.19	3.07	1.48	0.77	0.37	0.19	0.10	0.78	0.79	2.45

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	4.25	5.58	5.12	4.11	1.99	1.03	0.50	0.25	1.70	1.66	1.05	2.81
2000	4.89	6.39	5.68	3.18	1.54	0.80	0.39	0.19	0.10	1.39	0.72	2.95
2001	6.55	5.20	5.50	3.24	1.75	0.91	0.44	0.22	0.43	0.34	1.07	2.11
2002	3.15	4.83	5.10	3.23	1.56	0.81	0.39	0.20	1.93	1.67	1.76	4.67
2003	4.88	5.62	5.64	4.17	2.02	1.04	0.50	0.25	0.45	0.22	0.14	3.22
2004	2.79	3.83	3.38	1.88	0.91	0.47	0.23	0.11	1.90	1.10	0.84	4.21
2005	3.87	3.59	4.43	2.37	1.15	0.59	0.29	0.14	0.31	0.56	0.58	3.40
2006	4.29	3.89	4.02	2.52	1.22	0.63	0.30	0.15	1.40	0.87	1.02	2.52
2007	3.44	4.01	5.57	4.33	2.19	1.13	0.55	0.27	1.16	1.59	1.32	4.10
2008	7.00	7.16	4.95	2.64	1.28	0.66	0.32	0.16	0.13	0.36	0.41	1.76
2009	4.56	7.60	5.43	4.01	2.26	1.17	0.57	0.28	0.15	0.98	2.78	4.80
2010	8.18	8.26	6.07	3.14	1.52	0.78	0.38	0.19	0.27	0.48	0.63	3.64
2011	6.86	10.95	8.53	4.41	2.13	1.10	0.53	0.27	0.24	0.48	1.26	3.35
2012	4.41	8.02	7.24	3.74	1.81	0.93	0.45	0.23	0.36	0.84	1.62	5.80
2013	7.60	8.34	6.59	3.44	2.27	1.49	0.72	0.57	0.29	1.17	1.09	4.19
2014	6.56	6.91	6.40	4.11	1.99	1.03	0.50	0.98	1.93	2.04	1.90	3.29
2015	6.65	7.26	5.90	4.77	2.63	1.36	0.66	0.33	0.92	1.07	1.00	3.87
2016	2.91	6.63	4.31	3.58	1.73	0.89	0.43	0.22	0.11	0.66	0.64	1.71
Promedio	4.649	5.510	4.818	3.040	1.548	0.813	0.446	0.742	1.118	1.249	1.237	2.981
Q (75%)	3.468	4.044	4.012	2.424	1.201	0.630	0.324	0.186	0.275	0.479	0.593	2.197

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo abcd en la subcuenca de bocatoma Apacheta de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.38. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Apacheta con GR2M*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	2.04	3.50	4.52	1.65	0.99	0.70	0.53	0.46	0.62	0.67	0.73	1.99
1976	6.07	6.22	4.53	1.64	0.88	0.64	0.54	0.58	2.35	1.06	0.73	1.68
1977	1.79	4.97	3.42	1.49	0.85	0.63	0.49	0.43	0.73	0.63	1.48	2.45
1978	5.08	2.99	2.03	1.18	0.73	0.57	0.46	0.42	0.65	1.03	1.26	2.45
1979	2.05	3.06	3.79	1.50	0.84	0.62	0.49	0.51	0.49	0.45	0.46	0.62
1980	2.18	1.78	2.08	1.12	0.72	0.57	0.87	0.80	1.62	3.03	1.58	1.66
1981	3.19	6.03	3.26	1.92	0.97	0.68	0.52	7.54	2.67	1.63	1.45	4.58
1982	5.75	6.32	3.88	1.79	0.91	0.66	0.51	1.53	2.54	2.76	1.70	0.98
1983	1.05	0.97	1.78	1.94	1.00	0.69	0.53	0.45	0.44	0.41	0.41	1.55
1984	4.90	8.79	3.58	1.77	1.00	0.72	0.54	1.24	1.22	4.75	3.10	6.12
1985	2.50	4.59	3.73	1.97	1.06	0.74	0.55	0.49	0.75	0.62	0.55	2.07
1986	8.59	8.77	5.83	2.39	1.16	0.76	0.59	1.69	1.44	0.93	0.70	1.33
1987	6.06	2.35	1.31	0.90	0.62	0.52	0.59	0.61	0.52	0.46	0.45	0.58
1988	4.17	4.06	4.18	2.16	1.15	0.76	0.56	0.46	0.43	0.43	0.41	1.59
1989	5.36	3.40	2.92	1.71	0.92	0.66	0.51	4.64	3.27	2.80	1.32	0.92
1990	2.25	1.24	0.89	0.69	0.83	0.79	0.65	2.81	5.28	2.82	2.27	3.35
1991	8.31	12.03	10.10	2.84	1.69	0.95	0.64	0.51	0.46	0.64	1.09	0.97
1992	1.54	5.51	2.71	1.30	0.77	0.60	0.54	1.10	0.77	3.35	1.89	2.47
1993	7.38	3.72	5.28	3.55	1.36	0.84	0.59	0.49	0.78	1.22	1.71	7.00
1994	6.82	5.53	5.15	2.45	1.13	0.75	0.55	0.46	0.52	0.49	0.53	1.28
1995	3.70	3.23	4.69	2.06	0.99	0.69	0.52	0.45	0.46	0.50	0.79	1.64
1996	5.42	4.85	5.33	2.56	1.11	0.74	0.55	0.46	0.49	0.52	0.50	2.18
1997	6.50	4.90	2.78	1.65	0.90	0.65	0.50	0.48	1.02	0.82	0.95	4.66
1998	7.76	4.68	4.28	1.76	0.91	0.66	0.51	0.44	0.42	0.55	0.62	1.85

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	4.47	5.78	5.09	3.16	1.26	0.80	0.57	0.47	0.99	1.16	0.91	2.29
2000	5.70	7.14	5.74	2.01	1.05	0.73	0.55	0.46	0.45	0.90	0.71	2.49
2001	9.50	3.82	5.49	2.07	1.17	0.77	0.56	0.47	0.50	0.50	0.73	1.46
2002	2.63	4.80	5.48	2.18	1.05	0.72	0.55	0.47	1.27	1.25	1.25	5.41
2003	4.55	4.98	5.73	2.89	1.23	0.78	0.57	0.48	0.51	0.46	0.46	3.07
2004	2.16	3.16	2.76	1.39	0.80	0.61	0.49	0.43	1.22	0.94	0.79	4.73
2005	3.23	2.50	4.19	1.64	0.88	0.64	0.50	0.43	0.46	0.52	0.56	3.27
2006	4.32	3.04	3.58	1.77	0.91	0.66	0.51	0.44	0.83	0.74	0.78	1.92
2007	2.99	3.31	6.75	3.37	1.49	0.88	0.61	0.50	0.73	1.09	0.99	4.37
2008	9.87	6.82	3.67	1.59	0.86	0.64	0.50	0.44	0.45	0.48	0.52	1.15
2009	5.29	10.16	4.45	2.57	1.40	0.85	0.61	0.50	0.47	0.68	2.17	5.48
2010	12.14	7.80	4.67	1.48	0.82	0.62	0.49	0.43	0.44	0.49	0.57	3.70
2011	9.92	16.23	8.29	1.79	0.91	0.66	0.51	0.44	0.44	0.49	0.81	3.06
2012	4.59	11.26	8.19	1.85	0.93	0.66	0.51	0.44	0.46	0.60	1.03	8.11
2013	9.98	8.57	5.88	1.84	1.25	1.01	0.71	0.64	0.55	0.80	0.82	4.60
2014	8.73	6.72	6.58	2.52	1.18	0.77	0.60	0.72	1.38	1.59	1.38	2.78
2015	9.26	7.28	5.25	3.43	1.64	0.97	0.66	0.55	0.69	0.79	0.77	3.96
2016	2.13	8.13	3.07	2.23	1.09	0.74	0.56	0.48	0.44	0.51	0.56	1.09
PROM	5.284	5.595	4.451	1.994	1.033	0.716	0.557	0.902	1.006	1.108	1.012	2.832
Q (75%)	2.720	3.334	3.301	1.638	0.878	0.646	0.508	0.447	0.464	0.499	0.564	1.563

