

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“ANÁLISIS DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA SUBCUENCA DE LA
REPRESA EL PAÑE Y EVALUACIÓN DEL CANAL PAÑE - SUMBAY”**

Tesis presentada por los Bachilleres:

Huarza Ccahuana, Yina Lizbeth

Arango Vela, Pablo Felipe

Para optar por el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Rendón Dávila, Víctor Oscar

Arequipa – Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El Borrador de Tesis Titulado:

Análisis de los Recursos Hídricos de la Subcuenca de la Represa el
Paño y evaluación del canal Paño-Sumbay

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

Arango Vela Pablo Felipe
Huarza Coahuana Yina Lizbeth

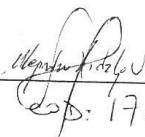
Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado para sustentación

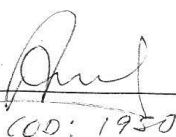
OBSERVACIONES:

Sin Observaciones

Arequipa, 10 de Junio del 2019


CD. 1783


2592


COD: 1950

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, por permitirnos haber estudiado una carrera profesional tan maravillosa e importante como lo es la ingeniería civil.

A nuestros docentes por habernos guiado durante nuestra etapa universitaria, inculcándonos conocimientos y valores y sobre todo a nuestro asesor, Ing. Víctor Rendón, quien nos apoyó y guió en cada etapa de la realización de la presente tesis.

A los ingenieros de la Universidad de PURDUE, Indiana, Estados Unidos, por guiarnos y enseñarnos más sobre la modelación hidrológica, a los ingenieros del ANA y de AUTODEMA por brindarnos la información necesaria para realizar el presente trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, Claudio e Isabel por su apoyo, dedicación y amor incondicional; por ser mis ejemplos de perseverancia, esfuerzo y fortaleza a seguir. A mi hermana Naysha y a mi hermano pequeño Anthony por su cariño y aliento, por siempre acompañarme y alegrar nuestros días juntos. A Peluche, mi mascota, por darme alivio en momentos de agobio.

Yina

A mi padre, que en paz descanse, a mi madre y a mi hermano, quienes me enseñaron a ser lo mejor de mí.

A Manuel Chatango del Valle de Arango, que en paz descanse.

Pablo

INTRODUCCIÓN

Las relaciones hidrológicas que ocurren en una cuenca se pueden estudiar a través de modelos que simplifiquen y representen los distintos fenómenos que suceden al interior de ésta, siendo los modelos matemáticos una herramienta importante. Así, los modelos matemáticos permiten representar un sistema hidrológico por medio de relaciones lógicas y cuantitativas, capaces de ser modificadas para observar cómo el sistema reacciona, siendo los modelos de simulación aquellos capaces de reproducir sistemas altamente complejos. Debido a la complejidad de los procesos hidrológicos que ocurren en un sistema natural, la ingeniería hidrológica ha desarrollado modelos que en términos generales reproducen el ciclo hidrológico o parte de éste, basados en el supuesto que un modelo general puede ser modificado para utilizarse en otras cuencas de características similares.

En este contexto, los Modelos de Simulación Integral de Cuencas (MSIC) representan la totalidad del ciclo hidrológico que ocurre en una cuenca hidrográfica, teniendo como principal finalidad generar datos de caudal o aportación, a partir de información meteorológica (principalmente precipitaciones y evapotranspiraciones potenciales (ETP)), los cuales pueden someterse a análisis probabilísticos para la determinación de parámetros en el diseño de obras hidráulicas. Además, son capaces de producir datos en cuencas sin estaciones de medición y permiten realizar la completación y extensión de series históricas de aportaciones.

El desarrollo de estos métodos indirectos de evaluación de los recursos hídricos, sumado a los avances computacionales y a la masificación de los sistemas de información geográfica (SIG), ha permitido el análisis de los procesos hidrológicos considerando intervalos de tiempos más cortos y con un mayor detalle espacial dentro de la cuenca.

En la presente investigación comparamos los modelos de Témez, SWAT y Lutz Scholz; esta última es un modelo de lluvia – escorrentía desarrollada específicamente para cuencas alto – andinas y solo ha sido probada en 19 cuencas; para determinar cuál se ajusta más a las condiciones de la sub cuenca alto – andina de la Represa El Pañe, por tal motivo mediante pruebas estadísticas se determinó que modelo hidrológico describe mejor el comportamiento de esta sub cuenca.

También evaluamos la eficiencia del Canal Pañe – Sumbay que opera desde 1965, año en que los recursos hídricos de la sub cuenca Alto Colca (hidrográficamente es cabecera de la cuenca Colca – Majes – Sigüas) son trasvasados a la cuenca Chili – Quilca. A mediados de los 70 se presentó pérdidas por filtraciones que llegaron hasta un 45% y 50%, por tal motivo en la presente investigación determinaremos la eficiencia de conducción actual del canal para tomar en cuenta las acciones a considerarse y realizarse en la infraestructura para prever y mantener las condiciones óptimas para la conducción de los caudales requeridos.



RESUMEN

La mayor desventaja para la modelación hidrológica en zonas remotas alto-andinas es la escasez de información hidrometeorológica, geológica, de cobertura vegetal y uso de suelos. Debido a este problema, el uso de modelos hidrológicos es una alternativa conveniente para realizar los análisis necesarios que puedan prescindir de escalas temporales reducidas tales como la gestión, planificación y evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico a nivel mensual para diversas actividades.

En la presente investigación se aplicaron tres modelos hidrológicos (Témez, Lutz Scholz, SWAT) sobre la subcuenca alto-andina de El Pañe, y se evaluó con criterios estadísticos la eficiencia hidrológica de cada modelo. Usando como referencia principal el coeficiente de eficiencia de Nash, se concluyó que el modelo que se ajusta más al comportamiento de la cuenca estudiada es el modelo de Témez, con un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.83, le sigue el modelo SWAT con 0.75 y luego el modelo de Lutz Scholz con 0.60.

El estudio del recurso hídrico también engloba el transporte del mismo, para lo cual se debió estudiar el tramo de salida de la represa El Pañe, el cual es el primer tramo del canal Pañe-Sumbay. Se realizaron mediciones del caudal del canal usando un velocímetro, con el fin de analizar la eficiencia de conducción del agua.

Palabras Claves: Hidrología, Modelo hidrológicos, Lutz – Scholz, Témez, SWAT, eficiencia de conducción

ABSTRACT

The biggest disadvantage for hydrologic modelation on remote high-andean areas is the lack of hydrometeorological, geological, land coverage and soil use data. Due to this problem, the use of hydrological models is a convenient alternative to carry out the necessary analysis that can dispense with reduced timescales such as management, planning and evaluation of the availability of monthly water resources for diverse activities.

In this investigation, three hydrological models (Témez, Lutz Scholz, and SWAT) were applied on the high-andean basin El Pañe, the hydrological efficiency was evaluated with statistical criteria for each model. Using the Nash efficiency coefficient as a main reference, it was concluded that the model that best fits the studied basin's behavior is the Témez model, with a 0.83 Nash efficiency coefficient, followed by the SWAT model with 0.75 and the Lutz Scholz model with 0.60.

The hydric resource's study also includes its transportation, for which it was necessary to study the El Pañe dam outflow section, which is the Pañe-Sumbay canal's first section. Channel flow measurements were made using a speedometer, in order to analyze the water conduction efficiency.

Keywords: Hydrology, hydrological models, Témez, Lutz – Scholz, SWAT, driving efficiency

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xvi
CAPÍTULO. I. PLANTEAMIENTO TEÓRICO - OPERACIONAL	1
1.1 Título de la Investigación.....	1
1.2 Problema de investigación	1
1.2.1. Enunciado del problema.	1
1.2.2. Descripción del problema.	1
1.3. Justificación de la Investigación	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.	3
1.4.2. Objetivos Secundarios.	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.5.1. Variable Dependiente.....	4
1.5.2. Variables Independientes.	4
1.6. Tipo de investigación	7
1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
1.8. Método	8
1.9. Campo de Verificación.....	9
1.9.1. Ubicación espacial.	9
1.9.2. Ubicación temporal.....	9
1.9.3. Unidades de estudio.	9
CAPÍTULO. II. MARCO TEÓRICO	10
2.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	10
2.3. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.3.1. El ciclo hidrológico.....	11
2.3.2. Elementos del ciclo hidrológico.....	12
2.3.3. Factores que afectan la escorrentía en una cuenca.....	17
2.3.4. Cuenca Hidrológica e Hidrográfica.	18
2.3.5. Modelos Hidrológicos.....	20

2.3.6.	Tipo y clasificación de los modelos hidrológicos.....	20
2.3.7.	Concepto de caudales.....	26
2.3.8.	Factores que afectan el caudal.	27
2.3.9.	Canales.....	28
2.3.10.	Concepto y métodos de medición de caudales.....	29
CAPITULO. III. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA		33
3.1.	DELIMITACION DE LA SUBCUENCA.....	33
3.2.	DESCRIPCION DE LA SUBCUENCA.....	34
3.3.	UBICACIÓN.....	35
3.3.1.	Ubicación geográfica.	35
3.3.2.	Ubicación hidrográfica.....	37
3.3.3.	Ubicación administrativa.	37
3.4.	PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS	38
3.5.	COMPONENTES DEL SISTEMA REPRESA EL PAÑE.....	43
3.5.1.	La Represa.	43
3.5.2.	La Descarga de Fondo.	45
3.5.3.	La Compuerta de Amortiguamiento N°3.....	47
3.5.4.	El Aliviadero.....	48
3.5.5.	El Reservorio.	49
3.5.6.	Estaciones Hidrometereológicas.....	51
3.6.	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA.....	51
3.7.	IMPORTANCIA	52
3.8.	ACCESIBILIDAD, VÍAS DE COMUNICACIÓN	52
3.9.	SÍNTESIS DESCRIPTIVA.....	53
CAPITULO. IV. MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....		54
4.1.	MODELO DE TÉMEZ	54
4.1.1.	Parámetros del modelo.....	56
4.1.2.	Calculo del excedente.	57
4.1.3.	Cálculo del almacenamiento superficial e infiltración.....	58
4.1.4.	Cálculo de la aportación superficial.....	59
4.1.5.	Cálculo de la aportación subterránea.	59
4.2.	MODELO DE LUTZ SCHOLZ.....	62
4.2.1.	Balance Hídrico.	62
4.2.2.	Coeficiente de escurrimiento.	63
4.2.3.	Precipitación efectiva.....	64

4.2.4.	Retención en la cuenca.....	67
4.2.5.	Caudal mensual promedio.....	72
4.2.6.	Generación de caudales mensuales para periodos extendidos.....	73
4.2.7.	Test estadístico.....	74
4.3.	MODELO SWAT	75
4.3.1.	Desarrollo de SWAT.....	75
4.3.2.	Descripción general de SWAT.	77
4.4.	MEDIDAS DE BONDAD DE AJUSTE	88
4.4.1.	Coeficiente de calibración (r).....	88
4.4.2.	Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E).	88
CAPITULO. V. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....		89
5.1.	ANÁLISIS DE DOBLE MASA	89
5.2.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	89
5.2.1.	Consistencia de la Media.	90
5.2.2.	Consistencia de la desviación estándar.	91
5.2.3.	Corrección de los datos.....	92
5.3.	FUENTE DE INFORMACIÓN.....	92
5.4.	CLIMATOLOGIA	92
5.4.1.	Temperatura media.	93
5.4.2.	Temperatura máxima.	95
5.4.3.	Temperatura mínima.....	96
5.4.4.	Evaporación.	98
5.4.5.	Evapotranspiración Potencial.....	98
5.5.	PLUVIOMETRÍA.....	99
5.5.1.	Análisis de la información pluviométrica.	99
5.5.2.	Análisis de consistencia y rellenado de series.	101
5.5.3.	Precipitación areal en la cuenca.	103
5.6.	HIDROMETRÍA.....	104
5.6.2.	Caudales de salida.....	105
5.6.3.	Naturalización de caudales.	108
CAPITULO. VI. APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DE LA REPRESA EL PAÑE.....		114
6.1.	MODELO DE TÉMEZ	114
6.1.1.	Calibración y optimización.....	114

6.1.2.	Validación del modelo.....	118
6.2.	MODELO DE LUTZ SCHOLZ.....	120
6.2.1.	Calibración y optimización.....	120
6.2.2.	Validación del modelo.....	127
6.3.	MODELO SWAT.....	129
6.3.1.	Calibración y optimización.....	129
6.3.2.	Validación del modelo.....	148
6.4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	150
CAPITULO. VII. EVALUACIÓN DEL CANAL PAÑE – SUMBAY		152
7.1.	CANAL PAÑE – COLCA.....	152
7.1.1.	Tramo Pañe-Bamputañe.....	152
7.1.2.	Tramo Río Bamputañe.....	152
7.1.3.	Bocatoma Bamputañe.....	153
7.1.4.	Tramo Bamputañe - Río Negro.....	153
7.1.5.	Sifón Río Negro.....	153
7.1.6.	Tramo Sifón Río Negro - Sifón Blanquillo.....	154
7.1.7.	Sifón Blanquillo.....	154
7.1.8.	Bocatoma y Canal Blanquillo.....	154
7.1.9.	Tramo Blanquillo - Jancolacaya.....	154
7.1.10.	Bocatoma Jancolacaya.....	154
7.1.11.	Tramo Jancolacaya - Laguna del Indio.....	155
7.1.12.	Obras de Arte Diversas.....	155
7.2.	CANAL ZAMÁCOLA.....	155
7.3.	BOCATOMA Y CANAL ANTASALLA.....	156
7.4.	EFICIENCIA DEL TRASVASE.....	158
7.4.1.	Proceso de medición.....	160
7.4.2.	Puntos de Aforo.....	162
7.4.3.	Calculo de la eficiencia de conducción.....	169
7.4.4.	Evaluación general de las condiciones y de las alternativas de solución del canal Pañe – Bamputañe.....	170
CAPITULO. VIII. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		173
8.1.	BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA.....	173
8.2.	DISPONIBILIDAD DE LA OFERTA HIDRICA.....	176
CAPITULO. IX. CONCLUSIONES.....		197
CAPITULO. X. RECOMENDACIONES.....		199

BIBLIOGRAFÍA.....	201
ANEXOS.....	204
ANEXO 1. INFORMACIÓN HISTÓRICA	204
CLIMATOLÓGICA, PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA A ESCALA MENSUAL	204
ANEXO 2. INFORMACIÓN HISTÓRICA CLIMATOLÓGICA, PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA A ESCALA DIARIA.....	211
ANEXO 3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	240
ANEXO 4. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA, PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA CONSISTENCIADA Y COMPLETADA	245
ANEXO 5. TABLA COTA – ÁREA – VOLUMEN, REPRESA EL PAÑE.....	254
ANEXO 6. TABLAS ESTADÍSTICAS	266
ANEXO 7. RESULTADOS DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS.....	272
ANEXO 8. MAPAS	296

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas entre modelos analíticos y modelos matemáticos.	26
Tabla 2. Áreas por rangos de cotas en la subcuenca de la represa el Pañe.	39
Tabla 3. Rango de pendientes de la subcuenca el Pañe.	41
Tabla 4. Tipo de terreno de acuerdo a la pendiente media (%).	41
Tabla 5. Longitud de la red hídrica mediante el método de Strahler.	41
Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de la subcuenca de la represa el Pañe.	43
Tabla 7. Determinación de la PE, método USBR.	65
Tabla 8. Determinación de la pe modificando el método USBR.	65
Tabla 9. Coeficientes para el cálculo de la PE.	66
Tabla 10. Coeficientes anuales y mensuales para el cálculo de la contribución de la retención.	70
Tabla 11. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores -a %).	72
Tabla 12. Tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe.	88
Tabla 13. Estación climática el Pañe.	93
Tabla 14. Temperatura media mensual multianual 1975 – 2018.	94
Tabla 15. Temperatura máxima mensual multianual 1995 – 2018.	95
Tabla 16. Temperatura mínima mensual multianual 1995 – 2018.	97
Tabla 17. Estaciones pluviométricas disponibles cercanas a la subcuenca.	100
Tabla 18. Precipitación promedio mensual multianual 1975 – 2018.	102
Tabla 19. Precipitación total multianual (mm) en la subcuenca 1975 - 2017.	103
Tabla 20. Precipitación promedio multianual en la subcuenca (mm), periodo 1975 - 2018.	104
Tabla 21. Estación hidrométrica salida represa el Pañe.	105
Tabla 22. Caudal de salida promedio multianual estación salida represa el Pañe, periodo 1975 - 2018.	107
Tabla 23. Datos para la naturalización del caudal del mes de febrero del año 2000, datos obtenidos de AUTODEMA.	110
Tabla 24. Datos para la naturalización de caudal para el 01 de enero del 2003, datos obtenidos de AUTODEMA.	110
Tabla 25. Caudal natural promedio multianual, periodo 1975 - 2018.	112
Tabla 26. Parámetros y valores iniciales del modelo de Témez.	115

Tabla 27. Modelo de Lutz Scholz, cálculo de la precipitación efectiva.	122
Tabla 28. Modelo de Lutz Scholz, generación de caudales mensuales para el año promedio.	123
Tabla 29. Modelo de Lutz Scholz, caudales (Q_t), caudales del mes anterior (Q_{t-1}) y precipitaciones efectivas mensuales (PE) para el año promedio.	124
Tabla 30. Modelo de Lutz Scholz, valores hallados a partir de la tabla 29 para hallar las variables de la ecuación de regresión simple.	124
Tabla 31. Comparación del índice de Nash-Sutcliffe y coeficiente de correlación entre los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT.	150
Tabla 32. Número de mediciones sugerido en función al ancho del canal a medir.	160
Tabla 33. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 0+262.4 del canal, elaborado con el programa HydroVision.	163
Tabla 34. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 0+616.9 del canal, elaborado con el programa HydroVision.	165
Tabla 35. Tabla de caudales para la progresiva 1+900.	165
Tabla 36. Tabla de caudales para la progresiva 3+800.	166
Tabla 37. Tabla de caudales para la progresiva 4+300.	166
Tabla 38. Tabla de caudales para la progresiva 4+800.	167
Tabla 39. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 13+445 del canal, elaborado con el programa HydroVision.	169
Tabla 40. Tabla de resultados, área, caudal y precipitación.	173
Tabla 41. Tabla de resultados, escorrentía y evapotranspiración.	173
Tabla 42. Tabla de resultados, caudal efluente periodo 1975-2018.	174
Tabla 43. Tabla resumen, resultados de SWATCheck.	175
Tabla 44. Tabla de resultados SWATCheck, flujo total y flujo subterráneo total.	175
Tabla 45. Tabla de resultados de SWATCheck.	176
Tabla 46. Demanda de agua en el sistema Chili Regulado, año 2014.	177
Tabla 47. Demanda hídrica correspondiente al año 2014.	177
Tabla 48. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2014.	178
Tabla 49. Tabla de oferta y demanda mensual, año 2014.	178
Tabla 50. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2014.	180
Tabla 51. Volúmenes de la represa El Pañe mensuales en 2014.	180
Tabla 52. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2015.	181
Tabla 53. Demanda hídrica correspondiente al año 2015.	181

Tabla 54. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2015.	182
Tabla 55. Tabla de oferta y demanda mensual, año 2015.....	182
Tabla 56. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2015.	184
Tabla 57. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2015.	184
Tabla 58. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2016.	185
Tabla 59. Demanda hídrica correspondiente al año 2016.....	185
Tabla 60. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2016.	186
Tabla 61. Tabla de oferta y demanda mensual en 2016.....	186
Tabla 62. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2016.	187
Tabla 63. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2016.	188
Tabla 64. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2017.	189
Tabla 65. Demanda hídrica correspondiente al año 2017.....	189
Tabla 66. Oferta de agua en el sistema Chili regulado, año 2017.	190
Tabla 67. Tabla de oferta y demanda mensual en 2017.....	190
Tabla 68. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2017.	191
Tabla 69. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2017.	192
Tabla 70. Demanda de agua en al sistema Chili regulado, año 2018.	193
Tabla 71. Demanda hídrica correspondiente al año 2018.....	193
Tabla 72. Oferta de agua en el sistema Chili regulado, año 2018.	194
Tabla 73. Tabla de oferta y demanda mensual en 2018.....	194
Tabla 74. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado, año 2018.	196
Tabla 75. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2018.	196

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesos del ciclo hidrológico.....	11
Figura 2. Diagrama del agua en el terreno	15
Figura 3. Cuenca hidrológica e hidrográfica.....	18
Figura 4. Cuenca, subcuenca y microcuenca.	19
Figura 5. Esquema del proceso de modelización del modelo matemático determinístico.	23
Figura 6. Aforos Indirectos. Escalas limnimétricas escalonadas.	30
Figura 7. Aforos Indirectos. Limnígrafo y dos posibles accesos al centro del cauce, aéreo o subterráneo.	31
Figura 8. Aforos Indirectos. Curva de gastos (relación altura – caudal).	31
Figura 9. Esquema para la delimitación de la cuenca usando el programa ArcGis Pro.	33
Figura 10. Mapa de la Subcuenca de la represa El Pañe.	34
Figura 11. Presencia de bofedales en la parte alta de la represa el Pañe.	34
Figura 12. Visita a la laguna el Pañe.....	35
Figura 13. Mapa de Ubicación Represa El Pañe.....	36
Figura 14. Mapa de Ubicación de la Sub cuenca de la Represa El Pañe.	36
Figura 15. Mapa de Ubicación hidrográfica de la subcuenca de la represa el Pañe.	37
Figura 16. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	40
Figura 17. Represa El Pañe.....	43
Figura 18. Enrocado de protección Represa El Pañe.....	44
Figura 19. Corona de la represa El Pañe.....	45
Figura 20. Puente de maniobras que opera la Compuerta de Fondo N°1 de la Represa El Pañe.	46
Figura 21. Instrumentación para el izaje de las Compuertas de descarga de Fondo de la Represa El Pañe.	46
Figura 22. Tanque de Disipación y Compuerta de Regulación N° 2 de la Represa El Pañe. ..	47
Figura 23. Compuerta de Amortiguamiento N° 3 de la Represa El Pañe.	48
Figura 24. Aliviadero (Detalle de la mira limnimétrica) de la Represa El Pañe.	49
Figura 25. Mapa Base de la subcuenca de la represa el Pañe.	50
Figura 26. Esquema de flujos y almacenamientos del modelo de Témez.	55
Figura 27. Esquema simplificado del ciclo hidrológico del modelo de Témez.....	56

Figura 28. Transformación de la precipitación en excedente.	58
Figura 29. Producción de escorrentía subterránea.	60
Figura 30. Representación esquemática del ciclo hidrológico en SWAT.	78
Figura 31. Representación movimientos del agua en SWAT.	80
Figura 32. Esquema de ruta disponible para el movimiento de agua en SWAT.	87
Figura 33. Estación meteorológica el Pañe. Instrumentos: Pluviómetro, evaporímetro y caseta.	93
Figura 34. Análisis de doble masa temperatura media. Periodo de análisis 1975 - 2018.	94
Figura 35. Variabilidad de la Temperatura media mensual promedio multianual, periodo 1975 - 2018. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.	94
Figura 36. Análisis de doble masa temperatura máxima. Periodo de análisis 1995 - 2018.	95
Figura 37. Variabilidad de la Temperatura máxima mensual promedio multianual, periodo 1995 - 2018. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.	96
Figura 38. Análisis de doble masa temperatura mínima. Periodo de análisis 1995 - 2018.	97
Figura 39. Variabilidad de la Temperatura mínima mensual promedio multianual, periodo 1995 - 2018. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.	97
Figura 40. Evaporación mensual estación el Pañe, periodo de análisis 1975 - 2018.	98
Figura 41. Estaciones pluviométricas.	99
Figura 42. Esquema de las áreas de influencia de cada estación para la subcuenca de la represa el Pañe. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018.	100
Figura 43. Análisis de doble masa precipitación. Periodo de análisis 1975 - 2018. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.	101
Figura 44. Precipitación promedio mensual consistenciada y completada, periodo 1975 - 2018.	102
Figura 45. Variabilidad de la precipitación mensual promedio multianual, periodo 1975 - 2018.	102
Figura 46. Polígonos de Thiessen para cada estación pluviométrica.	103
Figura 47. Variabilidad de la precipitación mensual promedio multianual en la subcuenca de la represa el Pañe.	104
Figura 48. Hidrograma de caudal de salida mensual consistenciado y completado, estación represa salida el Pañe, periodo 1975 - 2018.	107
Figura 49. Variabilidad del caudal de salida promedio mensual multianual.	108
Figura 50. Hidrograma de caudal naturalizado mensual, periodo 1975 - 2018.	112
Figura 51. Variabilidad del caudal natural promedio multianual 1975 - 2018.	112

Figura 52. Hidrograma de caudales naturalizados históricos vs caudales de descarga históricos. Periodo 1975 - 2018.	113
Figura 53. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Témez mensual multianual – Periodo de calibración (1975 – 2003).....	116
Figura 54. Caudal natural mensual vs Caudal generado Témez mensual – Periodo de calibración (1975 – 2003).....	117
Figura 55. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Témez mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).....	118
Figura 56. Caudal natural mensual vs Caudal generado Témez mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).....	119
Figura 57. Precipitaciones efectivas multianuales para el periodo de calibración por Lutz Scholz. Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.	122
Figura 58. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Lutz Scholz mensual multianual – Periodo de calibración (1975 – 2003).....	125
Figura 59. Caudal natural mensual vs Caudal generado Lutz Scholz mensual – Periodo de calibración (1975 – 2003).....	126
Figura 60. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Lutz Scholz mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).....	127
Figura 61. Caudal natural mensual vs Caudal generado Lutz Scholz mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).....	128
Figura 62. Captura de pantalla, barra de tareas de SWAT.....	129
Figura 63. Captura de pantalla, configuración de extensiones SWAT.....	130
Figura 64. Captura de pantalla, configuración de proyecto en SWAT.....	130
Figura 65. Captura de pantalla, DEM (Digital Elevation Model) cargado en SWAT.....	131
Figura 66. Captura de pantalla, configuración de propiedades del DEM en SWAT.....	132
Figura 67. Captura de pantalla, captura de la ventana de delimitación de la cuenca en SWAT.	132
Figura 68. Captura de pantalla, red de drenaje y puntos de unión entre flujos creados por SWAT en el DEM.....	133
Figura 69. Captura de pantalla, reservorios dibujados por SWAT en el DEM. Se encuentra señalado el reservorio de la represa El Pañe.	134
Figura 70. Captura de pantalla, puntos de entrada agregados en el embalse en SWAT.....	135
Figura 71. Captura de pantalla, punto de salida de la cuenca agregado, señalado en SWAT.	135

Figura 72. Captura de pantalla, cuenca y sub-cuencas, delimitadas por SWAT.	136
Figura 73. Captura de pantalla, ventana de delimitación de la cuenca, señalado el conteo de sub-cuencas en SWAT.	136
Figura 74. Captura de pantalla, cuenca delimitada y parámetros calculados en SWAT.	137
Figura 75. Captura de pantalla, punto de salida de la cuenca definido y señalado en SWAT.	137
Figura 76. Captura de pantalla, ventana de configuración del uso de suelo en SWAT.	138
Figura 77. Captura de pantalla, datos de uso de suelo plasmados en la cuenca en SWAT. ..	139
Figura 78. Captura de pantalla, ventana de configuración del tipo de suelo en SWAT.	139
Figura 79. Captura de pantalla, datos de tipo de suelo plasmados en la cuenca en SWAT...	140
Figura 80. Captura de pantalla, ventana de configuración de pendientes en SWAT.	140
Figura 81. Captura de pantalla, caracterización de pendientes plasmada en la cuenca en SWAT.	141
Figura 82. Captura de pantalla, datos de uso de suelo, tipo de suelo y pendientes superpuestos en la cuenca en SWAT.	141
Figura 83. Captura de pantalla, ventana de definición de HRUs en SWAT.	142
Figura 84. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos. Pestaña de generación de clima de SWAT.	143
Figura 85. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos, pestaña de datos de precipitaciones de SWAT.	143
Figura 86. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos, pestaña de datos de temperatura de SWAT.	144
Figura 87. Captura de pantalla, ventana de escritura de tablas de entrada en SWAT.	144
Figura 88. Captura de pantalla, ventana de selección de sub-cuenca perteneciente al reservorio en SWAT.	145
Figura 89. Captura de pantalla, archivo SWAT2012.mbd en Microsoft Access.	145
Figura 90. Captura de pantalla, ventana de edición de parámetros de reservorio en SWAT.	146
Figura 91. Captura de pantalla, ventana de re-escritura de datos de entrada en SWAT.	146
Figura 92. Captura de pantalla, ventana de configuración y ejecución de la simulación del modelo en SWAT.	147
Figura 93. Captura de pantalla, notificación de simulación exitosa en SWAT.	147
Figura 94. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado SWAT mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).	148

Figura 95. Caudal natural mensual vs Caudal generado SWAT mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).....	149
Figura 96. Hidrograma modelos de Témez, Lutz Scholz, SWAT y caudales naturalizados.	151
Figura 97. Esquema del canal Pañe-Sumbay.	157
Figura 98. Compuerta de amortiguamiento N°3 parcialmente abierta.	158
Figura 99. Principio de medición de AquaProfiler M-Pro.....	159
Figura 100. Componentes del sensor.	160
Figura 101. Medición del canal, tramo Pañe-Bamputañe.....	161
Figura 102. Componentes del sistema AquaProfiler para la medición de caudales.	161
Figura 103. Punto de aforo progresiva 0+262.4.	162
Figura 104. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 0+262.4 del canal, elaborado con el programa HydroVision.....	163
Figura 105. Punto de aforo progresiva 0+616.9.	164
Figura 106. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 0+616.9 del canal, elaborado con el programa HydroVision.....	164
Figura 107. Sección transversal del canal.....	165
Figura 108. Inicio del tramo del canal techado.....	166
Figura 109. Progresiva 4+300.....	167
Figura 110. Aforo de la progresiva 13+445, cerca de la Bocatoma Bamputañe.	168
Figura 111. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 13+445 del canal, elaborado con el programa HydroVision.....	168
Figura 112. Vista en planta de la ubicación del tramo aforado.	169
Figura 113. Detalle del deterioro del canal.....	171
Figura 114. Captura de pantalla, herramienta SWATCheck, pestaña de hidrología.	175
Figura 115. Balance hídrico del sistema Chili regulado - 2014.....	179
Figura 116. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2014.	180
Figura 117. Balance hídrico sistema Chili regulado - 2015.....	183
Figura 118. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2015.	184
Figura 119. Balance hídrico del sistema Chili regulado - 2016.....	187
Figura 120. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2016.	188
Figura 121. Balance hídrico del sistema Chili Regulado - 2017.	191
Figura 122. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado, año 2017.....	192
Figura 123. Balance hídrico, sistema Chili regulado, año 2018.	195
Figura 124. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2018.	196



CAPÍTULO. I. PLANTEAMIENTO TEÓRICO - OPERACIONAL

1.1 Título de la Investigación

Análisis de los recursos hídricos de la Subcuenca de la Represa El Pañe y evaluación del canal Pañe – Sumbay.

1.2 Problema de investigación

1.2.1. Enunciado del problema.

La falta de equipos apropiados y la escasez de puntos de monitoreo para la medición de caudales provoca una toma de datos imprecisos los cuales, a su vez generan errores en el cálculo de la disponibilidad hídrica de la subcuenca ocasionando una distribución errónea en el uso del recurso hídrico por los diferentes sectores.

Así mismo la eficiencia de conducción en el canal Pañe – Sumbay no es óptima ya que presenta filtraciones a lo largo de su recorrido.

1.2.2. Descripción del problema.

En la mayoría de los proyectos de riego la disponibilidad hídrica de una cuenca es determinante en el diseño, pero generalmente la información hidrométrica es escasa en las cuencas hidrográficas de la región Arequipa, muchas de las sub cuencas no tienen estaciones hidrométricas para la medición de caudal.

La necesidad de contar con información hidrológica en los puntos específicos de la cuenca, y que en la realidad en dichos puntos no existe información de caudales.

El hecho de contar con escasas estaciones de aforo dentro de una cuenca, nos sitúa en el punto de incertidumbre por contar solamente con información localizada y a veces discontinuas mediciones de caudal, no existiendo la real posibilidad de contrastar y validar la información disponible.

La información histórica disponible de caudales medios mensuales en las estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en el periodo de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos se tiene conocimiento que se han realizado por estimaciones subjetivas de datos de caudal.

Los canales de trasvase se revisten para reducir las pérdidas de agua que conducen desde la captación hasta su destino; si carece de revestimiento las pérdidas son superiores al 50%; si el revestimiento está deteriorado también se presentan pérdidas que dependen del grado de deterioro. A mediados de los 70 el canal Pañe - Sumbay presentó pérdidas por filtraciones que llegaron hasta un 45% y 50%. Desde 1987 el Canal Pañe - Sumbay fue reparado y rehabilitado y por consiguiente las pérdidas por filtraciones comenzaron a disminuir gradualmente. A partir de 1995 se intensificaron estas labores para disminuir significativamente las pérdidas hasta el 10% - 20%.

1.3. Justificación de la Investigación

En las cuencas altas de la sierra peruana no existen muchas estaciones hidrométricas, la red de estaciones meteorológicas es deficiente y su distribución y lejanía dificulta los trabajos de observación, monitoreo y toma de datos, asimismo, la información hidrogeológica y de usos de suelo no es representativa y se manifiesta como una limitación para todo tipo de estudios hidrológicos.

Sin embargo, existen modelos que simplifican los procesos del ciclo hidrológico y que requieren pocos parámetros de entrada como el modelo de Témez de 4 parámetros, Lutz Scholz y SWAT. Aplicamos estos modelos porque han sido considerados en varias investigaciones en España dando buenos resultados y en los últimos años su uso se ha extendido a Chile y otros países sudamericanos y puede ser comparado con otros métodos usados en nuestro medio. Además que el modelo de Témez demuestra un acercamiento aceptable con respecto a caudales reales; cuando existe la accesibilidad de datos necesarios (Juela, 2011) y el modelo de Lutz Scholz fue desarrollada específicamente para cuencas alto – andinas.

La generación de caudales medios mensuales aplicando estos modelos se realizará para conocer las magnitudes medias de las descargas en un determinado punto del cauce; siendo un problema hidrológico la escasez de datos de medición de caudales que son necesarios para proyectos de abastecimiento, es por lo que se considera necesario calibrar varios modelos de precipitación esorrentía para escoger cuál de estos modelos describe mejor el comportamiento de la sub cuenca estudiada que servirá para generar información base.

Cada modelo calibrado servirá para pronosticar caudales frente a cambios físicos en la cuenca como el uso de suelo y cambios meteorológicos en el régimen de precipitación debido principalmente a cambios climáticos.

Es necesario conocer la eficiencia de conducción actual del canal Pañe - Sumbay para saber la cantidad de agua que transporta lo cual permitirá una mejor gestión del recurso hídrico.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Determinar cuál de los tres modelos: Témez, Lutz Scholz y SWAT es el que mejor representa el comportamiento de lluvia – escorrentía en la subcuenca de la represa el Pañe.

También determinar la eficiencia de conducción del primer tramo del canal Pañe – Sumbay.

1.4.2. Objetivos Secundarios.

- a) Simular caudales medios mensuales para comparar con los caudales medios mensuales aforados y generar caudales mensuales para periodos extendidos aplicando los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT para la sub cuenca de la Represa el Pañe.
- b) Realizar la calibración y validación de los parámetros del modelo de Témez, así mismo calibrar los modelos de Lutz Scholz y SWAT para la generación de caudales medios mensuales en la sub cuenca de la Represa el Pañe.
- c) Medir los caudales a lo largo de su recorrido del primer tramo del canal Pañe – Sumbay.
- d) Proponer alternativas para aumentar la eficiencia del canal Pañe – Sumbay.

1.5. Hipótesis

Dado que existe incertidumbre con la información hidrológica es factible la generación de caudales medios mensuales aplicando los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT y seleccionar el modelo que representa mejor el ciclo hidrológico de la subcuenca estudiada

para generar información base y así mismo se pueda satisfacer el nivel de confiabilidad de las estaciones de aforo de la sub cuenca El Pañe.

Dado que se conoce la baja eficiencia de conducción del canal de trasvase Pañe – Sumbay es factible determinar la causa de las filtraciones a lo largo de su recorrido para proponer alternativas de solución para aumentar su eficiencia.

1.5.1. Variable Dependiente.

- Caudal medio mensual

1.5.2. Variables Independientes.

- Datos de entrada
- Parámetros



OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Tipo de Variable	Unidad	Indicadores	Herramientas	Descripción Conceptual	Descripción Operacional
Caudal medio mensual	Dependiente	• m^3/s	• Caudal medio mensual	Herramienta para pronosticar la disponibilidad hídrica.	Según el Glosario Internacional de Hidrología-UNESCO/WMO es la media aritmética de todos los caudales medios mensuales para un mes dado, en el período considerado.	En el presente trabajo el caudal medio mensual será generado a partir de los parámetros y los datos de entrada.
Eficiencia de conducción	Dependiente	• %	• Eficiencia de conducción	Herramienta para determinar la pérdida de agua en un canal.	Es el caudal que llega al final del canal principal más la sumatoria de caudales de distribución, todo esto entre el caudal de agua que entra al canal principal. El resultado lo multiplicamos por cien.	En el presente trabajo la eficiencia nos indica la cantidad de recurso hídrico que se pierde y la cantidad neta que trasvasa al canal de Zamácola.
Datos de entrada	Independiente	• mm • mm • m^3/s	<i>Modelo de Témez</i> • Precipitación mensual • Evapotranspiración mensual • Caudales mensuales aforados <i>SWAT</i> • DEM • Raster Land cover	Implementación del proceso de calibración del Modelo de Témez, Lutz Scholz y SWAT	Los datos de entrada para el modelo de Témez son la precipitación y evapotranspiración mensuales que simulan todos los términos del ciclo hidrológico. SWAT usa modelos semi empíricos que requieren de datos	En el presente trabajo los datos de entrada de los modelos fueron obtenidos de AUTODEMA.

			• Raster soil • Precipitación diaria • Temperatura máxima y mínima diaria.		específicos acerca del clima, propiedades físicas del suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo, que ocurren en la cuenca.	
Parámetros	Independiente	• mm • adimensional • mm • 1/día • adimensional • km² • msnm	<i>Modelo de Témez</i> • H_{max}, capacidad máxima de almacenamiento del suelo • C, parámetro de excedente • I_{max}, capacidad máxima de infiltración • α, coeficiente de recesión del acuífero <i>Modelo de Lutz Scholz</i> • ai, porcentaje del abastecimiento • Área de la cuenca • Altura media de la cuenca	Implementación del proceso de validación de los modelo de Témez, Lutz Scholz y SWAT	El modelo de Témez está gobernado por 4 parámetros: Humedad máxima, Coeficiente reductor, Infiltración máxima y el parámetro de coeficiente de descarga del acuífero. Con estos parámetros se generarán nuevos caudales. En el modelo de Lutz Scholz los parámetros mencionados son importantes para la determinación de los caudales mensuales generados en la primera fase del modelo.	En el presente trabajo los parámetros del modelo de Témez fueron obtenidos a partir de los datos de entrada en la calibración del modelo. Los parámetros del modelo de Lutz Scholz fueron obtenidos a partir de la delimitación de la subcuenca y ubicación.
Caudales de entrada y salida del canal Pañe - Sumbay	Independiente	• m^3/s	• Caudales de entrada y salida	Herramienta para determinar la eficiencia del canal	Cantidad de fluido que circula a través del canal por unidad de tiempo.	Los caudales de entrada y salida serán obtenidos a partir del ANA y AUTODEMA.

1.6. Tipo de investigación

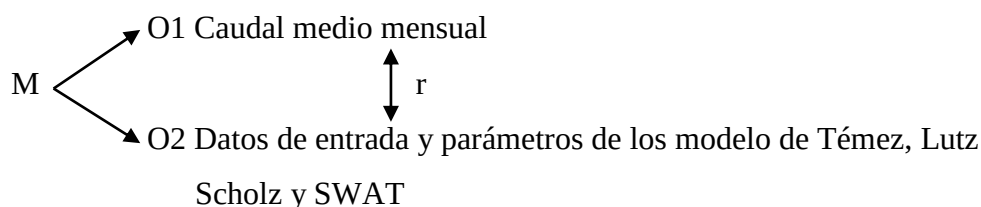
El tipo de investigación es de campo y documental, se utilizaron técnicas de recolección de datos e información de fuentes primarias para recabar información de series históricas de caudales medios mensuales, series históricas de precipitaciones mensuales, series de evapotranspiraciones, temperatura de la Represa el Pañe. Las fuentes de información secundaria usadas fueron a través de entrevistas, revisión de documentos oficiales referentes a estudios de la Cuenca Quilca-Chili, Cuenca Camaná-Majes-Colca y al Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la Represa El Pañe.