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo GR2M en la subcuenca de bocatoma Apacheta de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.2.39. *Qmed mens. simulados (m³/s) en bocatoma Apacheta con Lutz Scholz*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1975	4.85	3.36	3.78	1.03	0.63	0.35	0.25	0.46	0.85	0.72	0.70	2.38
1976	5.32	5.22	3.42	0.95	0.37	0.34	0.45	0.57	2.97	0.64	0.44	2.25
1977	1.46	4.79	2.44	0.93	0.44	0.21	0.32	0.27	1.13	0.64	1.79	2.19
1978	4.67	2.19	1.34	0.71	0.29	0.29	0.30	0.44	0.85	1.11	1.13	2.43
1979	1.50	2.62	3.04	0.88	0.45	0.32	0.38	0.62	0.45	0.42	0.49	0.77
1980	2.74	1.36	1.67	0.66	0.37	0.38	1.13	0.61	1.69	2.65	1.06	1.36
1981	3.12	5.25	2.28	1.22	0.47	0.20	0.17	2.48	1.20	0.91	1.07	4.56
1982	5.04	5.31	2.81	1.13	0.31	0.22	0.22	2.28	2.07	1.99	1.05	0.65
1983	1.07	0.81	2.06	1.65	0.59	0.33	0.30	0.27	0.44	0.48	0.49	2.45
1984	4.87	6.32	2.28	0.90	0.57	0.41	0.18	1.88	0.99	4.65	2.23	5.06
1985	1.75	4.10	2.67	1.05	0.52	0.38	0.32	0.44	0.91	0.55	0.45	2.90
1986	3.53	6.02	4.23	1.50	0.53	0.31	0.38	2.25	1.10	0.59	0.45	1.75
1987	5.15	1.74	0.90	0.60	0.39	0.33	0.79	0.67	0.42	0.45	0.42	0.82
1988	4.87	3.39	3.48	1.31	0.62	0.27	0.18	0.16	0.34	0.45	0.35	2.59
1989	5.04	2.50	2.03	0.94	0.47	0.26	0.24	4.87	2.30	1.93	0.73	0.70
1990	2.75	0.98	0.66	0.54	0.87	0.59	0.49	3.43	4.52	1.80	1.58	3.10
1991	4.42	3.47	4.06	1.52	0.91	0.42	0.30	0.24	0.36	0.84	1.18	0.73
1992	1.53	5.41	1.89	0.81	0.33	0.41	0.59	1.34	0.55	4.16	1.40	2.30
1993	4.84	2.50	4.49	2.56	0.75	0.34	0.25	0.33	1.04	1.15	1.58	4.75
1994	5.46	4.60	4.03	1.52	0.63	0.28	0.21	0.20	0.60	0.44	0.67	1.78
1995	3.97	2.61	4.09	1.39	0.50	0.21	0.25	0.29	0.51	0.57	0.95	1.86
1996	4.97	4.04	4.40	1.73	0.53	0.24	0.21	0.30	0.50	0.64	0.55	3.13
1997	5.48	3.86	1.82	0.90	0.38	0.31	0.23	0.53	1.31	0.66	0.93	4.89
1998	5.56	3.82	3.65	1.20	0.38	0.33	0.26	0.27	0.40	0.75	0.63	2.29

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1999	4.41	4.98	3.92	2.01	0.57	0.37	0.25	0.28	1.64	0.99	0.60	2.70
2000	5.12	5.93	4.39	1.24	0.54	0.37	0.27	0.39	0.46	1.24	0.62	3.37
2001	2.87	1.95	4.38	1.34	0.69	0.37	0.26	0.37	0.61	0.54	0.98	1.69
2002	2.58	4.40	4.51	1.44	0.59	0.35	0.33	0.37	1.97	1.05	1.04	5.04
2003	4.04	4.36	4.79	1.93	0.67	0.36	0.29	0.43	0.57	0.45	0.56	4.32
2004	1.77	2.77	2.06	0.78	0.41	0.33	0.31	0.34	1.86	0.70	0.58	4.95
2005	2.56	1.76	3.87	1.18	0.46	0.28	0.27	0.26	0.51	0.57	0.68	4.20
2006	3.90	2.10	2.85	1.04	0.39	0.38	0.24	0.34	1.27	0.69	0.72	2.27
2007	2.77	2.76	5.34	2.28	0.83	0.41	0.20	0.40	1.03	1.12	0.78	4.75
2008	3.06	4.81	2.41	0.94	0.42	0.39	0.33	0.33	0.52	0.60	0.55	1.57
2009	5.05	5.13	2.96	1.62	0.83	0.42	0.41	0.38	0.46	0.90	2.77	5.07
2010	3.21	5.59	3.53	0.88	0.27	0.21	0.23	0.34	0.54	0.59	0.64	4.57
2011	3.10	2.83	5.14	1.17	0.30	0.19	0.16	0.20	0.46	0.59	1.08	3.72
2012	4.04	3.35	5.24	1.28	0.48	0.22	0.25	0.33	0.59	0.82	1.24	2.54
2013	3.83	6.14	4.53	1.18	0.82	0.65	0.42	0.54	0.49	0.94	0.73	4.85
2014	4.99	5.20	5.21	1.69	0.65	0.43	0.54	0.84	1.38	1.26	1.00	3.00
2015	2.79	5.25	4.05	2.38	0.85	0.43	0.40	0.38	0.86	0.76	0.71	4.69
2016	1.74	4.63	1.88	1.64	0.60	0.37	0.32	0.43	0.19	0.66	0.60	1.39
PROM	3.709	3.814	3.300	1.277	0.540	0.340	0.331	0.765	1.022	1.040	0.909	2.914
Q (75%)	2.754	2.610	2.282	0.931	0.394	0.277	0.241	0.310	0.489	0.586	0.584	1.802

Datos históricos de caudales medios mensuales simulados con el modelo Lutz Scholz en la subcuenca de bocatoma Apacheta de la Irrigación Cachi durante 1975 – 2016. Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N. Número de curva de las cuencas en estudio

Tabla 4.2.40. *CN según usos de suelo en microcuenca de bocat. Choccoro*

Usos de la tierra	Grupo hidrológico del suelo					
	B (21.3%)			C (78.7%)		
	%	CN	Producto	%	CN	Producto
Tierra cultivada sin tratamientos de Conservación	0	81	0.00	1	88	88.00
Pastizales en condiciones pobres	20	79	1580.00	75.6	86	6501.60
Calles y Carreteras de tierra (camino herradura)	0.1	82	8.20	0.1	87	8.70
Vegas de ríos: condiciones óptimas	1	58	58.00	2	71	142.00
Bosques delgados, cubierta pobre, sin hierbas	0.2	66	13.20	0	77	0.00
	SUMATORIA		1659.40			6740.30
			CN = 84.00			

Usos de suelo y número de curva en la microcuenca de la bocatoma Choccoro, con ello de obtuvo el CN ponderado.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.41. *CN según usos de suelo en subcuenca de bocat. Chicllarazo*

Usos de la tierra	Grupo hidrológico del suelo					
	B (43%)			C (57%)		
	%	CN	Producto	%	CN	Producto
Tierra cultivada sin tratamientos de Conservación	0.5	81	40.50	4	88	352.00
Pastizales en condiciones pobres	11.3	79	892.70	81.1	86	6974.60
Calles y Carreteras de tierra (camino herradura)	0.1	82	8.20	0.7	87	60.90
Vegas de ríos: condiciones óptimas	1	58	58.00	1	71	71.00
Bosques delgados, cubierta pobre, sin hierbas	0.1	66	6.60	0.2	77	15.40
	SUMATORIA		1006.00			7473.90
			CN = 84.80			

Usos de suelo y número de curva en la subcuenca de la bocatoma Chicllarazo, con ello de obtuvo el CN ponderado.
Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.2.42. CN según usos de suelo en subcuenca de bocat. Apacheta

Usos de la tierra	Grupo hidrológico del suelo					
	B (43%)			C (57%)		
	%	CN	Producto	%	CN	Producto
Tierra cultivada sin tratamientos de Conservación	0	81	0.00	0.2	88	17.60
Pastizales en condiciones pobres	42.3	79	3341.70	55.7	86	4790.20
Calles y Carreteras de tierra (camino herradura)	0.1	82	8.20	0.5	87	43.50
Vegas de ríos: condiciones óptimas	0.5	58	29.00	0.5	71	35.50
Bosques delgados, cubierta pobre, sin hierbas	0.1	66	6.60	0.1	77	7.70
	SUMATORIA		3385.50			4894.50
			CN =			82.80

Usos de suelo y número de curva en la subcuenca de la bocatoma Apacheta, con ello se obtuvo el CN ponderado. Fuente: elaboración propia.