Según la naturaleza, la presente investigación será de tipo descriptiva, cuantitativa y cualitativa; cuantitativo ya que se obtendrá valores numéricos para la eficiencia de conducción; y cualitativa ya que se describe el estado del canal.

La investigación es aplicada, ya que la situación problemática existente requiere una mejora, comenzando con la descripción de la información deficiente, se propone los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT para la generación de caudales que servirán de información base.

Para aceptar o rechazar la hipótesis con toda la información obtenida, se aplica el diseño correlacional.

Diseño Correlacional: Describe relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. A veces, únicamente en términos correlacionales, otras en función de la relación Causa –Efecto. (causales) (Hernández, 2010)



1.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizará como instrumento de investigación base el análisis documental para obtener información sobre el estado de la sub cuenca de la Represa El Pañe, también para obtener información de series históricas de caudales mensuales, precipitaciones y evapotranspiraciones; para lo cual se trabajará con datos estadísticos. La entrevista será usada para obtener información más detallada de la cuenca. Se utilizará también la recolección de datos mediante salidas a campo para aforar caudales del canal Pañe – Bamputañe.

La aplicación de estos instrumentos permitirá recopilar información sobre el estado hídrico actual de la sub cuenca y del estado actual del canal Pañe - Sumbay para permitir la generación de caudales futuros para ésta y así mismo permitir conocer la eficiencia de conducción actual del canal.

1.8. Método

La metodología seguida en el desarrollo de la presente investigación fue:

- Delimitación de la subcuenca de la Represa el Pañe.
- Se realizó la recolección de datos; caudal histórico mensual, precipitaciones mensuales históricas y evapotranspiraciones; de la Represa el Pañe.
- Análisis de la consistencia de la información Hidrometereológica.
- Completación de la información Hidrometereológica.
- Alcances de los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT
- Calibración y optimización de los resultados de descarga de los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT
- Validación de los modelos.
- Selección del modelo que describe mejor el comportamiento de la sub cuenca.
- Evaluación de la generación de caudales mensuales extendidos.
- Obtención de los valores de caudales de entrada y salida del canal Pañe – Sumbay.
- Proponer alternativas para mejorar la eficiencia del canal.
- Se formuló conclusiones y recomendaciones.

1.9. Campo de Verificación

1.9.1. Ubicación espacial.

La investigación se fundamenta en la Subcuenca de la Represa el Pañe que abastece a la Cuenca Quilca - Chili que pertenece al ALA Chili la cual, a su vez pertenece al AAA I Caplina – Ocoña.

1.9.2. Ubicación temporal.

La investigación considerará los datos existentes de la Represa el Pañe en el periodo de 1975 – 2018 y del canal Pañe – Sumbay datos actuales, ya que se aforará caudales.

1.9.3. Unidades de estudio.

La unidad de estudio de la investigación es el “Análisis de los recursos hídricos de la subcuenca de la Represa el Pañe y evaluación del canal Pañe - Sumbay”, el mismo que fue abordado brevemente en estudios e informes a cargo del ANA y AUTODEMA.

CAPÍTULO. II. MARCO TEÓRICO

Como marco teórico del trabajo de investigación, se presentan los antecedentes de la investigación, además de los fundamentos conceptuales referidos a los modelos hidrológicos y eficiencia en canales.

2.2. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El cambio en los caudales de una represa depende de muchos factores, por lo cual se monitorean constantemente y se realizan estudios sobre las mismas. En estudios anteriores a la subcuenca de la represa el Pañe tenemos el plan de adecuación y manejo ambiental (PAMA) sobre la represa el Pañe. Dentro del campo hidrológico, consiste en describir las condiciones hidrológicas de un segmento de la subcuenca del Negrillo, denominada Microcuenca El Pañe, como aportante de agua del reservorio El Pañe.

El estudio tiene como objetivos evaluar y caracterizar las condiciones actuales en que se encuentra el componente agua y en general la hidrología en el área de influencia del reservorio El Pañe. También identificar en campo y participar en la evaluación de los impactos y pasivos ambientales sobre el comportamiento hidrológico de la cuenca, generados en las fases de construcción y operación del reservorio.

El PAMA recopiló información antecedente como las Tablas cota – Volumen y descargas por el aliviadero del embalse El Pañe (Ministerio de la Presidencia, INADE, Autoridad Autónoma de Majes, Proyecto Especial Majes, 1996), información hidrometeorológica y volúmenes embalsados (Gobierno Regional de Arequipa, Autoridad Autónoma de Majes, Proyecto Especial Majes, 2002), Estudio Integral de la Microcuenca Negrillo (Gobierno Regional de Arequipa, Autoridad Autónoma de Majes, Proyecto Especial Majes, 2008) y el Estudio de Simulación Sistema CHILI (Gobierno Regional de Arequipa, Autoridad Autónoma de Majes, Proyecto Especial Majes, 2009).

2.3. BASES TEÓRICAS DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1. El ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico se considera el concepto fundamental de la hidrología, no tiene principio ni fin.

El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre se evapora por el efecto de la radiación solar y el viento; se forma entonces el vapor de agua que se eleva y es transportada por la atmosfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae en forma de precipitación. Durante la precipitación, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por vegetación o construcciones y luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra.

El agua interceptada, una parte de la infiltrada y el agua que corre por la superficie se evapora nuevamente. Así mismo el agua precipitada que llega a las corrientes una parte se infiltra y el resto llega a grandes cuerpos de agua como océanos, lagos, presas. Del agua infiltrada una parte es absorbida por la vegetación y posteriormente transpirada casi en su totalidad a la atmosfera y otra fluye bajo el subsuelo hacia corrientes u otros cuerpos de agua o a zonas más profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar. (Aparicio, Fundamentos de Hidrología de superficie, 1989)

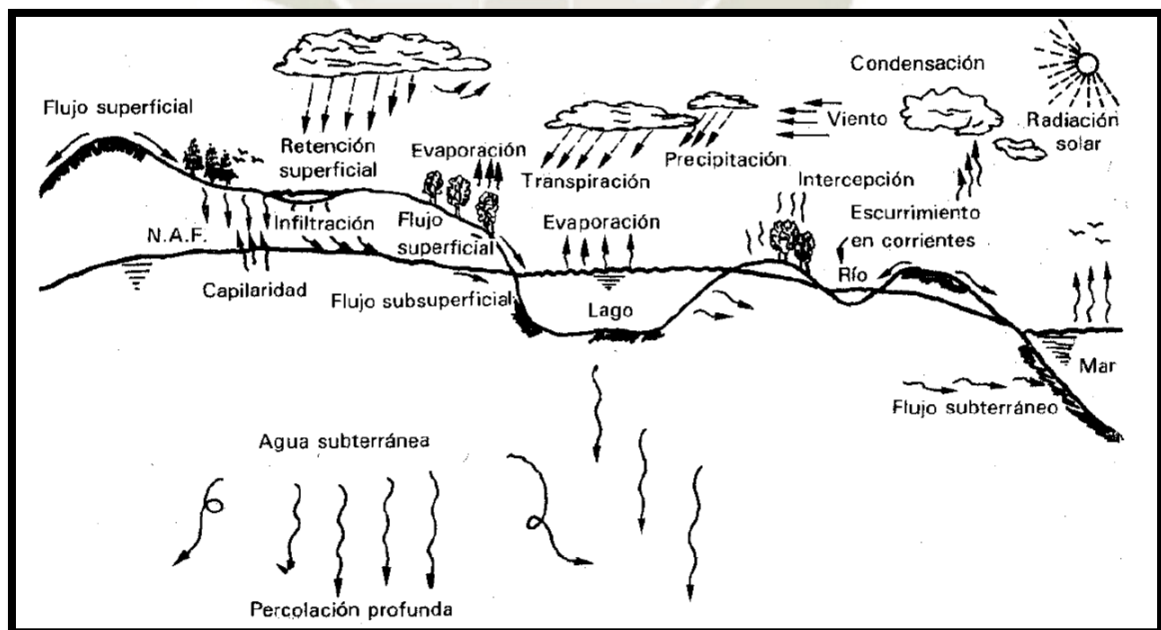


Figura 1. Procesos del ciclo hidrológico.

Fuente: "Fundamentos de Hidrología de Superficie", Aparicio, 1992

Si bien es cierto que los fenómenos hidrológicos son extremadamente complejos y es probable que nunca se entienda en su totalidad, la hidrología puede representarlo en forma simplificada por medio de sistemas. Por lo tanto trataremos el ciclo hidrológico como un sistema cuyos componentes serán la precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico. Estos componentes pueden agruparse en 3 subsistemas, el sistema de agua atmosférica, el sistema de agua superficial y el sistema de agua sub superficial.

2.3.1.1. Sistema de agua atmosférica.

Contiene los procesos de precipitación, evaporación, intersección y transpiración; siendo los más relevantes la precipitación y evaporación ya que la mayor parte del agua que se precipita proviene de la humedad evaporada de los océanos que es transportada por la circulación atmosférica, producida por la rotación y la transferencia de energía de calor entre el ecuador y los polos.

2.3.1.2. Sistema de agua superficial.

Contienen los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua sub superficial y subterránea, escorrentía hacia ríos y océanos. (Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, 1994). Es la proveniente de las precipitaciones, que no se infiltra ni regresa a la atmósfera por evaporación o la que proviene de manantiales o nacimientos que se originan de las aguas subterráneas.

2.3.1.3. Sistema de agua sub superficial.

Contiene los procesos de infiltración, recarga de acuífero, flujo sub superficial y flujo de agua subterránea. El flujo sub superficial ocurre en la capa de suelo cercana a la superficie mientras que el flujo de agua subterránea ocurre en estratos profundos de suelo o roca. (Ven Te Chow, Hidrología Aplicada, 1994, p. 6).

2.3.2. Elementos del ciclo hidrológico.

2.3.2.1. La Precipitación.

La precipitación es el resultado de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra y constituye el componente principal del ciclo hidrológico responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en tierra.

La medida de la precipitación se realiza con los pluviómetros o aparatos que miden la precipitación que se produce en un intervalo de tiempo determinado.

Según la AEMET (Agencia estatal de Meteorología) es un hidrometeoro compuesto de un agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen desde una nube o un grupo de nubes y alcanzan el suelo. Hay diferentes tipos de precipitación (AEMET, 2015):

- Llovizna: Precipitación cuasi uniforme compuesta exclusivamente de pequeñas gotas de agua (diámetro menor de 0,5 mm) muy numerosas, que pueden reducir la visibilidad en mayor medida que la lluvia ligera.
- Lluvia: Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro mayor de 0,5 mm o más pequeñas si caen de forma dispersa.
- Lluvia engelante: Lluvia formada por gotas de agua subfundida que se congela al impactar sobre un objeto.
- Chubasco o aguacero: Precipitación, frecuentemente fuerte y de corta vida, que cae desde nubes convectivas; las gotas o partículas sólidas en los chubascos son usualmente mayores que los elementos correspondientes en otros tipos de precipitación. Se caracterizan por su comienzo y final repentino, grande y rápidos cambios de intensidad.
- Nieve: Precipitación de cristales de hielo aislados o aglomerados. La cota de nieve es aquella a partir de la cual la precipitación cae en forma de nieve, independientemente de si cuaja o no a ese nivel.
- Granizo: Precipitación de pequeños glóbulos o trozos de hielo (pedrisco) con diámetros de entre 5 mm y 50 mm o algunas veces más, y que caen separados o agrupados irregularmente.

Hay diferentes formas de precipitación:

- *Precipitación estratiforme o dinámica.*

Ocurre como consecuencia del ascenso lento del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos y antes de los frentes cálidos

- *Precipitación convectiva.*

La precipitación convectiva cae en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada con intensidades variables. A latitudes medias, la precipitación convectiva tiene relación con los frentes fríos, las líneas de chubascos y los frentes cálidos con humedad disponible

- *Precipitación orográfica.*

Se produce cuando el vapor de agua es empujado horizontalmente por los vientos hacia las montañas, que funcionan como un obstáculo que impiden que el vapor de agua siga siendo empujado por los vientos, luego el vapor asciende por las laderas de la montaña y asciende a grandes alturas, hasta encontrar condiciones que hacen que el vapor de condense y precipite. Para el contexto andino que es el que estamos analizando, es esta la forma de precipitación más importante.

2.3.2.2. La Infiltración.

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el terreno (Pérez, G. Recuperado desde https://www.ciclohidrologico.com/infiltracin_del_agua). El agua de precipitación que no se convierte en escorrentía superficial se infiltra. La infiltración se rige por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Parte del agua que se infiltra vuelve a salir por evaporación, evapotranspiración o fluye lateralmente a modo de flujo hipodérmico en los niveles más superficiales del terreno.

Una vez superada la capacidad de campo del suelo (contenido de agua o humedad que es capaz de retener el suelo en situación de máxima saturación) el agua percola por gravedad hacia el nivel freático. Este volumen de agua constituye el agua de recarga o infiltración neta.

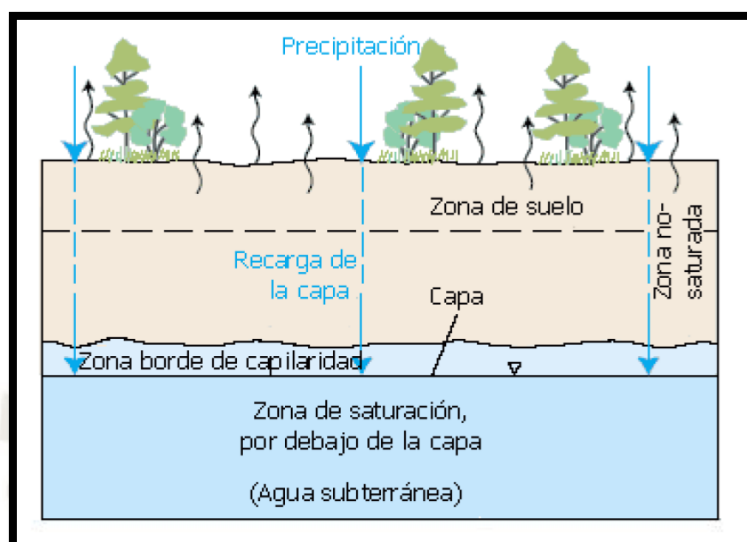


Figura 2. Diagrama del agua en el terreno

Fuente: Obtenido de <https://acuifers-20112.wikispaces.com/Infiltraci%C3%B3n>

El nivel máximo con el que un suelo es capaz de absorber el agua se llama capacidad de infiltración. Si la intensidad de precipitación excede la capacidad de infiltración, se produce la escorrentía o flujo terrestre hortoniano. La capacidad de infiltración disminuye rápidamente en la fase inicial de una tormenta y se hace constante después de un par de horas (Horton, 1933).

Los factores que condicionan la capacidad de infiltración son: valor, naturaleza e intensidad de la precipitación; espesor, textura, estructura, contenido de agua y temperatura del suelo; aire o hielo presente en el suelo; tipos de vegetación, y topografía. La capacidad de infiltración se mide en mm por unidad de tiempo (mm/hora). Hay varios métodos para medir la infiltración: Directos (tensiómetros, infiltrómetros, lisímetros), el análisis hidrográfico de un hietograma y las estimaciones y modelos matemáticos que utilizan parámetros ambientales.

2.3.2.3. La evaporación y la evapotranspiración.

La evaporación es el fenómeno físico por el que el agua pasa de estado líquido a vapor bien desde el suelo y vegetación después de la precipitación, desde las masas de aguas superficiales (ríos, lagos, mares) o del agua infiltrada de la parte más superficial del suelo. La transpiración es el fenómeno biológico por el que las plantas transfieren agua a la atmósfera en su ciclo vital. Como en hidrología es muy difícil medir ambos procesos por separado, se habla de evapotranspiración (ET) como la suma del proceso de evaporación junto al de la transpiración. La ET se expresa en mm para un determinado tiempo.

En un balance hidrológico:

$$\text{Precipitación} - \text{Evapotranspiración} = \text{Volumen de agua disponible}$$

Los factores que condicionan la ET son:

- Poder evaporante de la atmósfera (radiación solar, temperatura, humedad, presión atmosférica, viento).
- Tipo (textura, estructura...) y humedad del suelo.
- Salinidad del agua.
- Tipo de planta.

Se habla de Evapotranspiración Potencial (ETP) como el volumen de agua que pasaría a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y transpiración de las plantas si hubiese cantidad de agua necesaria en condiciones óptimas.

La Evapotranspiración Real es el volumen de agua que pasa a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y transpiración de las plantas en función del agua disponible y siempre es menor igual a la ETP.

La evapotranspiración se calcula mediante medidas directas (tanque de evaporación, evaporímetros de papel poroso, lisímetros), balances de agua en el suelo y métodos empíricos, siendo éstos últimos los más utilizados. Existen números métodos empíricos para calcular la evapotranspiración de referencia y la evapotranspiración del cultivo a partir de datos meteorológicos y coeficientes del cultivo.

2.3.2.4. La escorrentía.

La escorrentía superficial es el agua de precipitación que no es evaporada o filtrada y escurre superficialmente. Hablamos de escorrentía directa a la que llega a los cauces en un periodo de tiempo corto después de una precipitación, mientras que la escorrentía básica es la que alimenta los ríos en los periodos de estiaje que engloba una escorrentía subterránea y/u otra escorrentía diferida (nieve, embalses, lagos, etc.).

Para calcular la escorrentía superficial se miden los caudales de los ríos mediante aforos

2.3.3. Factores que afectan la escorrentía en una cuenca.

Cada cuenca tiene condiciones específicas de geografía, geología y clima que condiciona su comportamiento. Por lo tanto para entender el ciclo hidrológico debemos entender la respuesta de la cuenca de forma continua en el tiempo y espacio.

Los factores más relevantes son los siguientes (OPS, Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad. Recuperado de <http://www.nzdl.org/gsdllmod?e=d-00000-00---off-0paho--00-0---0-10-0---0---0direct-10---4-----0-1l--11-en-50---20-about---00-0-1-00-0--4---0-0-11-10-0utfZz-8-00&cl=CL1.1&d=HASH019be954bbcf27a6c38831f0.6.4.2&gt=1>).

- Factores climáticos

- *Precipitación:* Juega un papel importante como dato de entrada para los modelos, los cuales permiten calcular la producción de escorrentía superficial. La forma (lluvia, granizo, nieve, etc.), intensidad, duración, distribución en el tiempo, distribución en el área, precipitaciones anteriores, humedad del suelo tienen influencias identificables en la escorrentía.
- *Intercepción:* tipo de vegetación, composición, edad y densidad de los estratos, estación del año y magnitud de la tormenta.
- *Evaporación:* temperatura, viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie de evaporación.
- *Transpiración:* temperatura, radiación solar, viento, humedad y clase de vegetación.

- Factores fisiográficos

- *Características de la cuenca:* geométricas, tamaño, forma, pendiente, orientación y dirección.
- *Físicas:* uso y cobertura de la tierra, condiciones de infiltración, tipo del suelo, condiciones geológicas como permeabilidad y capacidad de formaciones de aguas subterráneas, condiciones topográficas como presencia de lagos, pantanos y drenajes artificiales.
- *Características del canal y capacidad de transporte:* tamaño, forma, pendiente, rugosidad, longitud y tributarios.
- *Capacidad de almacenamiento:* curvas de remanso.

2.3.4. Cuenca Hidrológica e Hidrográfica.

Así como el ciclo hidrológico es el concepto fundamental de la hidrología, la cuenca hidrológica es su unidad básica de estudio y se define como el área de terreno donde todas las gotas precipitadas, se unen para formar una sola corriente de agua (Aparicio 1992, p. 19).

Una cuenca es el área de aguas superficiales que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar (Franquet Bernis, J.M. (2005) Agua que no has de beber 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional. Recuperado desde: www.eumed.net/libros/2005/jmfb-h/). Una cuenca hidrográfica y una cuenca hidrológica se diferencian en que la primera se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, mientras que la cuenca hidrológica incluye las aguas subterráneas (acuíferos). Los límites de la cuenca o divisoria de aguas se definen naturalmente y en forma práctica corresponden a las partes más altas del terreno que encierra un río.

Carabias y Landa (2005) nos aclaran que:

- Cuenca Hidrográfica: Es la unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve
- Cuenca Hidrológica: Se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica.

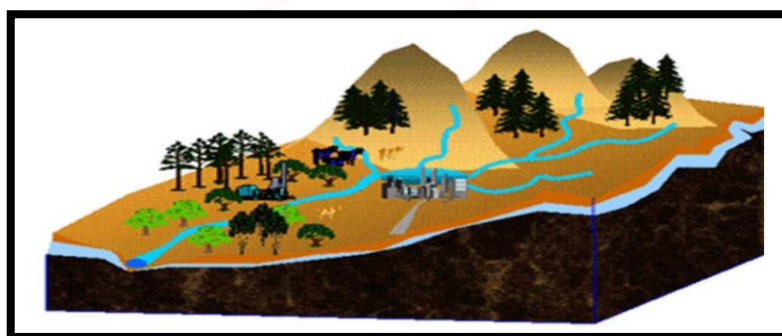


Figura 3. Cuenca hidrológica e hidrográfica.

Fuente: Ordoñez, 2011

Dentro de una cuenca se pueden distinguir: la parte alta, la parte media y la parte baja. En las partes altas, la topografía normalmente tiene mayor pendiente y generalmente están cubiertas de vegetación natural. Tanto en la parte alta como en la parte media se encuentran la gran mayoría de las nacientes y de los ríos; las partes bajas, a menudo tienen más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos, porque ahí se encuentran las áreas más planas. Se presenta la cuenca como un verdadero sistema, ya que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan. Los más importantes son: el agua, la vegetación bosque, el suelo y la geología. La cuenca tiene gran importancia por la relación directa que existe entre la cuenca alta y la cuenca baja, de forma que las acciones que el hombre realiza en la parte alta afectan de manera determinante en la parte baja. Por esta razón, la cuenca como sistema natural reúne todas las condiciones para utilizarla como unidad planificadora en el establecimiento de programas integrados que permitan la solución de problemas de mucha complejidad (Franquet, 2005).

Existe una tipología de cuencas según el área que ocupan. Hablamos de Cuenca cuando el área hidrográfica de su canal principal desemboca directamente a una gran cuenca. Sin embargo, se excluyen de esta categoría las corrientes que no reúnen las condiciones de área, orden y magnitud respectivas y se compone a su vez de subcuencas. Las subcuencas se conforman de una red hidrográfica cuyo canal principal desemboca directamente a una cuenca o la que desembocando en una gran cuenca, pero debido a su extensión no se clasifica en la categoría de cuenca. Por último, las microcuencas son la unidad menor que se identifican según el número y magnitud de sus afluentes (llamado orden).

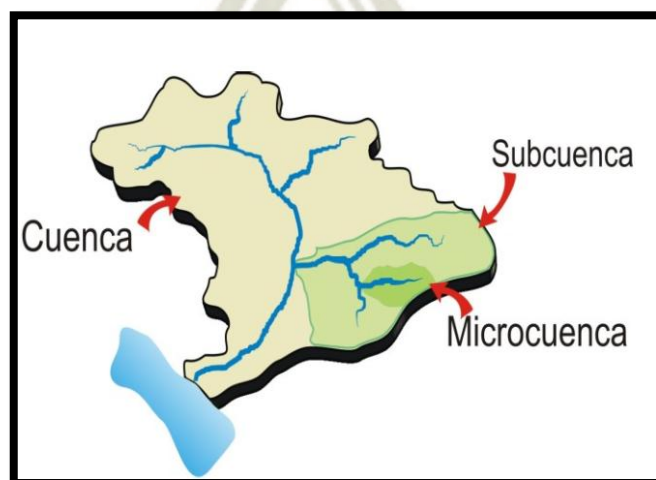


Figura 4. Cuenca, subcuenca y microcuenca.
Fuente: Adaptado por Casaverde, 2011

2.3.5. Modelos Hidrológicos.

Los modelos hidrológicos de simulación son un instrumento de predicción basado en procesos de hidrología y erosión que permiten la gestión del agua y el suelo. Estos modelos son herramientas valiosas para evaluar el efecto de prácticas de manejo sobre ambiente, escurrimiento, producción de sedimentos, erosión y productividad. La importancia de los modelos radica, entre otros aspectos, en la predicción de fenómenos a largo plazo instantáneamente, así mismo permiten obtener relaciones de causa-efecto, sin alterar los sistemas reales. (Benavides-Solorio, 2001).

La elección del modelo hidrológico a utilizar en un determinado caso es un paso fundamental para conseguir una simulación que ofrezca resultados adecuados a los objetivos del estudio.

Factores a tener en cuenta en la elección del modelo son:

- La complejidad de uso. Cuanto más intuitivo sea el funcionamiento del programa más fácil será su uso, por ello es recomendable utilizar un programa con una buena interfaz gráfica.
- El requerimiento de datos de entrada. Cuantos más datos se requieran, más tiempo llevará el estudio de las características del medio y la calibración del programa, pero más exactos serán los resultados obtenidos.
- Tiempo medio requerido para la calibración y puesta en marcha. Esto está relacionado con los datos de entrada necesarios, como se ha indicado anteriormente.
- Y tiempo medio que toma el programa para la emisión de resultados. Hay programas que necesitan más tiempo que otros, dependiendo de sus características para la resolución del modelo, los algoritmos de los que dispone para esto y los datos que debe procesar (lo que está de nuevo relacionado con la entrada de datos).

2.3.6. Tipo y clasificación de los modelos hidrológicos.

La oferta de modelos de simulación que se pueden encontrar en el mercado actual es numerosa y variada en cuanto a su tipología, que se basa en éstos factores fundamentales:

- Si son la representación física del modelo o abstracciones matemáticas del mismo.
- Complejidad y número de los datos de entrada.

- Tiempo de calibración y resolución del modelo
- Exactitud de los resultados.

En base a esto hay tres tipos de modelos hidrológicos: analógicos, analíticos y matemáticos.

2.3.6.1. Modelos analógicos.

Los analógicos o materiales son modelos en los que se hace una representación física muy simplificada del sistema y sus propiedades. Representan las condiciones de una manera muy sencilla y poco exacta. Son útiles en los casos en los que se quiera conocer el funcionamiento del sistema a grandes rasgos.

2.3.6.2. Modelos analíticos.

También conocidos como modelos de cribado o modelos screen. Se basan en hipótesis muy simplificadas, en la mayoría de ocasiones, por lo que son más sencillos y la calibración y resolución del modelo es más rápida, pero en favor de esto se sacrifica la exactitud de los resultados.

Requieren un menor número de datos de entrada que los modelos matemáticos y muchos de ellos contienen bases de datos de los que se pueden extraer. Permiten simulaciones de una (1D) o dos dimensiones (2D).

Son útiles para una primera aproximación al problema enfocada a la toma de decisiones. Este tipo de modelos no se suelen aconsejar para casos específicos en los que existan patrones de difusión no uniformes como, entre otros, influencia mareal, interferencia agua superficial-agua subterránea e interferencia entre distintos acuíferos.

2.3.6.3. Modelos matemáticos.

Los modelos matemáticos pueden dividirse en dos grandes grupos, los determinísticos y los estocásticos. En los primeros las variables vienen determinadas por leyes físicas (empíricas, conceptuales o teóricas) consideradas como exactas y que explican toda su variabilidad, mientras que en los segundos las variables son regidas en todo o en parte por las leyes del azar, y por tanto caracterizadas en términos de probabilidad.

Representan el modelo de una forma muy ajustada a la realidad. Permiten entonces un estudio más completo y exacto, por lo que son más fiables. Son adecuados para simular sistemas de mayor complejidad, con variaciones espaciotemporales sobre los que se tenga un conocimiento avanzado de las características, factores y propiedades del entorno. Por ello, para llevar a cabo las simulaciones en modelos matemáticos es útil y necesario realizar análisis y ensayos de campo, para poder obtener todos los datos de entrada necesarios. En el caso en que no sea posible es importante acudir a fuentes bibliográficas de datos fiables. Además, en la mayoría de los casos, los datos necesitan un procesamiento previo antes de ser introducidos al programa. Todo ello hace que la calibración y resolución del modelo sea más lenta y compleja.

- *Modelo matemático Determinístico.*

Los modelos determinísticos son formulados siguiendo fórmulas de la física descriptos por ecuaciones diferenciales, suelen tener un mayor potencial que los estocásticos. Este tipo de modelos ha sido utilizado por los hidrólogos con un mayor agrado en el campo de la evaluación de recursos hídricos, al reflejar los procesos esenciales del ciclo hidrológico en su fase terrestre. Un modelo determinístico es formulado en términos de un grupo de variables, parámetros y ecuaciones relacionadas a ellos, implica una relación causa-efecto entre los valores de los parámetros elegidos y los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones. Una entrada dada siempre producirá la misma salida bajo las mismas condiciones.

La implementación de cualquier modelo determinístico consta de las siguientes fases o etapas (Estrela, 1992):

- Formación del modelo conceptual
- Construcción del modelo
- Calibración de los parámetros del modelo
- Validación del modelo
- Análisis de sensibilidad del modelo

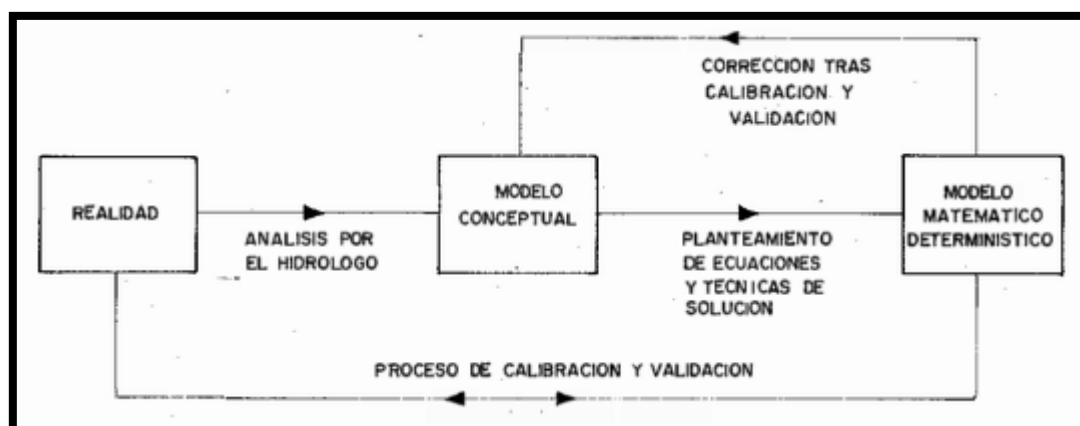


Figura 5. Esquema del proceso de modelización del modelo matemático determinístico.
Fuente: Modelos matemáticos para la evaluación de recursos hídricos, Estrela, T., 1992.

Dentro de los modelos matemáticos determinísticos, destacan por su utilización los *MODELOS AGREGADOS DE SIMULACIÓN CONTINUA* de la cuenca, los cuales simulan el ciclo hidrológico en su fase terrestre, completo y de forma continuada en el tiempo, estableciendo balances de humedad entre los distintos procesos que tienen lugar desde el momento en que llueve hasta que el agua fluye por el río. Es por esto por lo que suelen también llamarse modelos determinísticos de balance de humedad.

Las principales aplicaciones de los modelos de simulación continua en el campo de la evaluación de recursos hídricos son las siguientes:

- Extender series de aportaciones en puntos aforados a partir de series meteorológicas más largas.
- Generar series de aportaciones en puntos no aforados a partir de series meteorológicas.

Los modelos agregados de simulación continua se clasifican en dos grupos:

- *Modelos agregados con elevado número de parámetros:* Se entiende aquellos que utilizan del orden de 15 a 25 parámetros. Reproducen el ciclo hidrológico completo con mucho detalle y son utilizados cuando la simulación se realiza a escala horaria o diaria, los más conocidos son: SWM-IV (STAN-FORD), KWM y OPSET, TWM, USDAHL, NWSRFS, SACRAMENTO, OSUSWM, HSPF.
- *Modelos agregados con reducido número de parámetros:* Reproducen el ciclo hidrológico de una forma más simplificada que los anteriores.

Utilizan pocos parámetros (entre 2 y 6 generalmente) dado que su escala temporal de simulación (semanas, meses) hace que no sea preciso considerar todos los procesos que constituyen el ciclo hidrológico. Entre los más conocidos podemos citar: THORNTHWAITE T, PALMER P, ABCD, TÉMEZ. (Estrela, Modelos matemáticos para la evaluación de recurso hídrico, 1992

Los *MODELOS DISTRIBUIDOS* simulan el funcionamiento del sistema cuenca resolviendo numéricamente las ecuaciones diferenciales de flujo y conservación de masa de los procesos que constituyen el ciclo hidrológico, incorporan más aproximadamente la variabilidad espacial de las diferentes variables y reproducen más fielmente los procesos que tienen lugar dentro la cuenca.

Se caracterizan por la división de la cuenca en subunidades menores más homogéneas, dónde se aplica un modelo global. La respuesta global de la cuenca se compone a partir de las contribuciones de las diferentes subunidades.

- *Modelo matemático Estocástico.*

Los modelos estocásticos tienen su fundamento en el máximo aprovechamiento de la información contenida en las muestras analizadas. Su utilización como modelos predictores input-output en la evaluación de aportaciones es prácticamente nula, pues dada su sencillez (son generalmente lineales) están muy limitados en cuanto a la representación de los procesos hidrológicos. Presentan como ventaja frente a los determinísticos que su formulación estocástica facilita la obtención de las incertidumbres en las estimas de parámetros y variables.

Las aplicaciones fundamentales de los modelos estocásticos en la evaluación y análisis de los recursos hídricos son las siguientes:

- Completado de series de precipitaciones y de aportaciones en la red fluvial.
- Generación de series sintéticas de aportaciones, cuya finalidad no es en sí misma la evaluación del recurso, ya que esta se tiene con la serie histórica, sino su análisis probabilístico.

Los modelos estocásticos, univariados o multivariados, más habitualmente utilizados en la evaluación y análisis de los recursos hídricos son los AR y ARMA. Los modelos de correlación múltiple constituyen un caso especial de modelo multivariado.

“En un sentido general podríamos decir que los modelos determinísticos hacen pronósticos, mientras que los estocásticos hacen predicciones.”

	MODELO ANALITICO	MODELO MATEMATICO
VENTAJAS	- Menor cantidad de datos de entrada necesarios, por lo que se consigue una mayor rapidez de calibración y entrada de datos. - Mayor rapidez de resolución debido a que trabaja con fórmulas sencillas. - El entorno de trabajo es semejante al entorno de programación común (por ejemplo Excel), por lo que su uso es más intuitivo. - Son de fácil adquisición en el mercado. - Determinar la sensibilidad del modelo a cambios en determinados factores es sencillo, ya que las formulas en las que se basa no son complejas.	- Pueden crearse modelos más complejos y semejantes a la realidad. - Permite introducir variaciones espacio - temporales. - Los resultados obtenidos son más exactos y el grado de confianza es mayor, siempre y cuando se alimente al modelo con información fiable.
DESVENTAJAS	- Es aplicable solo a sistemas de flujo sencillos.	- Necesita una mayor cantidad de datos de entrada, mejor conocimiento del medio y un número mayor de estudios y análisis previos.

	- Calibración de modelos menos semejantes a la realidad. - Menor exactitud de los resultados. - No permite variaciones espacio - temporales de muchas de las variables que definen el modelo.	- Esto conlleva una mayor inversión de tiempo y dinero. - Es necesario un conocimiento amplio de los sistemas que se simulan (hidrogeología, dinámica de costas, etc.) y sus procesos. - Menor rapidez de resolución. - En ocasiones es necesario procesar la información en SIG antes de ser introducida. - En la mayoría de los casos el entono de trabajo no es intuitivo.

*Tabla 1. Ventajas y desventajas entre modelos Analíticos y modelos Matemáticos.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018.*

2.3.7. Concepto de caudales.

Como definición general, se conoce como caudal, a la cantidad de fluido que circula a través de una sección de un ducto, ya sea tubería, cañería, oleoducto, río, canal, por unidad de tiempo. Generalmente, el caudal se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área determinada en una unidad de tiempo específica.

Aunque se trate de dato instantáneo, pueden referirse al valor medio de distintos periodos de tiempo:

- *Caudales diarios:* Lectura diaria de una escala limnimétrica u ordenada media del grafico diario de un limnógrafo.
- *Caudales mensuales, mensuales diarios:* Para un año concreto es la media de todos los días de ese mes. Para una serie de años se refiere a la media de todos los Octubres, Noviembre, etc. de la serie estudiada.
- *Caudal anual, anual medio (módulo):* Para un año concreto es la media de todos los días de ese año, para una serie de años se refiere a la media de todos los años de la serie considerada.

2.3.8. Factores que afectan el caudal.

2.3.8.1. Superficie de la cuenca.

La superficie de la cuenca de un río es el factor más importante que determina el caudal del mismo. Generalmente, cuando se tienen dos ríos que mantienen igualdad de condiciones (zonas de clima y relieve similar), presentará mayor caudal el río que presente la cuenca más extensa. Por ejemplo, el río Amazonas es el río que presenta una cuenca de más de 7 millones de km^2 , siendo esta la cuenca más extensa y la que presenta el mayor caudal en todo el mundo (200.000 m³/seg. aproximadamente).

2.3.8.2. Clima.

Las zonas donde se presentan climas más húmedos y lluviosos generan que los ríos tengan un caudal más constante y abundante, en cambio si los ríos discurren por zonas donde el clima sea diverso, el caudal que estos dependerán de la estación del año que se presente en la zona.

2.3.8.3. Régimen fluvial.

Se define el régimen fluvial como la evolución del caudal de una corriente durante un año a lo largo de todo su curso. Este factor se encuentra ligado a factores naturales como relieve, litología, clima y vegetación, así como a acciones antrópicas ya sean positivas o negativas. El régimen fluvial depende de la precipitación debido a que esta alimenta el caudal de la mayoría de fuentes hídricas.

2.3.8.4. Vegetación natural.

La presencia de la vegetación natural en sectores aledaños al río, es un factor que ayuda a generar zonas de estabilidad en las orillas, disminuyendo el riesgo de erosión del suelo por la acción de la corriente, en general, las zonas más próximas a los cauces tienen buenas condiciones para la retención de agua y sedimentos creando zonas óptimas para el almacenamiento de agua y así mismo formando llanuras de inundación. Cuando se tienen raíces en la fuente hídrica, aumenta la cohesión del suelo y su resistencia, a la vez que disipa la energía y velocidad del cauce de las aguas.

2.3.9. Canales

Los canales se definen como cauces artificiales de forma regular cuya función es conducir agua de un punto a otro. El flujo del agua se produce sin presión; es decir, siempre habrá una superficie libre o espejo de agua, sobre el cual se ejerce la presión atmosférica. Un conducto cerrado, como un túnel o tubo, puede considerarse como un canal si funciona parcialmente lleno.

Canales abiertos son aquellos que funcionan a cielo abierto. Suelen ser excavados a media ladera generalmente, y el material excavado puede utilizarse como relleno del lado exterior del canal.

2.3.9.1. Filtraciones en canales

La filtración de agua en los canales es inevitable, por lo que el problema debe ser de consideración. Al no llegar toda el agua al final del canal, la eficiencia del canal se reduce. Además de las pérdidas de agua, las filtraciones resultan en la elevación del nivel freático, perjudicando la flora de la zona y provocando la salinización del suelo.

Pérdidas por conducción: son debido a la filtración a través del perímetro mojado de la sección transversal del canal, y a la evaporación en el espejo de agua. Las pérdidas por filtración dependen de la absorción y de la percolación. Las pérdidas por absorción se deben a la acción capilar y cesan cuando el terreno llega al límite de capilaridad por su textura. Las pérdidas por percolación se deben a la acción de la gravedad, el agua alcanza el sub-suelo, a veces el nivel de la napa freática o sigue su curso en forma de agua subterránea.

Las pérdidas por absorción son considerables cuando el canal se apertura, pero disminuyen a medida que el terreno se satura, pero estas pérdidas por percolación continúan ininterrumpidamente.

Factores que afectan la filtración:

- Tirante de agua en el canal.
- Temperatura
- Permeabilidad del suelo.
- Tiempo de uso del canal.

- Caudal que transporta el canal

En suelos de textura fina, las pérdidas por absorción son mayores, ya que tienen mayor capacidad para retener agua capilarmente, sin embargo, las pérdidas totales por filtración dependen más de la percolación, por lo tanto, son mayores en suelos arenosos que poseen un fácil drenaje. Un aumento en la temperatura del agua y el suelo reduce la viscosidad del agua, aumentando la tasa de percolación.

El tiempo de uso del canal disminuye la pérdida por percolación, ya que los depósitos de sedimento obstruyen los poros del terreno permeable.

2.3.10. Concepto y métodos de medición de caudales

Conocer la variación del caudal que fluye por una determinada sección de un cauce natural es de suma importancia en los estudios hidrológicos, principalmente en estudios enfocados hacia la cantidad del recurso hídrico ya que el valor mínimo del caudal de una fuente ayuda a determinar el cálculo de la demanda del recurso para la población.