**Anexo O. Bondad de ajuste de datos de PPmax en 24 horas en cuencas
en estudio**

Tabla 4.2.43. *Bondad de ajuste dist. Normal de datos de PPmax en 24 horas*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	30.40	0.04	0.06	0.02
2	35.30	0.08	0.14	0.06
3	35.90	0.12	0.15	0.04
4	36.20	0.15	0.16	0.01
5	37.33	0.19	0.19	0.00
6	41.06	0.23	0.32	0.09
7	41.20	0.27	0.32	0.05
8	41.20	0.31	0.32	0.01
9	41.70	0.35	0.34	0.01
10	42.30	0.38	0.36	0.02
11	42.93	0.42	0.39	0.03
12	43.71	0.46	0.42	0.04
13	45.12	0.50	0.48	0.02
14	45.99	0.54	0.52	0.02
15	46.00	0.58	0.52	0.06
16	47.45	0.62	0.58	0.04
17	47.90	0.65	0.59	0.06
18	47.90	0.69	0.59	0.10
19	48.98	0.73	0.64	0.09
20	49.30	0.77	0.65	0.12
21	49.90	0.81	0.67	0.13
22	50.10	0.85	0.68	0.17
23	51.36	0.88	0.73	0.16
24	62.08	0.92	0.96	0.03
25	79.00	0.96	1.00	0.04
Suma (mm)	1140.310		Dmax =	0.165
Media (mm)	45.612		α =	0.050
D.Est. (S)	9.537		C α =	1.358
α	7.436		Kn =	5.142
μ	41.320		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Normal de datos de precipitación máxima en 24 horas en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.44. *Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parám. de datos PPmax en 24 horas*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	30.40	0.04	0.02	0.02
2	35.30	0.08	0.11	0.03
3	35.90	0.12	0.12	0.01
4	36.20	0.15	0.13	0.02
5	37.33	0.19	0.17	0.02
6	41.06	0.23	0.32	0.09
7	41.20	0.27	0.33	0.06
8	41.20	0.31	0.33	0.02
9	41.70	0.35	0.35	0.01
10	42.30	0.38	0.38	0.00
11	42.93	0.42	0.41	0.01
12	43.71	0.46	0.45	0.01
13	45.12	0.50	0.52	0.02
14	45.99	0.54	0.56	0.02
15	46.00	0.58	0.56	0.02
16	47.45	0.62	0.62	0.00
17	47.90	0.65	0.64	0.02
18	47.90	0.69	0.64	0.05
19	48.98	0.73	0.68	0.05
20	49.30	0.77	0.69	0.08
21	49.90	0.81	0.72	0.09
22	50.10	0.85	0.72	0.12
23	51.36	0.88	0.76	0.12
24	62.08	0.92	0.96	0.03
25	79.00	0.96	1.00	0.04
Suma (mm)	1140.310		Dmax =	0.124
Media (mm)	45.612		α =	0.050
D.Est. (S)	9.537		C α =	1.358
α	7.436		Kn =	5.142
μ	41.320		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Log-Normal 2 parámetros de datos de precipitación máxima en 24 horas en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.45. *Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parám. de datos PPmax en 24 horas*

N°	P (mm) (X)	P(X)	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	30.40	0.04	0.03	0.01
2	35.30	0.08	0.11	0.03
3	35.90	0.12	0.13	0.01
4	36.20	0.15	0.14	0.02
5	37.33	0.19	0.17	0.02
6	41.06	0.23	0.32	0.09
7	41.20	0.27	0.32	0.05
8	41.20	0.31	0.32	0.02
9	41.70	0.35	0.34	0.00
10	42.30	0.38	0.37	0.01
11	42.93	0.42	0.40	0.02
12	43.71	0.46	0.44	0.02
13	45.12	0.50	0.50	0.00
14	45.99	0.54	0.54	0.00
15	46.00	0.58	0.54	0.03
16	47.45	0.62	0.61	0.01
17	47.90	0.65	0.63	0.03
18	47.90	0.69	0.63	0.07
19	48.98	0.73	0.67	0.06
20	49.30	0.77	0.68	0.09
21	49.90	0.81	0.71	0.10
22	50.10	0.85	0.71	0.13
23	51.36	0.88	0.76	0.13
24	62.08	0.92	0.96	0.04
25	79.00	0.96	1.00	0.04
Suma (mm)	1140.310		Dmax =	0.133
Media (mm)	45.612		α =	0.050
D.Est. (S)	9.537		C α =	1.358
α	7.436		Kn =	5.142
μ	41.320		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gamma de 2 parámetros de datos de precipitación máxima en 24 horas en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.46. *Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de PPmax en 24 horas*

N°	P (mm) (X)	P(X)	y	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	30.40	0.04	-1.47	0.01	0.03
2	35.30	0.08	-0.81	0.11	0.03
3	35.90	0.12	-0.73	0.13	0.01
4	36.20	0.15	-0.69	0.14	0.02
5	37.33	0.19	-0.54	0.18	0.01
6	41.06	0.23	-0.04	0.36	0.12
7	41.20	0.27	-0.02	0.36	0.09
8	41.20	0.31	-0.02	0.36	0.05
9	41.70	0.35	0.05	0.39	0.04
10	42.30	0.38	0.13	0.42	0.03
11	42.93	0.42	0.22	0.45	0.02
12	43.71	0.46	0.32	0.48	0.02
13	45.12	0.50	0.51	0.55	0.05
14	45.99	0.54	0.63	0.59	0.05
15	46.00	0.58	0.63	0.59	0.01
16	47.45	0.62	0.82	0.64	0.03
17	47.90	0.65	0.88	0.66	0.01
18	47.90	0.69	0.88	0.66	0.03
19	48.98	0.73	1.03	0.70	0.03
20	49.30	0.77	1.07	0.71	0.06
21	49.90	0.81	1.15	0.73	0.08
22	50.10	0.85	1.18	0.74	0.11
23	51.36	0.88	1.35	0.77	0.11
24	62.08	0.92	2.79	0.94	0.02
25	79.00	0.96	5.07	0.99	0.03
Suma (mm)	1140.310			Dmax =	0.124
Media (mm)	45.612			α =	0.050
D.Est. (S)	9.537			C α =	1.358
α	7.436			Kn =	5.142
μ	41.320			D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gumbel de datos de precipitación máxima en 24 horas en las cuencas hidrográficas de las bocatomas de la Irrigación Cachi. Fuente: Elaboración propia.

Anexo P. H. U. SCS y Snyder en cuencas en estudio

Tabla 4.2.47. *H. U. SCS en la bocatoma Choccoro*

Duración	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.10	1.90	2.70	4.00	5.30	6.80	8.50	11.30	13.70
120	5.60	7.50	9.20	11.80	14.10	16.60	19.50	23.80	27.50
180	9.00	11.20	13.10	15.90	18.30	20.90	23.80	28.10	31.60
240	10.30	12.40	14.20	16.80	19.00	21.40	24.00	27.80	30.90
300	10.60	12.60	14.20	16.60	18.60	20.80	23.10	26.50	29.20
360	10.60	12.40	13.90	16.10	17.90	19.90	22.00	25.00	27.50
420	10.40	12.10	13.50	15.50	17.20	19.00	20.90	23.70	25.90
480	10.20	11.80	13.10	15.00	16.50	18.10	19.90	22.50	24.60
540	10.00	11.50	12.70	14.40	15.90	17.50	19.10	21.50	23.40
600	9.70	11.10	12.30	14.00	15.30	16.80	18.40	20.60	22.50
660	9.50	10.90	11.90	13.50	14.80	16.20	17.70	19.80	21.60
720	9.30	10.60	11.60	13.10	14.40	15.70	17.10	19.10	20.80
780	9.10	10.30	11.30	12.80	14.00	15.20	16.60	18.50	20.10
840	8.90	10.10	11.10	12.50	13.60	14.80	16.10	17.90	19.40
900	8.70	9.80	10.80	12.10	13.20	14.40	15.60	17.40	18.90
960	8.60	9.60	10.50	11.90	12.90	14.00	15.20	16.90	18.30
1020	8.40	9.40	10.30	11.60	12.60	13.70	14.80	16.50	17.80
1080	8.20	9.30	10.10	11.30	12.30	13.40	14.50	16.10	17.40
1140	8.10	9.10	9.90	11.10	12.10	13.10	14.20	15.70	17.00
1200	7.90	8.90	9.70	10.90	11.80	12.80	13.80	15.30	16.60
1260	7.80	8.80	9.50	10.70	11.60	12.50	13.60	15.00	16.20
1320	7.60	8.60	9.40	10.50	11.30	12.30	13.30	14.70	15.90
1380	7.60	8.50	9.20	10.30	11.10	12.10	13.10	14.40	15.50
1440	7.40	8.30	9.10	10.10	10.90	11.90	12.80	14.10	15.30
1500	3.30	3.70	4.00	4.40	4.80	5.20	5.60	6.20	6.70
1560	0.90	1.00	1.00	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.80
1620	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.50
1680	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
1740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia

Tabla 4.2.48. *H. U. Snyder en la bocatoma Choccoro*

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.00	1.70	2.40	3.60	4.70	6.10	7.60	10.10	12.30
120	5.50	7.50	9.30	12.10	14.60	17.40	20.60	25.50	29.80
180	9.80	12.20	14.20	17.20	19.80	22.50	25.60	30.00	33.70
240	10.70	12.80	14.60	17.30	19.50	21.90	24.40	28.20	31.30
300	10.80	12.70	14.40	16.70	18.70	20.80	23.10	26.40	29.10
360	10.60	12.40	13.90	16.10	17.80	19.80	21.90	24.80	27.20
420	10.40	12.10	13.50	15.50	17.10	18.90	20.80	23.50	25.70
480	10.20	11.80	13.10	14.90	16.40	18.10	19.80	22.40	24.40
540	9.90	11.40	12.60	14.40	15.80	17.40	19.00	21.40	23.30
600	9.70	11.10	12.30	13.90	15.30	16.70	18.30	20.50	22.40
660	9.50	10.80	11.90	13.50	14.80	16.20	17.60	19.70	21.50
720	9.20	10.60	11.60	13.10	14.30	15.60	17.10	19.10	20.70
780	9.00	10.30	11.30	12.70	13.90	15.10	16.50	18.40	20.00
840	8.80	10.00	11.00	12.40	13.50	14.70	16.00	17.80	19.30
900	8.70	9.80	10.80	12.10	13.20	14.40	15.60	17.30	18.80
960	8.50	9.60	10.50	11.80	12.90	14.00	15.20	16.90	18.30
1020	8.40	9.40	10.30	11.60	12.50	13.60	14.80	16.50	17.80
1080	8.20	9.20	10.10	11.30	12.30	13.30	14.50	16.10	17.30
1140	8.10	9.10	9.90	11.10	12.00	13.10	14.10	15.70	16.90
1200	7.90	8.90	9.70	10.90	11.80	12.70	13.80	15.30	16.60
1260	7.80	8.70	9.50	10.70	11.50	12.50	13.50	15.00	16.20
1320	7.60	8.60	9.30	10.50	11.30	12.30	13.30	14.70	15.80
1380	7.50	8.40	9.20	10.30	11.10	12.10	13.00	14.40	15.50
1440	7.40	8.30	9.10	10.10	10.90	11.80	12.80	14.10	15.20
1500	3.70	4.10	4.50	5.00	5.40	5.90	6.30	7.00	7.50
1560	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1620	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1680	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Choccoro. Fuente: elaboración propia

Tabla 4.2.49. *H. U. SCS en la bocatoma Chicllarazo*

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.80	2.90	3.90	5.60	7.20	9.00	11.20	14.60	17.60
120	9.80	13.60	17.00	22.40	27.10	32.70	38.90	48.50	56.90
180	21.50	27.40	32.50	40.30	46.90	54.40	62.70	75.10	85.60
240	29.20	35.60	41.20	49.40	56.30	63.90	72.20	84.50	94.60
300	32.60	38.90	44.20	52.00	58.60	65.60	73.30	84.60	93.80
360	33.60	39.60	44.50	51.80	57.80	64.30	71.30	81.50	89.80
420	33.60	39.20	43.70	50.50	55.90	61.80	68.30	77.50	85.00
480	33.00	38.30	42.50	48.70	53.80	59.20	65.20	73.60	80.50
540	32.30	37.20	41.20	47.00	51.70	56.80	62.20	70.00	76.40
600	31.50	36.10	39.90	45.30	49.70	54.50	59.50	66.80	72.70
660	30.70	35.10	38.60	43.70	47.90	52.40	57.10	63.90	69.50
720	29.90	34.10	37.40	42.20	46.20	50.50	55.00	61.40	66.70
780	29.10	33.10	36.40	40.90	44.80	48.70	53.10	59.20	64.10
840	28.40	32.30	35.40	39.80	43.40	47.20	51.40	57.10	61.90
900	27.80	31.40	34.50	38.70	42.20	45.90	49.80	55.30	59.90
960	27.30	30.70	33.60	37.70	41.00	44.60	48.30	53.70	58.10
1020	26.70	30.00	32.80	36.80	39.90	43.40	47.00	52.20	56.40
1080	26.20	29.40	32.10	36.00	39.00	42.30	45.80	50.80	54.90
1140	25.70	28.90	31.40	35.10	38.10	41.30	44.70	49.60	53.50
1200	25.20	28.30	30.70	34.40	37.30	40.40	43.70	48.40	52.20
1260	24.70	27.70	30.10	33.70	36.50	39.50	42.70	47.20	51.00
1320	24.20	27.20	29.60	33.00	35.70	38.70	41.80	46.20	49.80
1380	23.80	26.70	29.10	32.40	35.00	38.00	41.00	45.20	48.80
1440	23.50	26.30	28.60	31.80	34.40	37.20	40.20	44.30	47.80
1500	18.40	20.60	22.40	24.90	26.90	29.10	31.50	34.70	37.40
1560	9.20	10.30	11.20	12.40	13.40	14.50	15.70	17.30	18.70
1620	3.80	4.30	4.60	5.20	5.60	6.00	6.50	7.20	7.70
1680	1.60	1.80	1.90	2.20	2.30	2.50	2.70	3.00	3.20
1740	0.70	0.70	0.80	0.90	1.00	1.00	1.10	1.20	1.30
1800	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia

Tabla 4.2.50. *H. U. Snyder en la bocatoma Chicllarazo*

Duración	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.90	3.10	4.20	6.10	7.80	9.90	12.20	15.90	19.20
120	10.80	14.90	18.60	24.50	29.80	35.80	42.70	53.30	62.50
180	23.70	30.20	35.90	44.40	51.80	60.10	69.20	82.90	94.50
240	31.90	38.80	44.70	53.40	60.70	68.80	77.50	90.40	101.00
300	34.40	40.90	46.30	54.30	60.90	68.00	75.80	87.10	96.30
360	34.60	40.50	45.40	52.60	58.50	64.90	71.80	81.80	89.80
420	33.90	39.40	43.90	50.50	55.80	61.50	67.80	76.70	84.00
480	33.00	38.10	42.30	48.40	53.30	58.60	64.40	72.50	79.20
540	32.10	36.90	40.90	46.40	51.00	56.00	61.30	68.90	75.10
600	31.30	35.80	39.50	44.70	49.10	53.80	58.70	65.80	71.60
660	30.50	34.80	38.20	43.20	47.30	51.70	56.40	63.00	68.60
720	29.70	33.80	37.10	41.80	45.80	49.90	54.40	60.70	65.80
780	28.90	32.90	36.10	40.60	44.30	48.20	52.60	58.50	63.40
840	28.20	32.00	35.10	39.50	43.00	46.80	50.90	56.60	61.20
900	27.70	31.20	34.30	38.40	41.80	45.50	49.30	54.80	59.30
960	27.10	30.50	33.40	37.50	40.70	44.30	47.90	53.20	57.60
1020	26.60	29.80	32.60	36.60	39.60	43.10	46.70	51.80	55.90
1080	26.00	29.20	31.80	35.70	38.70	42.00	45.50	50.50	54.40
1140	25.50	28.70	31.20	34.90	37.90	41.10	44.40	49.20	53.10
1200	25.00	28.20	30.60	34.20	37.00	40.10	43.40	48.00	51.80
1260	24.60	27.60	30.00	33.50	36.30	39.20	42.40	46.90	50.70
1320	24.10	27.10	29.40	32.90	35.50	38.50	41.50	45.90	49.50
1380	23.70	26.60	28.90	32.20	34.80	37.80	40.70	45.00	48.50
1440	23.40	26.10	28.50	31.70	34.20	37.00	40.00	44.10	47.50
1500	17.90	20.00	21.80	24.20	26.10	28.30	30.60	33.60	36.30
1560	7.80	8.70	9.40	10.50	11.30	12.20	13.20	14.50	15.70
1620	1.80	2.00	2.10	2.40	2.60	2.80	3.00	3.30	3.60
1680	0.30	0.40	0.40	0.50	0.50	0.50	0.60	0.60	0.70
1740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: elaboración propia