Se define como la cuantificación del caudal de agua que pasa por la sección transversal de un canal, tubería o río. Se le conoce también como aforo.

El caudal se define como la cantidad de fluido que circula a través de una sección transversal (canal, río, tubería, túnel, etc.) por unidad de tiempo.

Las mediciones de caudales mediante aforos se pueden ejecutar de dos formas:

- Aforo Indirecto (de manera continua o permanente), donde en la zona que se desea aforar se realiza la instalación ya sea de estaciones medidoras (limnimétricas) o de estaciones de registro (limnigráficas).
- Aforo Directo (de manera puntual, aislada o instantánea), donde en la zona que se va a efectuar el aforo se realizan mediciones de caudal en determinados momentos donde se desee conocer la magnitud de una corriente en particular.

Al momento de hacer la selección una sección de aforo, se debe tener el conocimiento y la certeza que la forma de dicha sección no se verá afectada por cambios en el tiempo, es decir que corresponde a un tramo de río o arroyo que no sufre socavación y no está en proceso de sedimentación.

Para realizar el cálculo del caudal de una fuente hídrica, gran parte de los métodos de aforo se basan en la ecuación de continuidad $Q = V \cdot A$, donde V representa la velocidad de la sección y A , el área dónde se realizó el aforo. Los métodos más empleados para conocer el caudal de una fuente son los siguientes:

2.3.10.1. Aforos Indirectos.

- *Escalas Limnimétricas.*

Se trata de escalas graduadas en centímetros y firmemente sujetas en el suelo, a veces adosadas al pilar de un puente. En cauces muy abiertos puede ser necesario instalar varias escalas de manera que el final de una corresponda al comienzo de la siguiente.

Es necesario que un operario acuda cada día a tomar nota de la altura del agua.

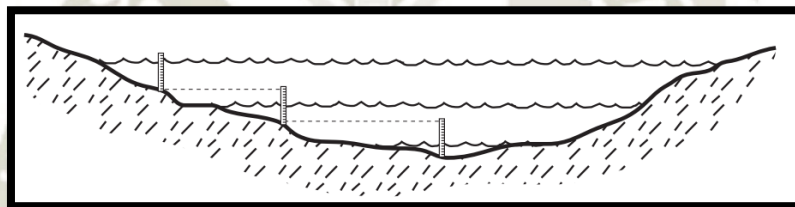


Figura 6. Aforos Indirectos. Escalas limnimétricas escalonadas.
Fuente: Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

- *Limnógrafos.*

Miden el nivel guardando un registro gráfico o digital del mismo a lo largo del tiempo. El gráfico que proporcionan (altura del agua en función del tiempo) se denomina *limnigrama*. No solamente evitan la presencia diaria de un operario, sino que permiten apreciar la evolución del caudal de un modo continuo. El modelo clásico funciona con un flotador que después de disminuir la amplitud de sus oscilaciones mediante unos engranajes, hace subir y bajar una plumilla sobre un tambor giratorio.

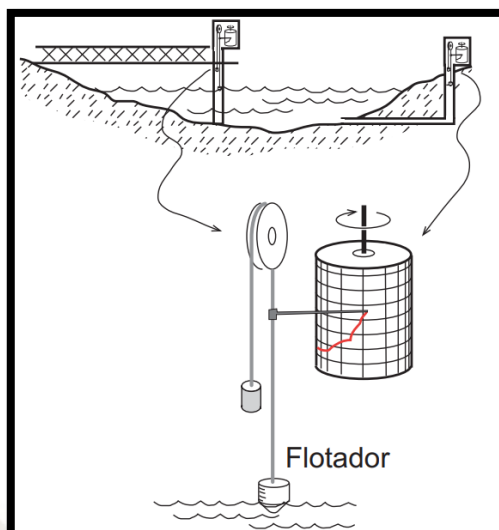


Figura 7. Aforos Indirectos. Limnógrafo y dos posibles accesos al centro del cauce, aéreo o subterráneo.

Fuente: Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

- *Curva de gastos (Rating curve).*

En cualquiera de los casos, el limnógrafo o la escala limnimétrica solamente miden el nivel del agua, necesitamos una ecuación que convierta el nivel en caudal. Para obtener esta curva para un punto concreto de un cauce, será necesario realizar numerosos aforos directos para establecer la relación entre niveles y caudales, que nos permitirá obtener el caudal a partir de la altura.

En la figura 8 se muestran unos puntos de aforo directos sobre los que se ha realizado un ajuste polinómico y otro potencial. Con cualquiera de las ecuaciones mostradas obtendremos el caudal a partir de un dato de nivel del agua en el cauce.

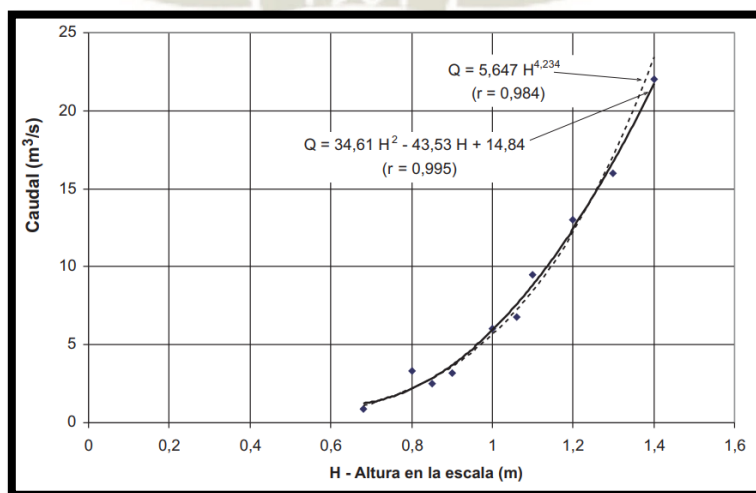


Figura 8. Aforos Indirectos. Curva de gastos (relación altura – caudal).

Fuente: Obtenido de <http://hidrologia.usal.es/temas/Aforos.pdf>

Esta relación hay que actualizarla periódicamente ya que la sección del cauce puede sufrir variaciones por erosión o deposición de sedimentos.

2.3.10.2. *Aforos Directos.*

- *Aforo con Flotadores.*

El procedimiento se basa en medir la velocidad del agua y aplicar la ecuación:

$$\text{Caudal} = \text{Sección} \times \text{Velocidad}$$

Para una estimación, la velocidad se calcula arrojando algún objeto que flote al agua, y la sección se estima muy aproximadamente (anchura media x profundidad media). Este procedimiento da grandes errores, pero proporciona un orden de magnitud.

- *Aforo con Molinete o Correntómetro.*

Para determinar con mayor exactitud el caudal de una corriente se emplea el aforo con molinete, donde el elemento medidor consiste en una rueda con una serie de aspas que se mueven por la corriente, la rapidez de la rotación de las aspas depende de la velocidad del agua en el punto donde se realiza el aforo. En corrientes superficiales se instalan pequeños molinetes sobre barras que sostienen operarios que caminan por el agua, mientras que cuando se hace la medición del caudal en grandes ríos, las lecturas se realizan desde un puente y el molinete se baja por medio de cables con pesas para retenerlo contra la corriente del río.

El molinete permite medir la velocidad en un único punto y para poder calcular el caudal total de la fuente hídrica se requieren varias mediciones.

CAPITULO. III. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA

3.1. DELIMITACION DE LA SUBCUENCA

Consiste en trazar líneas del divortium acuarum a partir del punto de delimitación, que va por los picos más altos de las montañas que contengan fuentes de agua (lagunas, ríos, nevados, etc.) que aportan al caudal total de la unidad hidrográfica. También, estará determinado por las laderas y/o quebradas que aporten con escurrimiento superficial originado por precipitaciones (Villón, 2002).

La delimitación de la Subcuenca se realizó a partir de un modelo digital de elevación (DEM) de 12.5 metros del sensor ALOS PALSAR, del Alaska Satellite Facility del portal de la NASA.

Se usó el programa ArcGis Pro 2.2, donde se siguió el siguiente procedimiento:

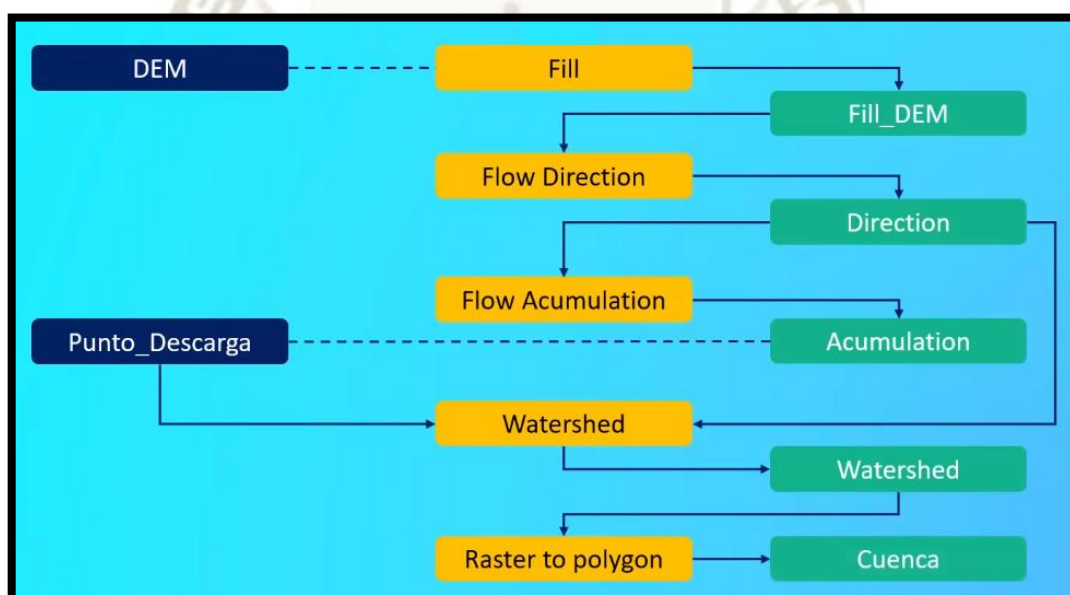


Figura 9. Esquema para la delimitación de la cuenca usando el programa ArcGis Pro.

Fuente: Obtenido de MASTERGIS, 2018

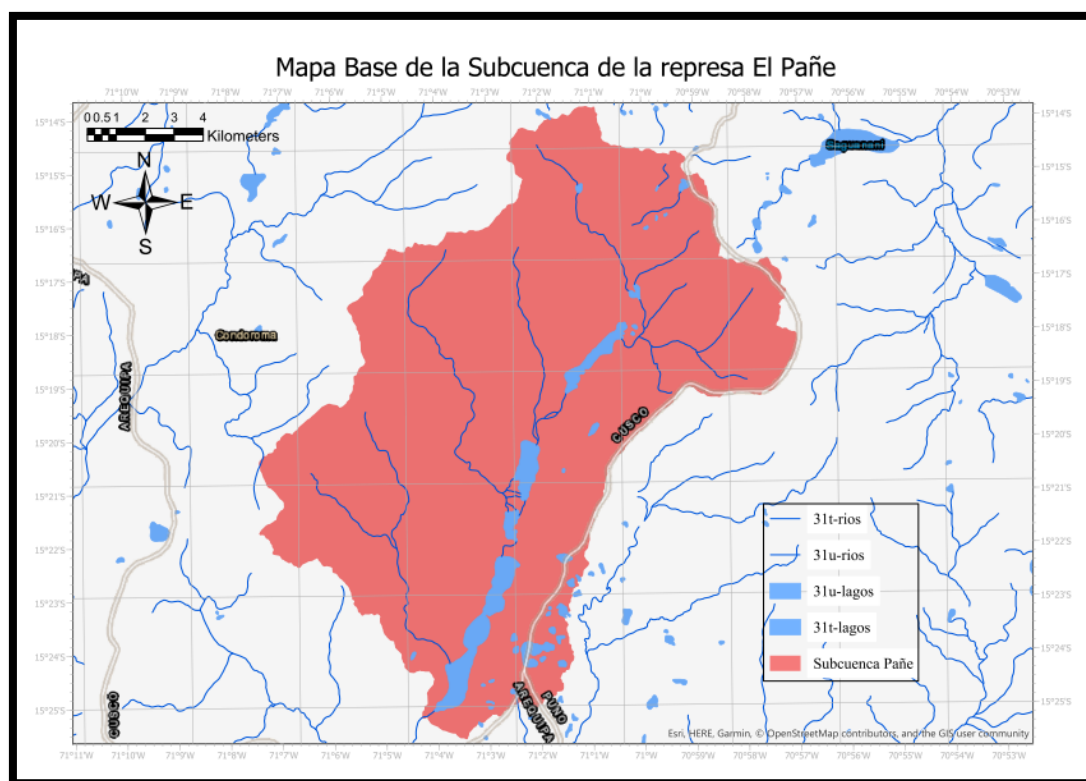


*Figura 10. Mapa de la Subcuenca de la represa El Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

3.2. DESCRIPCION DE LA SUBCUENCA

La represa el Pañe nace de las lagunas Pañe, Pañi y Vizcachane las que a su vez son alimentadas por las quebradas de Carmen Alto, Japu, Sañuta, Catamayo, Paloquilla y Huilachanca además de pequeños ríos cercanos, las precipitaciones de la zona y los deshielos de los nevados existentes.



*Figura 11. Presencia de bofedales en la parte alta de la represa el Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*



*Figura 12. Visita a la laguna el Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

3.3. UBICACIÓN

3.3.1. Ubicación geográfica.

La represa el Pañe está ubicada sobre el río Negrillo, tributario del río Colca; en el distrito de Condoroma, provincia de Espinar, región de Cusco a una altitud media de 4580 m.s.n.m. Regula los recursos hídricos propios de la laguna Pañe y los de una cuenca húmeda de 195.91 km^2 .

Zonificación UTM: 19 S WGS84 entre las coordenadas:

- Este: 277500 y 285000
- Norte: 8294000 y 8308000

Según el sistema de coordenadas geográficas se ubica entre los meridianos 71°04'24'' y 71°00'08'' de longitud Oeste y entre los paralelos 15°17'44'' y 15°25'17'' de latitud Sur.

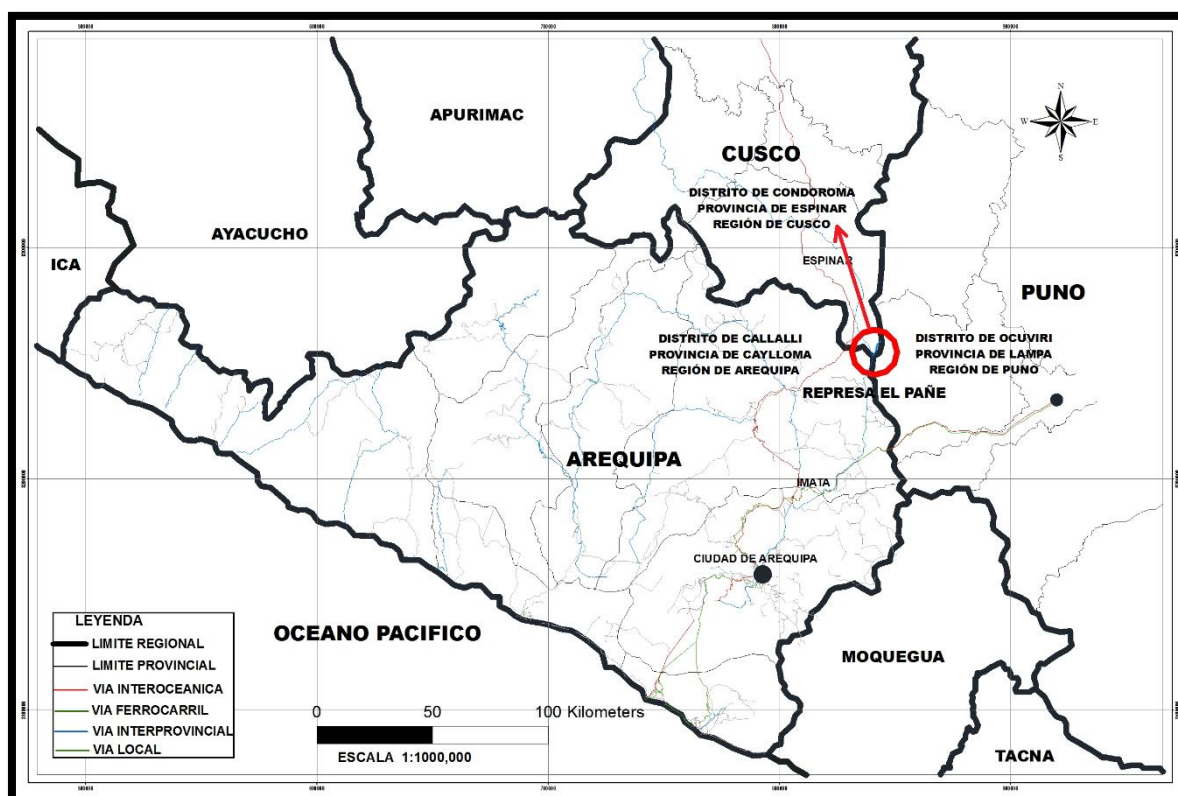


Figura 13. Mapa de Ubicación Represa El Pañe.

Fuente: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la represa El Pañe, CONSORCIO CAMP SRL
– C. Machicao P, 2011

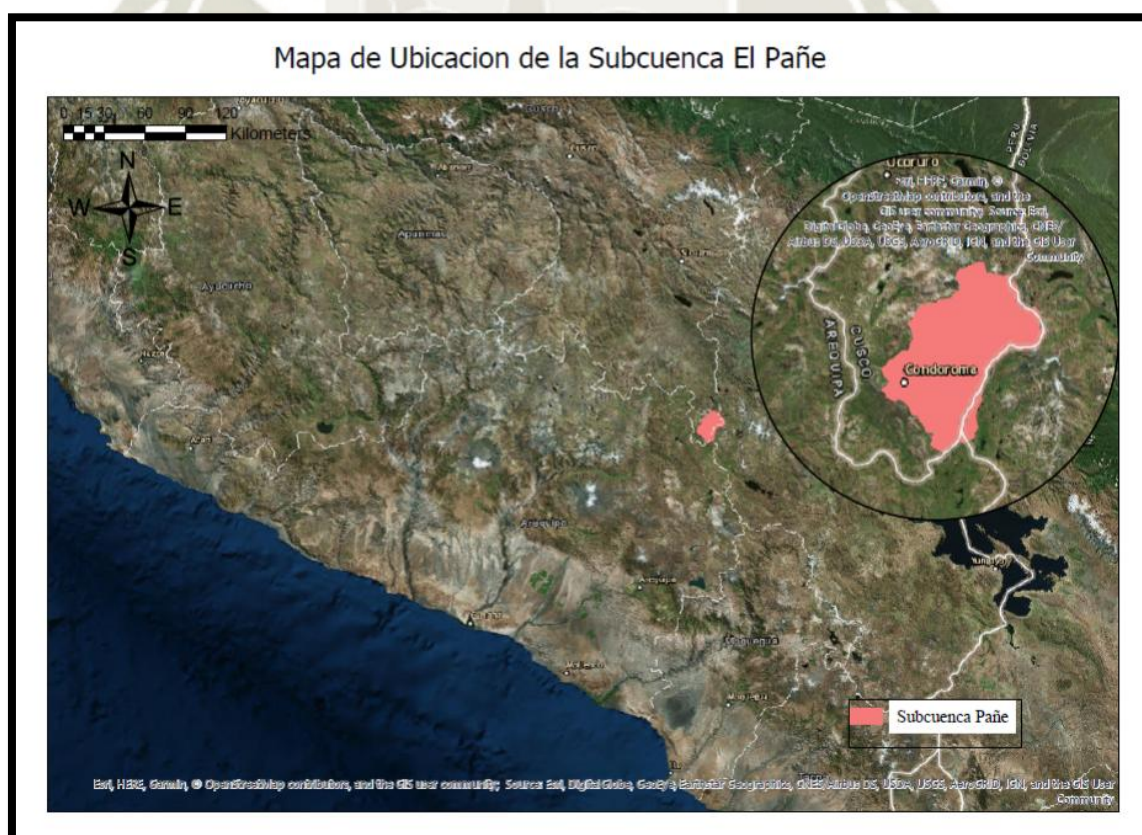


Figura 14. Mapa de Ubicación de la Sub cuenca de la Represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

3.3.2. Ubicación hidrográfica.

El área de estudio está ubicada en la sub cuenca del rio Alto Colca, en la unidad hidrográfica Alto Camaná que pertenece a la cuenca Camaná-Majes-Colca, que tiene una extensión de $17\,152,73\text{ km}^2$ y se ubica en la parte S de la costa del Perú, en la vertiente del Pacífico.