Tabla 4.2.51. *H. U. SCS en la bocatoma Apacheta*

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.60	3.30	5.00	8.10	11.10	14.70	19.00	25.90	32.10
120	13.20	18.70	23.90	32.00	39.30	47.70	57.30	72.10	85.00
180	27.40	35.40	42.40	52.90	61.90	72.00	83.10	99.70	113.70
240	35.30	43.50	50.60	61.00	69.80	79.40	89.90	105.50	118.30
300	38.60	46.50	53.10	62.90	71.00	79.80	89.40	103.50	115.10
360	39.70	47.00	53.20	62.30	69.70	77.70	86.60	99.30	109.60
420	39.70	46.60	52.30	60.70	67.60	75.00	83.10	94.70	104.20
480	39.20	45.70	51.10	58.90	65.30	72.20	79.70	90.40	99.10
540	38.60	44.70	49.80	57.10	63.10	69.60	76.50	86.50	94.60
600	37.90	43.70	48.50	55.30	61.00	67.20	73.70	83.00	90.80
660	37.10	42.70	47.20	53.70	59.20	65.00	71.20	80.00	87.30
720	36.30	41.70	46.00	52.20	57.50	62.90	68.90	77.20	84.10
780	35.60	40.80	45.00	50.90	55.90	61.00	66.80	74.70	81.30
840	34.90	39.80	44.00	49.70	54.40	59.40	64.90	72.40	78.70
900	34.30	39.00	43.00	48.50	53.00	57.90	63.10	70.40	76.50
960	33.80	38.20	42.00	47.50	51.70	56.50	61.50	68.50	74.40
1020	33.20	37.50	41.10	46.40	50.50	55.10	60.00	66.80	72.40
1080	32.60	36.90	40.30	45.50	49.50	53.90	58.60	65.20	70.60
1140	32.00	36.30	39.60	44.50	48.50	52.80	57.30	63.70	69.00
1200	31.50	35.70	38.90	43.70	47.50	51.60	56.00	62.30	67.50
1260	31.00	35.00	38.20	42.90	46.60	50.60	54.90	61.00	66.00
1320	30.50	34.40	37.50	42.10	45.80	49.70	53.90	59.70	64.60
1380	30.10	33.80	37.00	41.40	44.90	48.90	52.90	58.60	63.30
1440	29.70	33.30	36.40	40.70	44.20	48.00	52.00	57.50	62.10
1500	18.10	20.30	22.20	24.80	26.90	29.20	31.70	35.00	37.90
1560	6.00	6.80	7.40	8.30	9.00	9.70	10.50	11.70	12.60
1620	2.00	2.30	2.50	2.80	3.00	3.30	3.50	3.90	4.20
1680	0.70	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.10	1.30	1.40
1740	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40
1800	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario SCS en la microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia

Tabla 4.2.52. H. U. Snyder en la bocatoma Apacheta

Duración minutos	Frecuencia en años								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
60	1.50	3.10	4.70	7.60	10.40	13.80	17.80	24.30	30.20
120	12.80	18.60	23.90	32.50	40.20	49.20	59.50	75.40	89.40
180	29.20	37.90	45.50	56.90	66.70	77.60	89.60	107.60	122.80
240	37.60	46.30	53.70	64.50	73.60	83.60	94.30	110.20	123.30
300	39.90	47.80	54.50	64.20	72.30	81.10	90.60	104.50	115.90
360	40.20	47.50	53.60	62.60	69.90	77.80	86.50	99.00	109.10
420	39.80	46.70	52.30	60.60	67.30	74.60	82.70	94.00	103.30
480	39.20	45.70	51.00	58.60	64.90	71.70	79.10	89.60	98.20
540	38.50	44.60	49.60	56.80	62.70	69.10	75.90	85.80	93.90
600	37.80	43.50	48.30	55.10	60.70	66.80	73.20	82.40	90.10
660	37.00	42.50	47.00	53.50	58.90	64.60	70.80	79.40	86.70
720	36.20	41.60	45.90	52.00	57.20	62.60	68.50	76.80	83.50
780	35.50	40.60	44.80	50.70	55.70	60.70	66.50	74.30	80.80
840	34.80	39.70	43.80	49.50	54.20	59.10	64.60	72.10	78.30
900	34.20	38.80	42.90	48.40	52.80	57.70	62.80	70.10	76.10
960	33.70	38.10	41.90	47.30	51.60	56.30	61.20	68.20	74.10
1020	33.10	37.40	41.00	46.30	50.40	54.90	59.70	66.60	72.10
1080	32.50	36.80	40.20	45.30	49.30	53.70	58.40	65.00	70.30
1140	31.90	36.20	39.40	44.40	48.40	52.60	57.10	63.50	68.70
1200	31.40	35.60	38.80	43.60	47.40	51.50	55.80	62.10	67.30
1260	30.90	34.90	38.10	42.80	46.50	50.50	54.70	60.80	65.80
1320	30.40	34.30	37.40	42.00	45.60	49.60	53.70	59.50	64.40
1380	30.00	33.80	36.90	41.30	44.80	48.70	52.80	58.40	63.10
1440	29.60	33.20	36.40	40.60	44.00	47.90	51.80	57.30	61.90
1500	18.70	21.00	23.00	25.60	27.90	30.20	32.70	36.10	39.10
1560	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.10	7.80	8.40
1620	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1680	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1740	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1800	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Distribución de avenidas máximas de 24 horas con el modelo del hidrograma unitario Snyder en la microcuenca de la bocatoma Apacheta. Fuente: elaboración propia

Anexo Q. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro

Tabla 4.2.53. *Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Q_{inst} en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	3.58	0.04	0.02	0.02
2	6.93	0.08	0.12	0.04
3	7.24	0.12	0.14	0.02
4	7.94	0.15	0.18	0.03
5	8.98	0.19	0.26	0.07
6	9.13	0.23	0.27	0.04
7	9.16	0.27	0.27	0.00
8	9.70	0.31	0.32	0.01
9	9.88	0.35	0.34	0.01
10	10.30	0.38	0.38	0.00
11	10.40	0.42	0.39	0.03
12	10.61	0.46	0.41	0.05
13	10.74	0.50	0.42	0.08
14	10.81	0.54	0.43	0.11
15	11.13	0.58	0.46	0.11
16	11.56	0.62	0.51	0.11
17	11.94	0.65	0.55	0.11
18	12.31	0.69	0.59	0.11
19	13.38	0.73	0.69	0.04
20	14.43	0.77	0.78	0.01
21	15.04	0.81	0.82	0.02
22	15.36	0.85	0.84	0.00
23	16.32	0.88	0.90	0.01
24	18.82	0.92	0.97	0.05
25	21.21	0.96	0.99	0.03
Suma (mm)	286.888		Dmax =	0.113
Media (mm)	11.476		α =	0.050
D.Est. (S)	3.840		C α =	1.358
α	2.994		Kn =	5.142
μ	9.747		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Normal de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Choccoro. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.54. *Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	3.58	0.04	0.00	0.04
2	6.93	0.08	0.11	0.03
3	7.24	0.12	0.13	0.02
4	7.94	0.15	0.19	0.04
5	8.98	0.19	0.30	0.11
6	9.13	0.23	0.32	0.09
7	9.16	0.27	0.32	0.05
8	9.70	0.31	0.38	0.07
9	9.88	0.35	0.40	0.05
10	10.30	0.38	0.44	0.06
11	10.40	0.42	0.45	0.03
12	10.61	0.46	0.48	0.01
13	10.74	0.50	0.49	0.01
14	10.81	0.54	0.50	0.04
15	11.13	0.58	0.53	0.05
16	11.56	0.62	0.57	0.04
17	11.94	0.65	0.61	0.05
18	12.31	0.69	0.64	0.05
19	13.38	0.73	0.72	0.01
20	14.43	0.77	0.79	0.02
21	15.04	0.81	0.82	0.01
22	15.36	0.85	0.83	0.01
23	16.32	0.88	0.87	0.01
24	18.82	0.92	0.94	0.01
25	21.21	0.96	0.97	0.01
Suma (mm)	286.888		Dmax =	0.109
Media (mm)	11.476		α =	0.050
D.Est. (S)	3.840		C α =	1.358
α	2.994		Kn =	5.142
μ	9.747		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Log-Normal 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Choccoro. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.55. *Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro*

N°	P (mm) (X)	P(X)	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	3.58	0.04	0.00	0.04
2	6.93	0.08	0.10	0.02
3	7.24	0.12	0.12	0.01
4	7.94	0.15	0.18	0.03
5	8.98	0.19	0.28	0.09
6	9.13	0.23	0.29	0.06
7	9.16	0.27	0.30	0.03
8	9.70	0.31	0.35	0.05
9	9.88	0.35	0.37	0.03
10	10.30	0.38	0.42	0.03
11	10.40	0.42	0.43	0.01
12	10.61	0.46	0.45	0.01
13	10.74	0.50	0.47	0.03
14	10.81	0.54	0.47	0.06
15	11.13	0.58	0.51	0.07
16	11.56	0.62	0.55	0.06
17	11.94	0.65	0.59	0.06
18	12.31	0.69	0.63	0.07
19	13.38	0.73	0.72	0.01
20	14.43	0.77	0.79	0.02
21	15.04	0.81	0.83	0.02
22	15.36	0.85	0.85	0.00
23	16.32	0.88	0.89	0.00
24	18.82	0.92	0.96	0.03
25	21.21	0.96	0.98	0.02
Suma (mm)	286.888		Dmax =	0.086
Media (mm)	11.476		α =	0.050
D.Est. (S)	3.840		C α =	1.358
α	2.994		Kn =	5.142
μ	9.747		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gamma de 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Choccoro. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.56. *Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Choccoro*

N°	P (mm) (X)	P(X)	y	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	3.58	0.04	-2.06	0.00	0.04
2	6.93	0.08	-0.94	0.08	0.00
3	7.24	0.12	-0.84	0.10	0.02
4	7.94	0.15	-0.60	0.16	0.01
5	8.98	0.19	-0.26	0.28	0.08
6	9.13	0.23	-0.21	0.29	0.06
7	9.16	0.27	-0.20	0.30	0.03
8	9.70	0.31	-0.02	0.36	0.05
9	9.88	0.35	0.05	0.38	0.04
10	10.30	0.38	0.18	0.44	0.05
11	10.40	0.42	0.22	0.45	0.02
12	10.61	0.46	0.29	0.47	0.01
13	10.74	0.50	0.33	0.49	0.01
14	10.81	0.54	0.36	0.50	0.04
15	11.13	0.58	0.46	0.53	0.04
16	11.56	0.62	0.61	0.58	0.04
17	11.94	0.65	0.73	0.62	0.04
18	12.31	0.69	0.86	0.65	0.04
19	13.38	0.73	1.21	0.74	0.01
20	14.43	0.77	1.56	0.81	0.04
21	15.04	0.81	1.77	0.84	0.04
22	15.36	0.85	1.87	0.86	0.01
23	16.32	0.88	2.20	0.89	0.01
24	18.82	0.92	3.03	0.95	0.03
25	21.21	0.96	3.83	0.98	0.02
Suma (mm)	286.888			Dmax =	0.083
Media (mm)	11.476			α =	0.050
D.Est. (S)	3.840			C α =	1.358
α	2.994			Kn =	5.142
μ	9.747			D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gumbel de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Choccoro. Fuente: Elaboración propia.

**Anexo R. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación
de la bocatoma Chicllarazo**

Tabla 4.2.57. *Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	12.23	0.04	0.02	0.02
2	15.29	0.08	0.04	0.04
3	27.22	0.12	0.22	0.11
4	27.51	0.15	0.23	0.08
5	28.34	0.19	0.25	0.06
6	29.20	0.23	0.27	0.04
7	29.34	0.27	0.28	0.01
8	29.35	0.31	0.28	0.03
9	30.03	0.35	0.30	0.05
10	30.69	0.38	0.32	0.07
11	34.29	0.42	0.43	0.01
12	35.44	0.46	0.47	0.01
13	35.78	0.50	0.48	0.02
14	36.92	0.54	0.52	0.02
15	38.21	0.58	0.56	0.01
16	38.64	0.62	0.58	0.04
17	39.88	0.65	0.62	0.04
18	40.13	0.69	0.62	0.07
19	40.60	0.73	0.64	0.09
20	41.43	0.77	0.67	0.10
21	41.82	0.81	0.68	0.13
22	46.08	0.85	0.79	0.05
23	55.12	0.88	0.94	0.06
24	59.81	0.92	0.98	0.05
25	65.29	0.96	0.99	0.03
Suma (mm)	908.613		Dmax =	0.131
Media (mm)	36.345		α =	0.050
D.Est. (S)	11.941		C α =	1.358
α	9.310		Kn =	5.142
μ	30.970		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Normal de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.58. *Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	12.23	0.04	0.00	0.04
2	15.29	0.08	0.01	0.06
3	27.22	0.12	0.26	0.15
4	27.51	0.15	0.27	0.12
5	28.34	0.19	0.30	0.11
6	29.20	0.23	0.33	0.10
7	29.34	0.27	0.33	0.06
8	29.35	0.31	0.33	0.03
9	30.03	0.35	0.36	0.01
10	30.69	0.38	0.38	0.00
11	34.29	0.42	0.50	0.08
12	35.44	0.46	0.54	0.07
13	35.78	0.50	0.55	0.05
14	36.92	0.54	0.58	0.04
15	38.21	0.58	0.62	0.04
16	38.64	0.62	0.63	0.01
17	39.88	0.65	0.66	0.01
18	40.13	0.69	0.67	0.03
19	40.60	0.73	0.68	0.05
20	41.43	0.77	0.70	0.07
21	41.82	0.81	0.71	0.10
22	46.08	0.85	0.79	0.06
23	55.12	0.88	0.90	0.02
24	59.81	0.92	0.94	0.01
25	65.29	0.96	0.96	0.00
Suma (mm)	908.613		Dmax =	0.147
Media (mm)	36.345		α =	0.050
D.Est. (S)	11.941		C α =	1.358
α	9.310		Kn =	5.142
μ	30.970		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Log-Normal 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.59. *Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo*

N°	P (mm) (X)	P(X)	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	12.23	0.04	0.00	0.03
2	15.29	0.08	0.02	0.06
3	27.22	0.12	0.24	0.12
4	27.51	0.15	0.25	0.10
5	28.34	0.19	0.28	0.08
6	29.20	0.23	0.30	0.07
7	29.34	0.27	0.31	0.04
8	29.35	0.31	0.31	0.00
9	30.03	0.35	0.33	0.01
10	30.69	0.38	0.35	0.03
11	34.29	0.42	0.48	0.05
12	35.44	0.46	0.52	0.05
13	35.78	0.50	0.53	0.03
14	36.92	0.54	0.56	0.02
15	38.21	0.58	0.60	0.03
16	38.64	0.62	0.62	0.00
17	39.88	0.65	0.65	0.00
18	40.13	0.69	0.66	0.03
19	40.60	0.73	0.67	0.06
20	41.43	0.77	0.69	0.07
21	41.82	0.81	0.70	0.10
22	46.08	0.85	0.80	0.05
23	55.12	0.88	0.92	0.04
24	59.81	0.92	0.96	0.03
25	65.29	0.96	0.98	0.02
Suma (mm)	908.613		Dmax =	0.125
Media (mm)	36.345		α =	0.050
D.Est. (S)	11.941		C α =	1.358
α	9.310		Kn =	5.142
μ	30.970		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gamma de 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.60. *Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Chicllarazo*