3.3.3. Ubicación administrativa.

El área de estudio pertenece a la cuenca Camaná-Majes-Colca, ésta se encuentra bajo la jurisdicción de 03 Administraciones Locales del Agua (ALA Chili, parte alta de la cuenca; ALA Colca-Siguas-Chivay, parte media de la cuenca y ALA Camaná-Majes, margen derecha de la parte media de la cuenca), pero está integrada dentro del sistema regulado Chili, y sus aguas son derivadas mediante el canal Pañe-Sumbay hacia el canal de Zamácola, para luego ser trasvasada a la cuenca Quilca-Chili que está bajo la jurisdicción de la ALA Chili; perteneciente a la Autoridad Administrativa del Agua I Caplina – Ocoña .

Este Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos permite realizar un seguimiento y evaluación del logro de metas institucionales, económicos, sociales y ambientales en el corto (8 años), mediano y largo plazo (22 años) sobre la base de principios de equidad, sostenibilidad y eficiencia en su aprovechamiento.

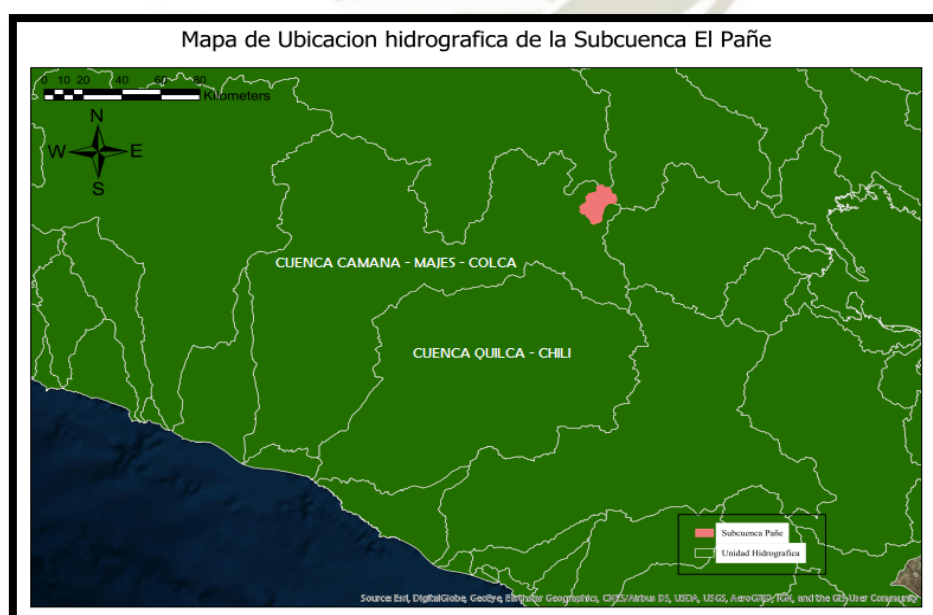


Figura 15. Mapa de Ubicación hidrográfica de la subcuenca de la represa el Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

3.4. PARAMETROS GEOMORFOLÓGICOS

Estos parámetros nos permitirán comprender de una manera referencial la respuesta hidráulica de la subcuenca ante las precipitaciones.

○ **Área (A)**

El área de la subcuenca es de 195.91 km²

○ **Perímetro (P)**

El perímetro de la subcuenca es 77.03 km.

○ **Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravellius (Kc)**

$$Kc = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

- Kc: Índice de compacidad
- P: Perímetro de la cuenca (km)
- A: Área de la cuenca (km²)

El índice de compacidad es de 1.55 lo que indica que la subcuenca es de forma oval oblonga a rectangular oblonga (Kc3, según FAO 1985).

Es una subcuenca que no tiene tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento es decir que es menos susceptible a inundaciones.

○ **Factor de forma (f_f)**

$$f_f = \frac{A}{L^2}$$

- A: Área de la cuenca (km²)
- L: Longitud axial de la unidad hidrográfica (km)

El factor de forma de la subcuenca es de 0.41 lo que indica que es una cuenca ni alargada ni ensanchada (Pérez, 1979), con menos tendencia a concentrar el escurrimiento.

- **Relación de elongación (R_e)**

El radio de elongación de la subcuenca es de 0.73.

- **Índice de alargamiento (I_a)**

El índice de alargamiento de la subcuenca es de 1.18. Como su valor es cercano a 1 se trata de una cuenca poco alargada cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto.

- **Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes**

Nro	Cotas (msnm)			Área (km ²)			
	Mínimo	Máximo	Promedio	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Inter
1	4632	4688	4660.00	29.59	196.85	100.00%	15.03%
2	4689	4744	4716.50	34.56	167.26	84.97%	17.55%
3	4745	4801	4773.00	26.72	132.70	67.41%	13.57%
4	4802	4857	4829.50	23.29	105.98	53.84%	11.83%
5	4858	4913	4885.50	22.71	82.70	42.01%	11.54%
6	4914	4970	4942.00	22.00	59.98	30.47%	11.18%
7	4971	5026	4998.50	17.90	37.98	19.29%	9.09%
8	5027	5082	5054.50	11.81	20.08	10.20%	6.00%
9	5083	5139	5111.00	5.35	8.27	4.20%	2.72%
10	5140	5195	5167.50	1.96	2.92	1.48%	1.00%
11	5196	5251	5223.50	0.84	0.95	0.48%	0.43%
12	5252	5308	5280.00	0.12	0.12	0.06%	0.06%

Tabla 2. Áreas por rangos de cotas en la subcuenca de la represa el Pañe.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018

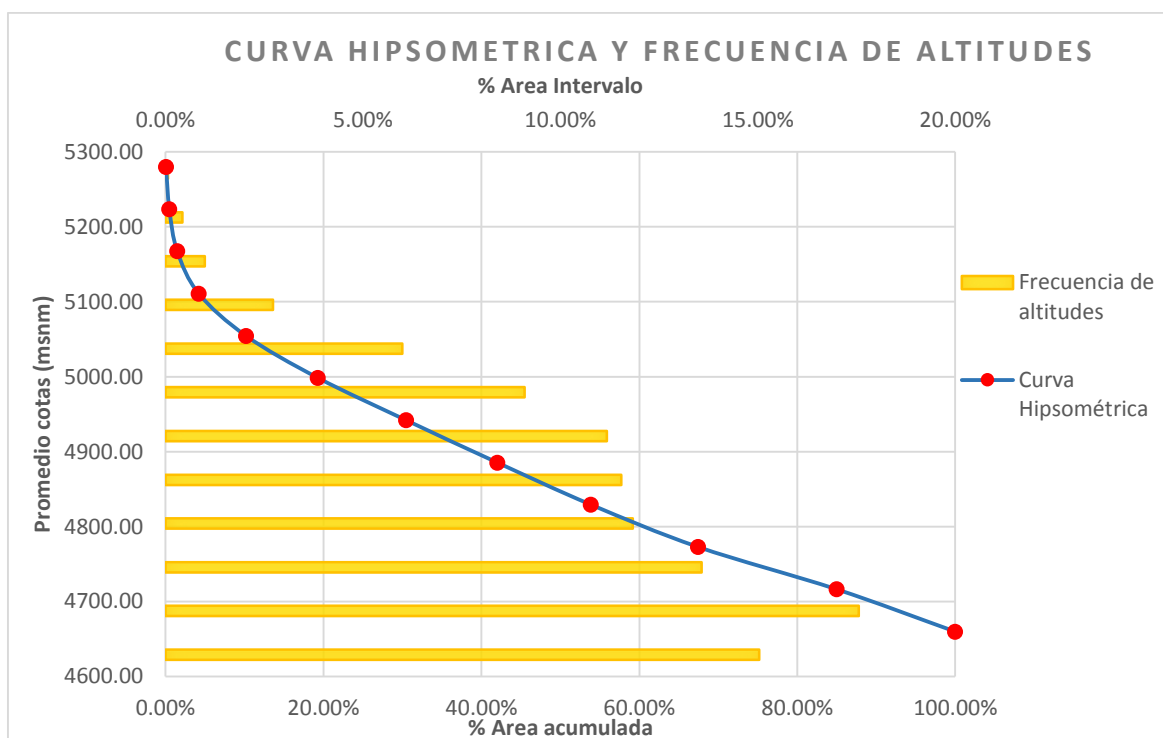


Figura 16. Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

Scheidegger (1987) atribuye las diversas formas de la curva hipsométrica a los niveles de actividad de construcción tectónica y degradación por erosión u otros mecanismos. Así, la curva hipsométrica de la Subcuenca de la represa el Pañe corresponde a una actividad media, es una cuenca en etapa de madurez y equilibrio.

La altitud más frecuente se encuentra alrededor de 4716.5 msnm.

○ Pendiente promedio de la cuenca

Nro	Rango pendiente (%)			Numero de ocurrencias (2)	(1) x (2)
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	950742	4753710
2	10	20	15	265855	3987825
3	20	30	25	32259	806475
4	30	40	35	4441	155435
5	40	50	45	721	32445
6	50	60	55	184	10120
7	60	70	65	58	3770
8	70	80	75	12	900

9	80	90	85	8	680
10	90	100	95	3	285
			$\Sigma =$	1254283	9751645

% pendiente = 7.77

Tabla 3. Rango de pendientes de la subcuenca el Pañe.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018.

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

Tabla 4. Tipo de terreno de acuerdo a la pendiente media (%).
Fuente: Obtenido de Pérez, 1979

La pendiente promedio de la cuenca es 7.77 %, lo que nos indica que su terreno es accidentado medio.

○ Longitud de la Red Hídrica

Orden de la Red Hídrica	Suma de la longitud (km)
1	27.68
2	19.78
3	19.86
$\Sigma =$	67.32

Tabla 5. Longitud de la red hídrica mediante el método de Strahler.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018.

Se usó el método de Strahler (1964) para establecer la jerarquización de los cauces de la red hídrica.

La longitud total de los cauces es de 67.32 km.

○ **Densidad de drenaje**

$$D_d = \frac{\sum Lc}{A}$$

- D_d : Densidad de drenaje (km/km²)
- A : Área de la cuenca (km²)
- $\sum Lc$: Longitud total de los cauces (km)

La densidad de drenaje de la subcuenca es de 2.91 km/km², es una cuenca con densidad moderada. Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Su valor está controlado por las características litológicas (muy especialmente la permeabilidad, hasta el punto de aportar una impresión cualitativa sobre ésta) y estructurales de los materiales, por el tipo y densidad de vegetación y por factores climáticos. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en aguaceros intensos y espaciados.

A continuación se presenta una tabla resumen de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca.

DESCRIPCION	VALOR	UNIDAD
PARAMETROS GENERALES		
Área de la cuenca (A)	195.91	km ²
Perímetro de la cuenca (P)	77.03	km ²
Cota máxima	5308	msnm
Cota mínima	4632	msnm
Longitud máxima o axial (L)	21.76	km
Ancho máximo	18.50	km
COORDENADAS DEL CENTROIDE		
X	280918.1	m
Y	8304824.5	m
Z	4900	msnm
PARAMETROS DE FORMA		
Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravellius (Kc)	1.55	-
Factor de forma (f_f)	0.42	-
Relación de elongación (R_e)	0.73	-

Índice de alargamiento (Ia)	1.18	-
PARAMETROS DE RELIEVE		
Pendiente promedio de la cuenca	7.77	%
PARAMETROS DE LA RED HIDRICA		
Orden de la red hídrica	3	-
Longitud de la red hídrica	67.32	km
Pendiente promedio de la red hídrica	1.08	%
CARACTERISTICA DE LA RED DE DRENAJE		
Densidad de drenaje	2.91	km/km ²

Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de la subcuenca de la represa el Pañe.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018

3.5.COMPONENTES DEL SISTEMA REPRESA EL PAÑE.

3.5.1. La Represa.

Fue construida durante los años de 1964 y 1965, regulando los recursos hídricos de un segmento de la Microcuenca Negrillo.

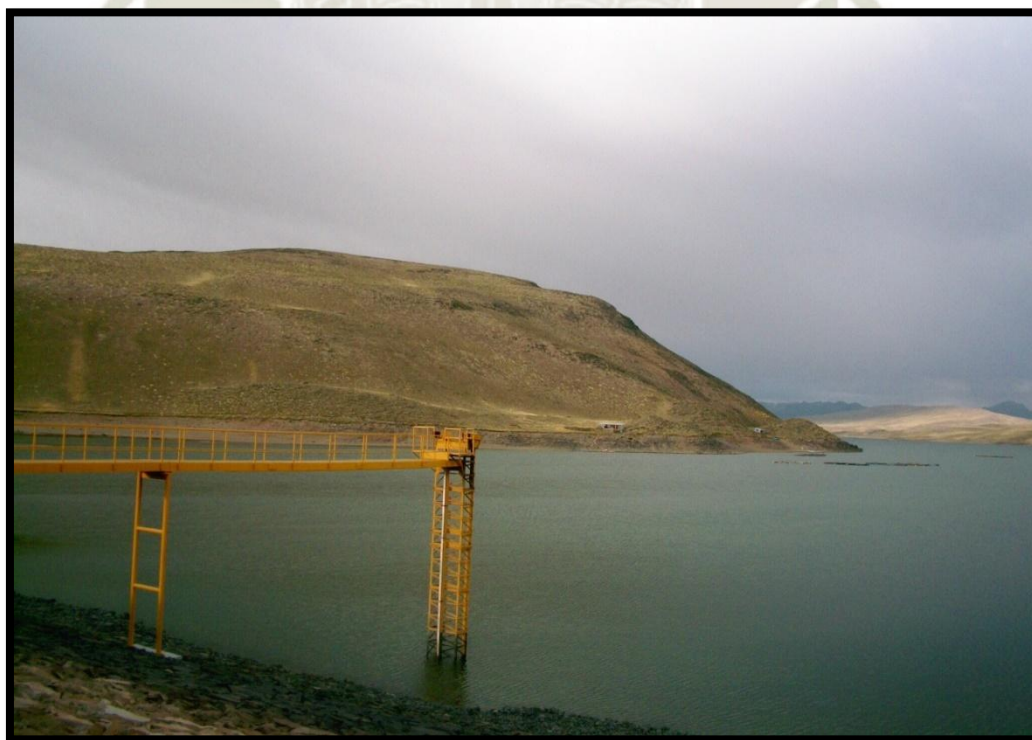


Figura 17. Represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

El cuerpo de la presa es de sección homogénea, constituida por un suelo fino de naturaleza arcillo - limosa; tiene un colchón filtrante de 1.00 m de espesor ubicado desde el pie del talud aguas abajo hasta el centro de la sección, habiéndose empleado para su construcción materiales de naturaleza gravosa-arenosa.

En los taludes aguas abajo y aguas arriba se ha colocado un enrocado de protección, con una capa de gravas y arenas que sirve de transición entre el material fino y el enrocado. Asimismo, se presenta una trinchera de drenaje al pie del talud aguas abajo en correspondencia con la sección máxima.

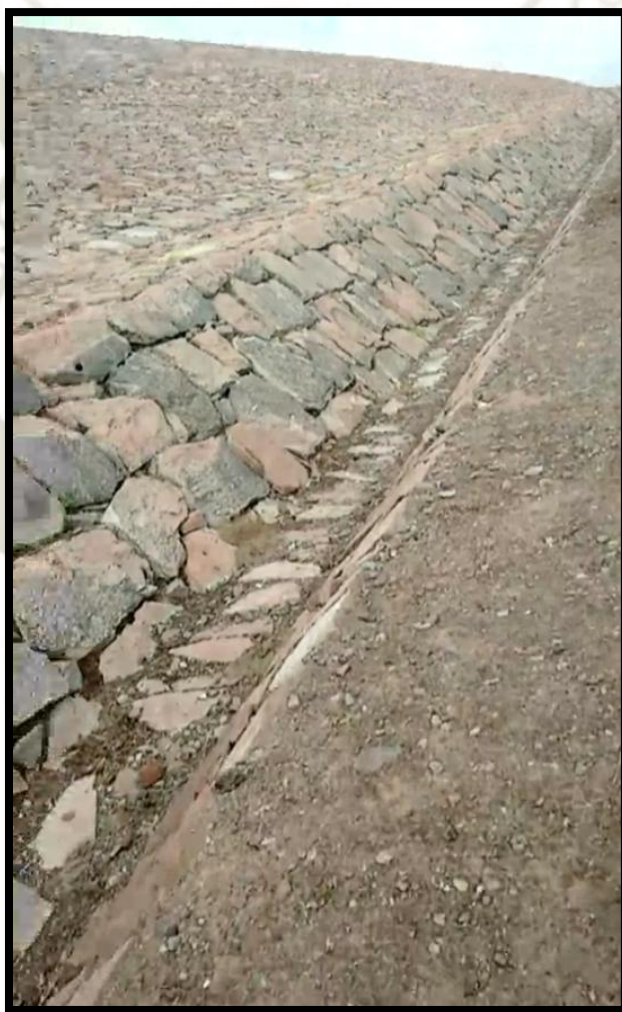


*Figura 18. Enrocado de protección Represa El Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

- La presa tiene una altura máxima de 13 m, una longitud total de 580 m y un ancho en la coronación de 5.50 m.
- El talud aguas arriba es de 1:3.5 hasta la cota 4,590.10 msnm, y de 1:3 desde esta cota hasta el nivel de coronación (4,597.40 msnm).

- El talud aguas abajo es de 1:3 hasta la cota 4,590.10 msnm, y de 1:2.5 hasta la cota de la coronación.



*Figura 19. Corona de la represa El Paño.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

- Los principales niveles operativos de este embalse son:
 - Nivel de agua mínimo (NAMI) : 4 585,0 msnm
 - Nivel de agua máximo ordinario (NAMO) : 4 595,40 msnm
 - Nivel de agua máximo extraordinario (NAME) : 4 596,40 msnm

El comportamiento actual de la presa, desde el punto de vista estructural, es satisfactorio. Se presentan filtraciones al pie del talud aguas abajo en la margen derecha y que son del orden de 1 lt. /seg. Sin embargo, estas filtraciones no desarrollan fenómenos de erosión regresiva.

Consta además de las siguientes estructuras o sub-componentes: Descarga de Fondo o Toma y Aliviadero.

3.5.2. La Descarga de Fondo.

Consiste en un sistema de toma, conducción, control y descarga propiamente dicha. Se ubica en el cuerpo de la represa, aproximadamente en el medio de su longitud; la compuerta de entrada está ubicada en el talud aguas arriba de la represa (4596 msnm), consta de la Compuerta de Fondo N° 1 (una compuerta plana deslizante de 1,3 x 1,3 m)

operada desde el puente de maniobras ubicado a 4 596 msnm. Tiene la función principal de regular el flujo según las necesidades, incluso el vaciado del reservorio para el mantenimiento y/o reparación.



Figura 20. Puente de maniobras que opera la Compuerta de Fondo N°1 de la Represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018



Figura 21. Instrumentación para el izaje de las Compuertas de descarga de Fondo de la Represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

La descarga de fondo está conformada además por la tubería de fondo, de concreto armado, de 1.3 m de diámetro y 67m de longitud y cuyo eje se encuentra a 1,5 m por debajo del volumen muerto para permitir tener una carga hidrostática necesaria para conseguir una descarga mínima igual a la capacidad del Canal de Aducción (5.5 m³/s). La torre en la que se ubican los elementos de operación remata en una caseta a la altura de la coronación y está comunicado con el puente,



*Figura 22. Tanque de Disipación y Compuerta de Regulación N° 2 de la Represa El Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

El Tanque de Disipación y la Compuerta de Regulación N° 2 se ubican al pie de la represa, en el talud aguas abajo, protegidas por una caseta; consta de un mecanismo manual mediante el cual se determina el porcentaje de abertura de la compuerta. Presenta fugas de agua, por desgaste, desde hace algunos años, según se nos refirió.

3.5.3. La Compuerta de Amortiguamiento N°3.

Ubicada unos 200 m aguas abajo de la compuerta de descarga, es una compuerta plana que controla el caudal que discurrirá por el Canal de Aducción, impidiendo que sea mayor a los 5.5 m³/s. A un costado de esta compuerta se ubica un vertedero lateral, por el que se descarta eventuales caudales mayores al indicado.