N°	P (mm) (X)	P(X)	y	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	12.23	0.04	-2.01	0.00	0.04
2	15.29	0.08	-1.68	0.00	0.07
3	27.22	0.12	-0.40	0.22	0.11
4	27.51	0.15	-0.37	0.23	0.08
5	28.34	0.19	-0.28	0.27	0.07
6	29.20	0.23	-0.19	0.30	0.07
7	29.34	0.27	-0.17	0.30	0.03
8	29.35	0.31	-0.17	0.30	0.00
9	30.03	0.35	-0.10	0.33	0.02
10	30.69	0.38	-0.03	0.36	0.03
11	34.29	0.42	0.36	0.50	0.07
12	35.44	0.46	0.48	0.54	0.08
13	35.78	0.50	0.52	0.55	0.05
14	36.92	0.54	0.64	0.59	0.05
15	38.21	0.58	0.78	0.63	0.05
16	38.64	0.62	0.82	0.64	0.03
17	39.88	0.65	0.96	0.68	0.03
18	40.13	0.69	0.98	0.69	0.00
19	40.60	0.73	1.03	0.70	0.03
20	41.43	0.77	1.12	0.72	0.05
21	41.82	0.81	1.16	0.73	0.08
22	46.08	0.85	1.62	0.82	0.03
23	55.12	0.88	2.59	0.93	0.04
24	59.81	0.92	3.10	0.96	0.03
25	65.29	0.96	3.69	0.98	0.01
Suma (mm)	908.613			Dmax =	0.109
Media (mm)	36.345			α =	0.050
D.Est. (S)	11.941			C α =	1.358
α	9.310			Kn =	5.142
μ	30.970			D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gumbel de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Chicllarazo. Fuente: Elaboración propia.

Anexo S. Bondad de ajuste de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta

Tabla 4.2.61. *Bondad de ajuste dist. Normal de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	25.28	0.04	0.06	0.02
2	25.74	0.08	0.07	0.01
3	26.59	0.12	0.08	0.04
4	29.61	0.15	0.13	0.03
5	30.30	0.19	0.14	0.05
6	33.45	0.23	0.22	0.01
7	33.46	0.27	0.22	0.05
8	35.40	0.31	0.28	0.03
9	35.76	0.35	0.29	0.05
10	37.97	0.38	0.37	0.02
11	39.80	0.42	0.44	0.01
12	41.07	0.46	0.48	0.02
13	41.46	0.50	0.50	0.00
14	42.94	0.54	0.55	0.02
15	43.55	0.58	0.58	0.00
16	43.87	0.62	0.59	0.03
17	45.60	0.65	0.65	0.00
18	48.11	0.69	0.74	0.04
19	49.07	0.73	0.76	0.03
20	49.55	0.77	0.78	0.01
21	50.07	0.81	0.79	0.01
22	50.71	0.85	0.81	0.04
23	51.60	0.88	0.83	0.05
24	61.04	0.92	0.97	0.05
25	65.68	0.96	0.99	0.03
Suma (mm)	1037.688		Dmax =	0.054
Media (mm)	41.508		α =	0.050
D.Est. (S)	10.482		C α =	1.358
α	8.173		K n =	5.142
μ	36.790		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Normal de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Apacheta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.62. *Bondad de ajuste dist. Log-Normal 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta*

N°	P (mm) (X)	P(X)	F(Z)	Dx G(y) - P(x)
1	25.28	0.04	0.04	0.00
2	25.74	0.08	0.04	0.04
3	26.59	0.12	0.05	0.06
4	29.61	0.15	0.12	0.04
5	30.30	0.19	0.14	0.06
6	33.45	0.23	0.24	0.01
7	33.46	0.27	0.24	0.03
8	35.40	0.31	0.31	0.00
9	35.76	0.35	0.32	0.02
10	37.97	0.38	0.41	0.03
11	39.80	0.42	0.48	0.06
12	41.07	0.46	0.53	0.07
13	41.46	0.50	0.55	0.05
14	42.94	0.54	0.60	0.06
15	43.55	0.58	0.62	0.04
16	43.87	0.62	0.63	0.02
17	45.60	0.65	0.69	0.03
18	48.11	0.69	0.76	0.06
19	49.07	0.73	0.78	0.05
20	49.55	0.77	0.79	0.02
21	50.07	0.81	0.80	0.01
22	50.71	0.85	0.82	0.03
23	51.60	0.88	0.83	0.05
24	61.04	0.92	0.95	0.02
25	65.68	0.96	0.97	0.01
Suma (mm)	1037.688		Dmax =	0.070
Media (mm)	41.508		α =	0.050
D.Est. (S)	10.482		C α =	1.358
α	8.173		K n =	5.142
μ	36.790		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Log-Normal 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Apacheta. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.63. *Bondad de ajuste dist. Gamma de 2 parámetros de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta*

N°	P (mm) (X)	P(X)	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	25.28	0.04	0.04	0.00
2	25.74	0.08	0.05	0.03
3	26.59	0.12	0.06	0.06
4	29.61	0.15	0.11	0.04
5	30.30	0.19	0.13	0.06
6	33.45	0.23	0.23	0.01
7	33.46	0.27	0.23	0.04
8	35.40	0.31	0.29	0.01
9	35.76	0.35	0.31	0.04
10	37.97	0.38	0.39	0.01
11	39.80	0.42	0.47	0.04
12	41.07	0.46	0.52	0.05
13	41.46	0.50	0.53	0.03
14	42.94	0.54	0.59	0.05
15	43.55	0.58	0.61	0.03
16	43.87	0.62	0.62	0.01
17	45.60	0.65	0.68	0.03
18	48.11	0.69	0.76	0.06
19	49.07	0.73	0.78	0.05
20	49.55	0.77	0.79	0.02
21	50.07	0.81	0.81	0.00
22	50.71	0.85	0.82	0.03
23	51.60	0.88	0.84	0.05
24	61.04	0.92	0.96	0.04
25	65.68	0.96	0.98	0.02
Suma (mm)	1037.688		Dmax =	0.063
Media (mm)	41.508		α =	0.050
D.Est. (S)	10.482		C α =	1.358
α	8.173		Kn =	5.142
μ	36.790		D α =	0.264

Bondad de ajuste distribución Gamma de 2 parámetros de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Apacheta. Fuente: Elaboración propia.

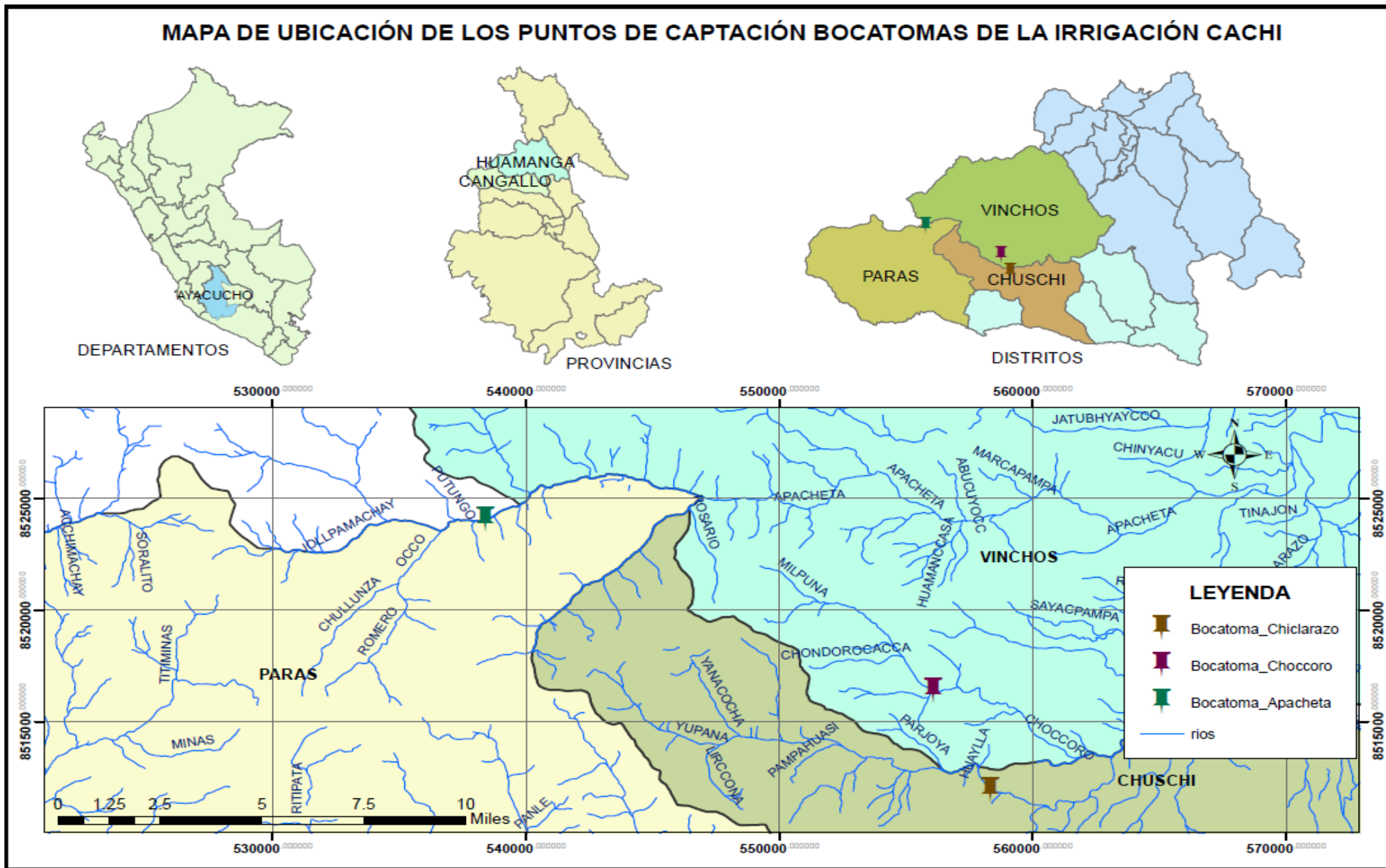
Tabla 4.2.64. *Bondad de ajuste dist. Gumbel de datos de Qinst en 24 horas en estación de la bocatoma Apacheta*

N°	P (mm) (X)	P(X)	y	G(y)	Dx G(y) - P(x)
1	25.28	0.04	-1.41	0.02	0.02
2	25.74	0.08	-1.35	0.02	0.06
3	26.59	0.12	-1.25	0.03	0.08
4	29.61	0.15	-0.88	0.09	0.06
5	30.30	0.19	-0.79	0.11	0.08
6	33.45	0.23	-0.41	0.22	0.01
7	33.46	0.27	-0.41	0.22	0.05
8	35.40	0.31	-0.17	0.31	0.00
9	35.76	0.35	-0.13	0.32	0.02
10	37.97	0.38	0.14	0.42	0.04
11	39.80	0.42	0.37	0.50	0.08
12	41.07	0.46	0.52	0.55	0.09
13	41.46	0.50	0.57	0.57	0.07
14	42.94	0.54	0.75	0.62	0.09
15	43.55	0.58	0.83	0.65	0.07
16	43.87	0.62	0.87	0.66	0.04
17	45.60	0.65	1.08	0.71	0.06
18	48.11	0.69	1.39	0.78	0.09
19	49.07	0.73	1.50	0.80	0.07
20	49.55	0.77	1.56	0.81	0.04
21	50.07	0.81	1.62	0.82	0.01
22	50.71	0.85	1.70	0.83	0.01
23	51.60	0.88	1.81	0.85	0.04
24	61.04	0.92	2.97	0.95	0.03
25	65.68	0.96	3.53	0.97	0.01
Suma (mm)	1037.688			Dmax =	0.091
Media (mm)	41.508			α =	0.050
D.Est. (S)	10.482			C α =	1.358
α	8.173			Kn =	5.142
μ	36.790			D α =	0.264

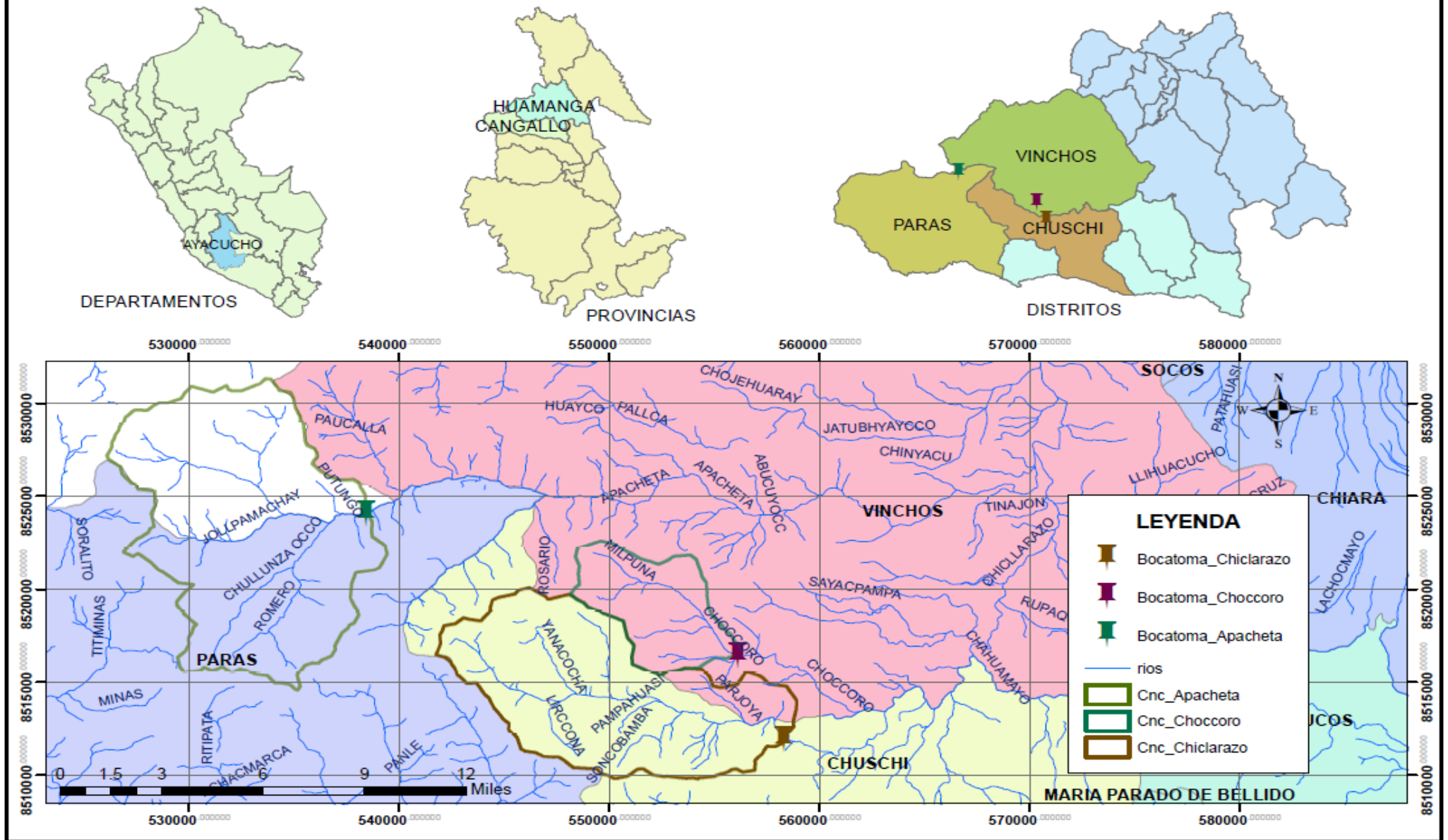
Bondad de ajuste distribución Gumbel de datos de caudales instantáneos en 24 horas en la estación hidrométrica de la bocatoma Apacheta. Fuente: Elaboración propia.

Anexo T. Mapas

MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE CAPTACIÓN BOCATOMAS DE LA IRRIGACIÓN CACHI



MAPA DE UBICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE BOCATOMAS DE LA IRRIGACIÓN CACHI



Cuencas hidrográficas de bocatomas de Irrigación Cachi

Leyenda

-  Bocatoma
-  E.

Bocatoma Apacheta
E. Apacheta

Bocatoma Choccoro
E. Choccoro

E. Chaquijcocha
Bocatoma Chiclarazo

Google Earth
image © 2017 DigitalGlobe