Figura 23. Compuerta de Amortiguamiento N° 3 de la Represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

3.5.4. El Aliviadero.

El aliviadero se ubica en la coronación de la represa, a unos 30 m del estribo izquierdo, está básicamente conformado por un canal de conducción de sección rectangular, de 20 m de longitud, 8.0 m de base y 2 m de altura, apoyado en el cuerpo de la represa, y un vertedor de cresta ancha.

La cota original del umbral del aliviadero fue 4 594,90 msnm, pero en el año 1972 se encimó el vertedero en 0,50 m (4 595,40 msnm) aumentando la capacidad del embalse a 98,4 MMC.

Tiene la función de descargar todo la masa de agua que esté excediendo la capacidad del embalse, y luego conducirlo a través de un sistema de disipación a su cauce. “Con la carga máxima de diseño (1,0m) el aliviadero descarga 35 m³/s”.



*Figura 24. Aliviadero (Detalle de la mira limnimétrica) de la Represa El Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018*

3.5.5. El Reservorio.

El reservorio o vaso “El Pañe” se ubica sobre un valle de puna, de ancho promedio 1 km, ocupa una superficie de 1,274.29 Ha con una pendiente longitudinal muy baja (0.0007 m/m), contorno con pendientes de mediana inclinación (5 a 10%) a fuerte inclinación (40-60%). Tiene una forma alargada, alcanzando una longitud de 15.6 km que no varía sensiblemente entre las épocas de avenidas y de estiaje, debido a que el vaso en su volumen útil se ubica por encima de unas antiguas lagunas, las cuales se extienden prácticamente a lo largo de todo el reservorio y lógicamente no se secan; más aún el volumen mínimo del reservorio, según la operación usual de la represa, generalmente se ubica 1 m por encima de dichas lagunas.

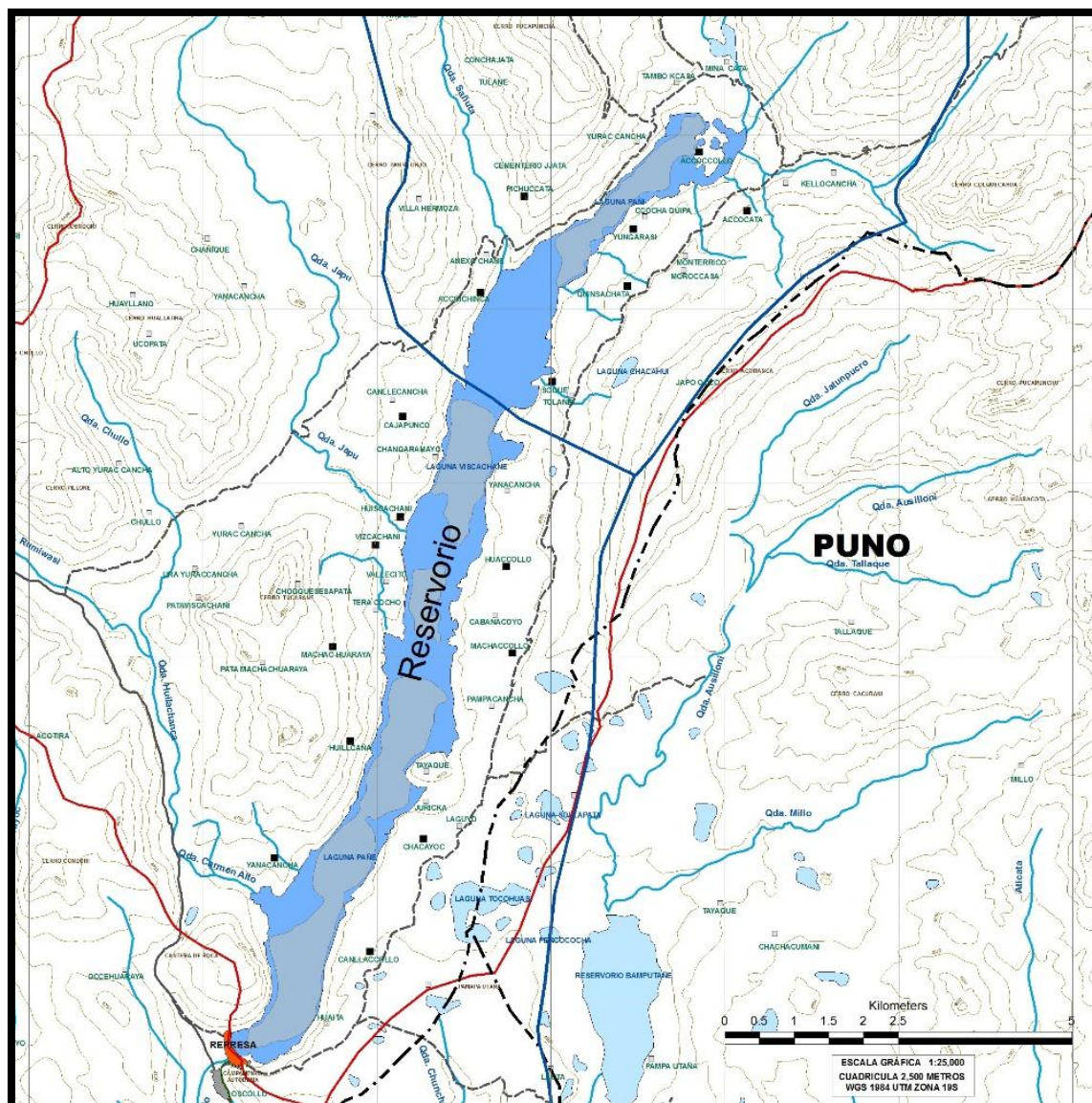


Figura 25. Mapa Base de la subcuenca de la represa el Pañe.

Fuente: Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la represa El Pañe, por CONSORCIO CAMP SRL – C. Machicao P, 2011

Debido a la muy baja pendiente longitudinal, el vaso tiene condiciones óptimas de regulación, por lo cual con una altura máxima de 13 m. del cierre regulan casi 100 Hm³.

Además las lagunas constituyen “trampas” naturales para los sedimentos que llegan al reservorio, evitando que el volumen útil disminuya sensiblemente con el transcurso de los años.

Los niveles y volúmenes característicos del reservorio son:

- Nivel de agua mínimo (NAMI): 4 585.10 msnm. Volumen 41.3 Hm³
- Nivel de agua máximo ordinario (NAMO): 4 594.10. m.s.n.m. Volumen 140.91 Hm³

- De la diferencia de estos 2 volúmenes, y de acuerdo a las características de la Toma de la represa, el volumen muerto es de 41.30 Hm³
- Nivel de agua máximo extraordinario (NAME): 4 595.10 m.s.n.m.

3.5.6. Estaciones Hidrometereológicas.

Como parte del proyecto se tiene una estación Hidrométrica-limnimétrica, ubicada al inicio del Canal Pañe – Sumbay. Consta de un limnómetro o mira empotrada en la pared del canal, del que se hacen lecturas diarias.

Además existe una estación meteorológica, tipo climatológica ordinaria – CO – protegida por un cerco perimétrico de postes metálicos en las esquinas y puerta, y malla metálica.

La estación cuenta con el siguiente equipo: Pluviómetro, anemómetro, tanque evaporimétrico y termómetros. Las lecturas son tres veces por día.

3.6. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

El clima de la zona de estudio es frígido y seco típico de la región puna (Pulgar Vidal) presentan vientos durante casi todo el año y principalmente en invierno (entre mayo y octubre).

La temperatura varía entre los -14°C y los 15°C. Las heladas se presentan entre abril y noviembre con alta probabilidad de ocurrencia en los meses de junio, julio y agosto y baja la probabilidad en los meses de abril, mayo, setiembre, octubre y noviembre

La estación húmeda se presenta entre octubre y abril con precipitaciones pluviales líquidas (lluvia) y sólidas (granizo y nevadas), en esta estación las quebradas y riachuelos se alimentan para luego descender por las laderas y entregar sus aguas al sistemas de quebradas con apariencia de ríos vertiendo las aguas al espejo de la represa “El Pañe” en toda su dimensión es decir en gran parte de su entorno.

El origen de las lluvias es de tipo orográfico originado por la presencia de la cordillera que concentran las masas de aguas provenientes de las nubosidades de la amazonia y nubosidades de la cuenca del Océano Pacífico, originando el ciclo hidrológico de las precipitaciones.

La humedad relativa del área de estudio es del orden de 60% considerado como una zona seca, viene a constituir la cantidad de vapor de agua en el aire expresado en porcentaje, presentando una distribución regular en el año con valores altos en verano (temporada de lluvias) y valores bajos en invierno (temporada seca).

3.7. IMPORTANCIA

La principal función de Subcuenca de la Represa “El Pañe” es el embalsamiento de las aguas del río Negrillo por la represa el Pañe en temporada de crecidas; y durante la temporada de estiaje descargarlas de acuerdo a los requerimientos para los diversos usos.

La represa del Pañe junto con las represas de la cuenca Quilca-Chili que se construyeron previa y posteriormente es la de proveer de recurso hídrico a la campiña de Arequipa y a la Irrigación La Joya, posibilitando ampliar la frontera agrícola, incrementar la producción y el abastecimiento de energía eléctrica y garantizar la cobertura de la demanda poblacional y más recientemente dotar de agua a la producción minera.

Actualmente la Autoridad Autónoma de Majes – AUTODEMA es el organismo del Gobierno Regional de Arequipa que además de gestionar el Proyecto Especial Majes-Siguas (PEMS), es responsable de la operación y mantenimiento del Sistema Regulado del Chili que incluye la Represa El Pañe.

3.8. ACCESIBILIDAD, VÍAS DE COMUNICACIÓN

La vía principal de acceso a la represa del Pañe es la carretera que parte de la ciudad de Arequipa hacia Tintaya.

Esta vía en su primer tramo es la carretera a la localidad de Yura, que es plana y asfaltada. Subiendo por el extremo norte del volcán Chachani casi hasta la cota 3,800 msnm, se llega a unos parajes de topografía plana, constituida por pampas y lomadas, como la Pampa de Cañaguas, hasta el lugar denominado Viscachani, donde existe un desvío hacia la derecha. Esta carretera conduce hacia Caylloma.

Continuando por esta carretera, existe otro ramal hacia la derecha, desvío Tolacasa, que conduce a la localidad de Imata, que luego prosigue hasta empalmar con la carretera de penetración Arequipa-Juliaca-Puno. Desde la localidad de Imata continua un tramo de 11 km también asfaltados hasta el desvío hacia Ocollo, en que se inicia un tramo afirmado

de 39 km hasta este Centro Poblado; desde el cual hasta la represa se accede mediante una trocha de 700 m.

3.9. SÍNTESIS DESCRIPTIVA

- Identificación
 - Nombre de la Presa : El Pañe
 - Año de Construcción : 1962–1964
 - Entrada en servicio : 01 de enero de 1968
- Ubicación
 - Cuenca y Río : Colca, Negrillo
 - Lugar : Zona de la Laguna El Pañe
 - Distrito y Provincia : Condoroma – Espinar
 - Departamento – Región : Cusco
 - Altitud Media : 4,540.4 msnm
- Presa
 - Tipo: Presa de tierra de sección homogénea, con material arcillo-limoso.
 - Altura : 13.0 m.
 - Longitud de la Corona: 580.0 m.
 - Volumen de la Presa : 2'500,000 m³ (materiales)
- Reservorio
 - Capacidad Útil de Almacenamiento : 98'397,851 m³
 - Capacidad Total : 139'697,851 m³
 - Volumen Muerto : 41'300,000 m³
 - Superficie del Espejo de Agua : 14.0 Km²
- Descarga Regulada
 - Capacidad de descarga : 5.5 m³/seg.
 - Tipo : Compuerta plana deslizante, tipo tarjeta
- Aliviadero
 - Capacidad Máxima : 35 m³/seg.
 - Tipo : Perfil Creager

CAPITULO. IV. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

4.1. MODELO DE TÉMEZ

Creado por el ing. J.R. Témez para la Dirección General de Carreteras de España en 1977. Es un modelo lluvia escorrentía, concentrado y de generación continua. El modelo opera realizando balances de humedad entre los distintos procesos de transporte de agua que tienen lugar en un sistema hidrológico durante las diferentes fases del ciclo hidrológico. Todo el proceso está gobernado por el principio de continuidad y de balance de masas, y regulado por leyes específicas de reparto y transferencia entre los distintos términos del balance. Empleado para calcular la producción de agua de una cuenca hidrográfica en función de datos mensuales de precipitación. Para la calibración y validación del Modelo de Simulación Hidrológica Integral propuesto por Témez se requiere:

- Series históricas mensuales de precipitación
- Evapotranspiración potencial
- Caudales

Aunque considere pocos parámetros existe suficiente experiencia en su aplicación como para tenerle en consideración. Su bajo número de parámetros lo hace especialmente aplicable y adecuado en cuencas con un número reducido de datos, algo frecuente en cuencas de nuestra región.

El modelo considera el terreno dividido en dos zonas:

- Una zona superior, no saturada, en cuyos poros coexisten agua y aire, y su contenido de agua es asimilable a la humedad del suelo.
- Una zona inferior o acuífero, la cual se encuentra saturada y funciona como un almacenamiento subterráneo que desagua a la red de drenaje superficial.

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.

- *Flujos de entrada:* la precipitación (P).
- *Flujos de salida:* la evapotranspiración (ET), la aportación superficial (A_{sup}) y la aportación de origen subterráneo (A_{sub}).

- *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 " (R_t).
- *Almacenamientos intermedios*: la humedad del suelo (H_t), y el volumen almacenado en el acuífero (V_t).

Los distintos componentes de flujos y almacenamientos se ilustran en la Figura 26.

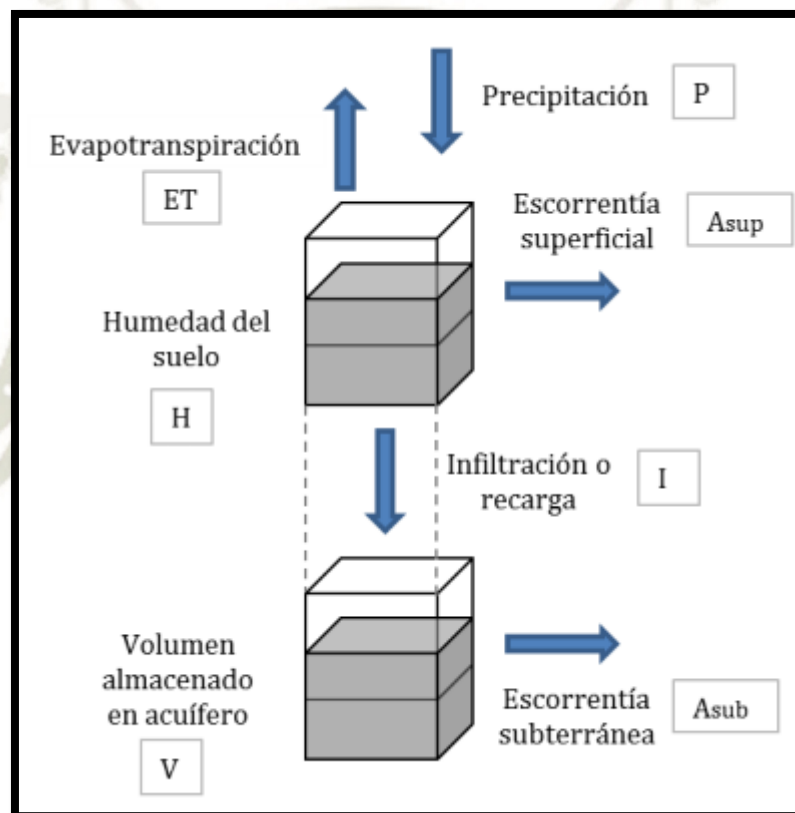


Figura 26. Esquema de flujos y almacenamientos del modelo de Témez.

Fuente: "Herramienta EvalHid para evaluación de Recursos Hídricos", por grupo de ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Valencia, 2017

En el modelo de Témez, el agua que procede de la precipitación (P) se distribuye de tres formas diferentes (vea Figura 27):

- El excedente (T), que a su vez se descompone en un flujo de infiltración al acuífero desde la zona superior del suelo (I), y en un flujo que discurre superficialmente (A_{sup}).

Parte del agua almacenada en la zona inferior o acuífero desagua en el intervalo de tiempo presente (A_{sub}) y la otra parte permanece dicho almacenamiento subterráneo para salir en meses posteriores.

- La evapotranspiración (ET) de una parte o de toda la humedad almacenada en la zona superior del suelo (H_t).
- La humedad del suelo (H_t) que se almacena en la zona superior del suelo, cuyo límite es la capacidad máxima de almacenamiento hídrico del (H_{maxt}).

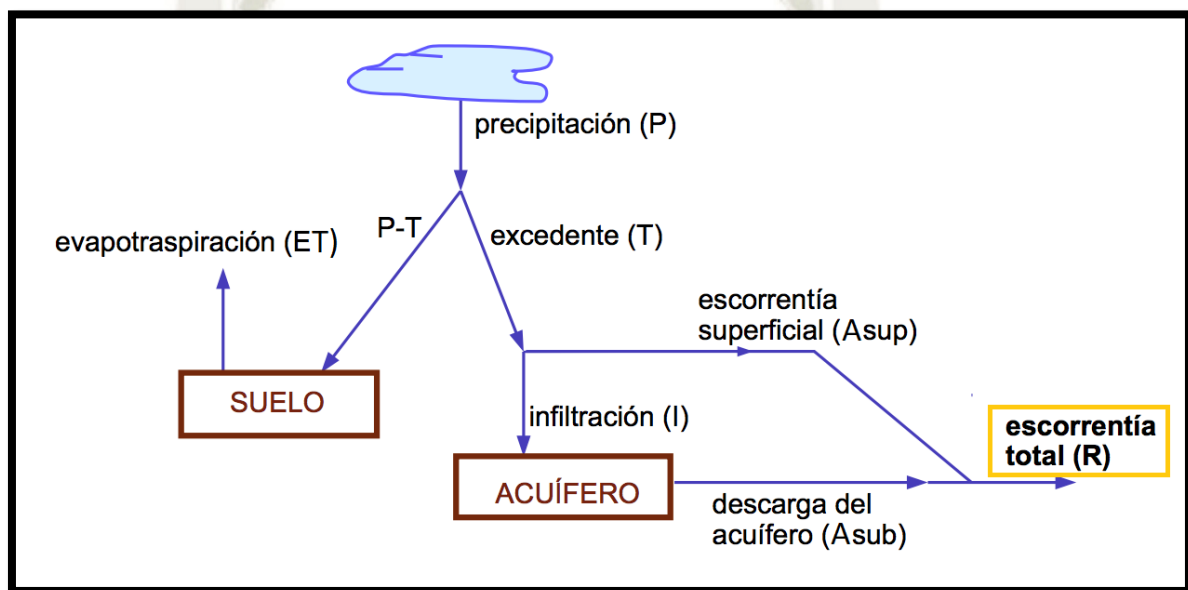


Figura 27. Esquema simplificado del ciclo hidrológico del modelo de Témez.

Fuente: “Herramienta EvalHid para evaluación de Recursos Hídricos”, por grupo de ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Valencia, 2017

4.1.1. Parámetros del modelo.

El modelo de Témez tiene cuatro principales parámetros:

- 1) $H_{m\acute{a}x}$, Humedad máxima (mm), máxima capacidad de retención de agua en la capa superior del terreno.
- 2) $I_{m\acute{a}x}$, Infiltración máxima (mm), máxima cantidad de agua que es capaz de llegar a la capa freática durante un intervalo de tiempo-o.
- 3) *Parámetro C*, Coeficiente reductor, numero adimensional.
- 4) *Parámetro α* (1/días), característico de la unidad hidrográfica que define su ley exponencial de agotamiento.

4.1.2. Cálculo del excedente.

Se considera que una fracción del agua que se precipita sobre el terreno (P_t) es almacenada en la zona superior del suelo (H_t). El resto, el excedente (T_t), se distribuye entre la aportación de origen superficial (A_{supt}) y la infiltración hacia el acuífero (I_t) o recarga (R_t).

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

$$T_t = 0 \quad \text{si } P_t \leq P_0$$

$$T_t = \frac{(P_t - P_0)^2}{P_t - \delta_t - 2P_0} \quad \text{si } P_t > P_0$$

Donde:

$$\delta = H_{max} - H_{t-1} + ETP_t$$

$$P_0 = C(H_{max} - H_{t-1})$$

Siendo:

- H_{max} : La capacidad máxima de almacenamiento del suelo (mm), que depende de las características del suelo y la vegetación donde tiene lugar la evapotranspiración. El valor de H_{max} aumenta conforme lo hacen aquellos factores que facilitan la retención de agua en el suelo y el espesor del mismo que puede ser drenado por evapotranspiración.
- H_{t-1} : El almacenamiento de agua en el suelo (mm) en el instante t-1.
- ETP_t : La evapotranspiración potencial (mm) en el intervalo de tiempo t. Es la máxima evapotranspiración que se produciría en condiciones óptimas de humedad.
- C: El coeficiente de inicio de excedente. Un factor adimensional, que toma valores en torno a 0.30 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_{0t} 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_{0t} , la precipitación incrementa simultáneamente el excedente y la componente de humedad del suelo.

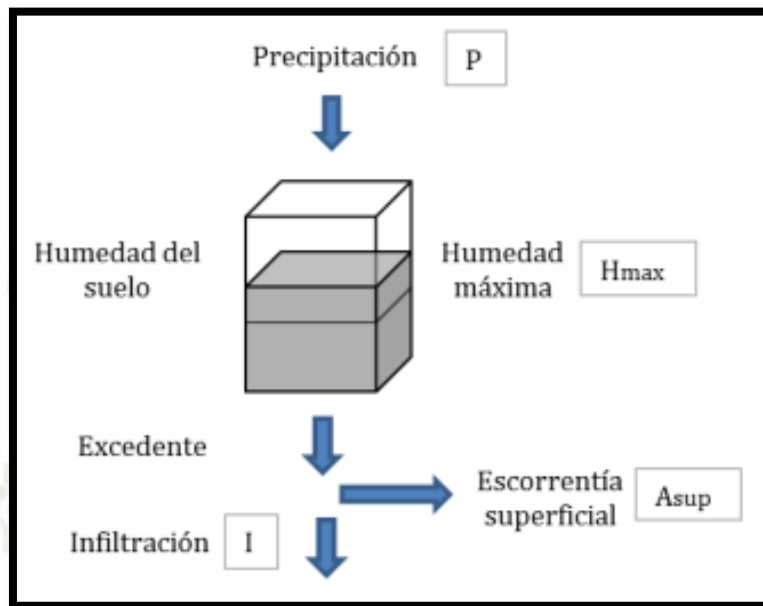


Figura 28. Transformación de la precipitación en excedente.

Fuente: “Herramienta EvalHid para evaluación de Recursos Hídricos”, por grupo de ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Valencia, 2017

4.1.3. Cálculo del almacenamiento superficial e infiltración.

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

$$H_t = \max \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ H_{t-1} + P_t - T_t - ETP_t \end{array} \right.$$

Que representa el cierre del balance entre el agua que queda en el suelo y la evapotranspiración. 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 (ET_t) se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$ET_t = \min \left\{ \begin{array}{l} H_{t-1} + P_t - T_t \\ ETP_t \end{array} \right.$$

Siempre que haya suficiente agua en el suelo, la evapotranspiración se desarrolla hasta alcanzar la evapotranspiración potencial. Caso contrario, la humedad en el suelo al final de mes será nula.

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:

$$I_t = I_{max} \cdot \frac{T_t}{T_t + I_{max}}$$

De la expresión se deduce que el excedente es directamente proporcional a la infiltración. 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 la frecuencia de la lluvia, aunque estos no deben considerarse como límites para calibrar un modelo.

4.1.4. Cálculo de la aportación superficial.

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

$$A_{sup_t} = T_t - I_t$$

4.1.5. Cálculo de la aportación subterránea.

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

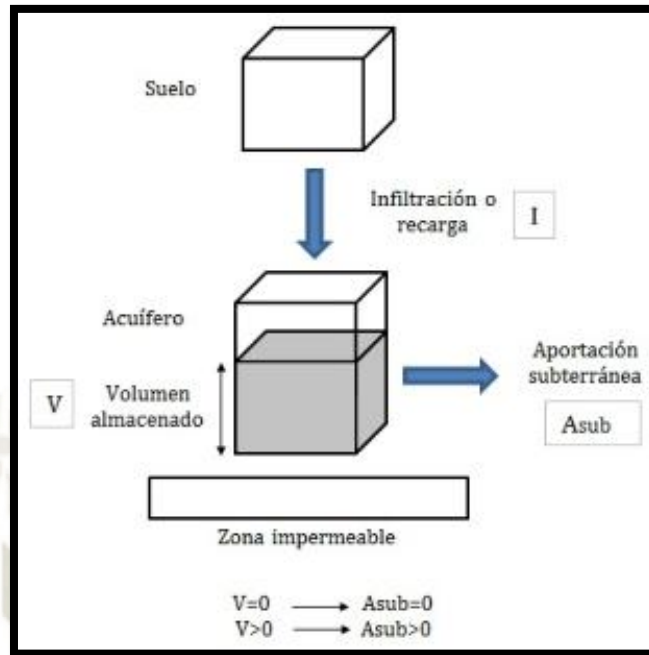


Figura 29. Producción de escorrentía subterránea.

Fuente: “Herramienta EvalHid para evaluación de Recursos Hídricos”, por grupo de ingeniería de recursos hídricos de la Universidad Politécnica de Valencia, 2017

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

$$Q_t = \alpha \cdot V_t$$

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:

$$I_t - Q_t = \frac{dV_t}{dt}$$

Donde:

- I_t son las entradas al acuífero en el tiempo t (recargas)
- Q_t son las salidas del acuífero en el tiempo t (extracciones)
- V_t es el volumen almacenado en el acuífero en el tiempo t

Sustituyendo la primera ecuación en la segunda y considerando R_t como el caudal de recarga neta al acuífero en el tiempo t se tiene:

$$R_t - \alpha \cdot V_t = \frac{dV_t}{dt}$$

La resolución de esta ecuación diferencial conduce, para la condición inicial de volumen inicial de acuífero, V_0 y para un caudal de recarga R constante, a:

$$V_t = V_0 e^{-\alpha \cdot t} + \frac{R}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t})$$

Expresando el volumen como una función del caudal y haciendo $R=0$ se obtiene una expresión para la curva de agotamiento del acuífero:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

La recarga R se puede expresar como $R = S \cdot I_t$ (siendo S la superficie de la cuenca), ya que está constituida por la cantidad de agua infiltrada al acuífero. De esta forma, la ecuación que determina el volumen en el acuífero en el mes t sería la siguiente:

$$V_t = V_{t-1} e^{-\alpha \cdot \Delta t} + \frac{S \cdot I_t}{\alpha} (1 - e^{-\alpha \cdot \Delta t})$$

Este modelo subterráneo presenta la ventaja de la simplicidad de cálculo, pero la desventaja que supone una simplificación excesiva del sistema. Por ejemplo, no sería válida para modelar acuíferos cársticos, donde se han identificado más de una rama de descarga en el agotamiento del acuífero. (Estrela y Sahuquillo, 1985).

El modelo de Témez contempla el ajuste de cuatro parámetros: $H_{m\acute{a}x}$, C , $I_{m\acute{a}x}$ y α . Los parámetros $H_{m\acute{a}x}$ y C regulan el almacenamiento de agua en el suelo, $I_{m\acute{a}x}$ separa la escorrentía superficial de la subterránea y el parámetro α regula el drenaje subterráneo. También se necesita definir 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.

4.2. MODELO DE LUTZ SCHOLZ

4.2.1. Balance Hídrico.

La ecuación fundamental del balance hídrico mensual expresada en mm/mes se puede describir en la forma siguiente propuesta por Fischer:

$$CM_i = P_i - D_i + G_i - A_i$$

Donde:

- CM_i : Caudal mensual (mm/mes)
- P_i : Precipitación total mensual sobre la cuenca (mm/mes)
- D_i : Déficit de escurrimiento (mm/mes)
- G_i : Gasto de la retención en la cuenca (mm/mes)
- A_i : Abastecimiento de la retención (mm/mes)

Se tiene en cuenta que:

- a) Para periodos largos el gasto y el abastecimiento son iguales, es decir que la retención de la cuenca no cambia a largo plazo.
- b) Para el año promedio, una parte fija de la precipitación se pierde por evaporación se puede transformar la ecuación del balance hídrico en la ecuación básica del método racional, sustituyendo (P-D) por (C*P). Teniendo en cuenta que la descarga se mide en m^3/s y la precipitación en mm/mes , se llega a la siguiente ecuación:

$$Q = c' * C * P * AR$$

Donde:

- Q : Descarga (m^3/s)
- c' : Coeficiente para la conversión del tiempo (mes/seg)
- C : Coeficiente de escurrimiento (1)
- P : Precipitación total mensual (mm/mes)
- AR : Área de la cuenca (m^2)

4.2.2. Coeficiente de escurrimiento.

Es la porción de lluvia real que produce escorrentía superficial. El coeficiente de escorrentía varía a lo largo del tiempo y está en función del terreno, vegetación, horas del sol. Lutz Scholz recomienda el uso de la fórmula de Turc:

$$C = \frac{P - D}{P} \quad D = \frac{P}{\left(0.9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{0.5}} \quad L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

Donde:

- C : Coeficiente de escurrimiento
- P : Precipitación total anual ($mm/año$)
- D : Déficit de escurrimiento ($mm/año$)
- L : Coeficiente de temperatura
- T : Temperatura media anual ($^{\circ}C$)

Lutz Scholz constató que aplicando la fórmula de Turc se puede calcular el déficit de escurrimiento solamente en el norte del país. En el sur, en la sierra, la fórmula de Turc falla por el clima muy especial, clima montañoso con temperaturas bajas. Para la región de la presente investigación se utiliza las siguientes ecuaciones desarrolladas sobre la base de observaciones en la región de Cusco y Huancavelica.

$$\hat{C} = 3.16E^{12} * P^{-0.571} * ETP^{-3.686} \quad r = 0.96$$

$$\hat{D} = 1380 + 0.872P + 1.032ETP \quad r = 0.96$$

Donde:

- $\hat{C}$: Coeficiente de escurrimiento
- $\hat{D}$: Déficit de escurrimiento ($mm/año$)
- P : Precipitación total anual ($mm/año$)
- ETP : Evapotranspiración anual según Hargreaves ($mm/año$)
- r : Coeficiente de correlación

La evapotranspiración se determina por la fórmula de radiación desarrollada por Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración potencial, adaptada de estudios del Pn-PMI.

$$ETP = 0.0075RSM * TF * FA$$

$$RSM = 0.075 * RA * \left(\frac{n}{N}\right)^{0.5}$$

$$FA = 1 + 0.06AL$$

Donde:

- *ETP*: Evapotranspiración potencial anual según Hargreaves (*mm/año*)
- *RSM*: Radiación solar media
- *TF*: Componente de la temperatura
- *FA*: Coeficiente de corrección por elevación
- *TF*: Temperatura media anual (Fahrenheit)

La temperatura anual de la cuenca se calcula en base a datos registrados en las estaciones de referencia teniendo en cuenta una gradiente de temperatura de -5.3 °C/1000 m, que se determinó para la sierra peruana.

- *RA*: Radiación extraterrestre (*mm H₂O/año*)
- *n/N*: Relación entre insolación actual y posible (%), 50% (estimación sobre base de registros)
- *AL*: Elevación media de la cuenca (*km*)

4.2.3. Precipitación efectiva.

Suponiendo que los caudales promedios observados pertenezcan a un estado de equilibrio entre gasto y abastecimiento de la retención de la cuenca respectiva, se calculó la precipitación efectiva para el coeficiente de escurrimiento promedio de manera que la relación entre precipitación efectiva y total sea igual al coeficiente de escurrimiento. Para este cálculo se adoptó el método del United States Bureau of Reclamation (USBR).

El elemento constitutivo del método del USBR para el cálculo de la precipitación efectiva es el principio que cuando aumenta la precipitación total mensual se toma un porcentaje disminuyendo del incremento de la lluvia como aumento de la precipitación efectiva de tal forma que a partir de un límite superior, la precipitación efectiva se mantenga constante. Este es el método original del USBR en el cálculo de la precipitación efectiva para cultivos. Para mayor detalle ver la tabla

Precipitación total mensual (rango) mm	Porcentaje del aumento (rango) %	Precipitación efectiva acumulada (rango) mm
0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.5 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 72.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 70	83.8 - 102.9
127.0 - 152.4	10 - 40	86.4 - 118.1
> 152.4	0 - 10	86.4 - 120.6

Tabla 7. Determinación de la PE, método USBR.

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERIS II, 1980.

Ahora modificando el método del USBR, se calculó la proporción de la lluvia que produce escorrentía, es decir, precipitación efectiva en el sentido hidrológico. Las curvas I y II pertenecen al método del USBR mientras que la curva III ha sido desarrollada mediante ampliación simétrica del rango original.

En el siguiente cuadro se muestra los límites superiores de la precipitación efectiva:

CURVA N	ECUACION	RANGO
Curva I	$PE = P - 120.6$	$P > 177.8 \text{ mm/mes}$
Curva II	$PE = P - 86.4$	$P > 152.4 \text{ mm/mes}$
Curva III	$PE = P - 59.7$	$P > 127.0 \text{ mm/mes}$

Tabla 8. Determinación de la PE modificando el método USBR.

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERIS II, 1980

Para facilitar el cálculo de la precipitación efectiva se ha determinado un polinomio de quinto grado:

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

Donde:

- PE : Precipitación efectiva (mm/mes)
- P : Precipitación total mensual (mm/mes)
- a_i : Coeficiente del polinomio

En el siguiente cuadro se presentan tres juegos de los coeficientes a_i que permiten alcanzar cada valor C predeterminado entre 0.15 y 0.45 por interpolación.

	COEFICIENTES PARA EL CALCULO SEGÚN		
	CURVA I	CURVA II	CURVA III
a_0	(-0.018)	(-0.021)	(-0.028)
a_1	-0.0185	0.1358	0.2756
a_2	0.001105	-0.002296	-0.004103
a_3	-1.204E-05	4.349E-05	5.534E-05
a_4	1.440E-07	-8.9E-08	1.24E-07
a_5	-2.85E-10	-8.79E-11	-1.42E-09

Tabla 9. Coeficientes para el cálculo de la PE.

Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERIS II, 1980.

La suma de los valores mensuales de la precipitación efectiva (PE_i) deben ser iguales al producto de la precipitación total anual (P) por el coeficiente de escurrimiento (C). Se debe ajustar la suma PE_i por interpolación entre dos series de valores de PE determinados por los coeficientes de la tabla 8.

Luego se determinan los coeficientes C_1 y C_2 de forma que la suma de ambas precipitaciones anuales multiplicado por sus coeficientes respectivos sea igual al producto del coeficiente de escurrimiento C y de la precipitación total anual P .

$$PE = C_1 PE_{II} + C_2 PE_{III} = C * P \quad \text{Si: } C_1 > 1 \text{ ó } C_1 < 0$$

$$C_1 + C_2 = 1$$

$$C_1 = \frac{C * P - PE_{III}}{PE_{II} - PE_{III}}$$

$$C_2 = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_{III} - PE_{II}}$$

$$PE = C_1 PE_I + C_2 PE_{II} = C * P \quad \text{Si: } 0 < C_1 < 1$$

$$C_1 + C_2 = 1$$

$$C_1 = \frac{C * P - PE_{II}}{PE_I - PE_{II}}$$

$$C_2 = \frac{C * P - PE_I}{PE_{II} - PE_I}$$

De este modo es posible llegar a la relación entre la precipitación efectiva y total de manera que el volumen anual de la precipitación efectiva sea igual al caudal anual de la cuenca respectiva.

$$C = \frac{Q}{P} = \frac{\sum_{i=1}^{12} PE_i}{P}$$

Donde:

- C : Coeficiente de escurrimiento
- Q : Caudal anual
- P : Precipitación total anual
- $\sum_{i=1}^{12} PE_i$: Suma de la precipitación efectiva mensual

4.2.4. Retención en la cuenca.

Suponiendo que para el año promedio exista un equilibrio entre el gasto y el abastecimiento de la reserva de la cuenca y admitiendo además que el caudal total sea igual a la precipitación efectiva anual, se puede calcular la contribución de la reserva hídrica al caudal, según las siguientes formulas:

$$R_i = CM_i - PE_i$$

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

- R_i : Retención de la cuenca (mm/mes)
- CM_i : Caudal mensual (mm/mes)
- PE_i : Precipitación efectiva mensual (mm/mes)
- G_i : Gasto de la retención (mm/mes)
- A_i : Abastecimiento de la retención (mm/mes)
- $R_i = G_i$ para valores mayores de cero (mm/mes)
- $R_i = A_i$ para valores menores de cero (mm/mes)

Sumando todos los valores G o A respectivamente, se halla la retención total R de la cuenca durante el año promedio en la dimensión de ($mm/año$).

El análisis ejecutado para las 19 subcuencas de la sierra muestra que la retención varía entre 43 y 188 ($mm/año$).

4.2.4.1. Relación entre descargas y retención.

Durante la estación seca el gasto de la retención alimenta los ríos y mantiene la descarga básica. La reserva de la cuenca se agota al final de la estación seca y durante este tiempo se puede indicar la descarga por la descarga del mes anterior y el coeficiente de agotamiento, según la fórmula:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-at}$$

Donde:

- Q_t : Descarga en el tiempo t
- Q_0 : Descarga inicial
- a : Coeficiente de agotamiento
- t : Tiempo

Al principio de la estación lluviosa el proceso de agotamiento de la reserva termina y parte de las lluvias más abundantes entra en los almacenes hídricos. El proceso de abastecimiento se muestra por un déficit entre la precipitación efectiva y el caudal real.

Analizando los hidrogramas de la contribución de la retención a los caudales, se constata que el abastecimiento es más fuerte al principio de la estación lluviosa y cuando los almacenes naturales (lagunas, pantanos, nevados y acuíferos) ya están recargados parcialmente, la restitución acaba poco a poco.

4.2.4.2. Coeficiente de agotamiento.

Aplicando la fórmula de relación entre descargas y retención $Q_t = Q_0 \cdot e^{-at}$, se puede calcular el coeficiente de agotamiento “a” sobre la base de los datos hidrométricos. Se constata que el coeficiente “a” no es constante durante toda la estación seca sino que disminuye poco a poco.

El valor “a” inicial es hasta dos veces más grande que “a” final en los ríos de la sierra peruana analizados, esto se debe a que los almacenes hídricos se agotan más rápido.

- El deshielo de nevados temporales tiene un valor “a” importante que disminuye con su agotamiento progresivo.
- La contribución de los acuíferos es muy equilibrada y gana importancia después del agotamiento parcial de otros almacenes.

Estos fenómenos no son decisivos y puede despreciarse la variación del coeficiente “a” durante la estación seca, empleándose un valor promedio del coeficiente.

El análisis de las observaciones muestran influencia del área de la cuenca, clima, geología y cobertura vegetal como se muestra en la siguiente formula empírica:

$$a = 3.1249E67AR^{-0.1144} \cdot ETP^{-19.336} \cdot T^{-3.369} \cdot R^{-1.429}$$

Según la clase de cuenca, se determinará el valor del coeficiente “a”:

- Agotamiento muy rápido por $T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$ y retención reducida (50 mm/año) hasta retención mediana (80 mm/año).

$$a = -0.0025\text{Ln}AR + 0.034$$

- Agotamiento rápido por la retención entre 50 y 80 mm/año y vegetación poco desarrollada (Puna).

$$a = -0.00252\text{Ln}AR + 0.030$$

- Agotamiento mediano por retención mediana (alrededor de 80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)

$$a = -0.00252\text{Ln}AR + 0.026$$

- Agotamiento reducido por la alta retención (arriba de 100 mm/año) y vegetación mezclada.

$$a = -0.00252\text{Ln}AR + 0.023$$

Donde:

- a : Coeficiente de agotamiento por día
- AR : Área de la cuenca (km^2)
- ETP : Evapotranspiración potencial anual (mm/año)

- T : Duración de la temporada seca (días)
- R : Retención total de la cuenca (mm/año)

4.2.4.3. Almacenamiento hídrico.

Entre los almacenes naturales que producen el efecto de la retención en la cuenca, se puede distinguir 3 tipos con mayor importancia:

• *Acuíferos:*

$$L_A = -750(I) + 315 \quad (\text{mm/año})$$

Siendo:

- L_A : Lamina específica de acuíferos
- I : Pendiente de desagüe: $I \leq 15\%$

• *Lagunas y pantanos:*

$$L_L = 500 \quad (\text{mm/año})$$

Siendo: L_L : Lamina específica de lagunas y pantanos

• *Nevados:*

$$L_N = 500 \quad (\text{mm/año})$$

Siendo: L_N : Lamina específica de nevados

El almacenamiento se expresa en mm sobre toda la cuenca. Para calcular la retención de la cuenca se mide la extensión de los almacenes hídricos y su área se multiplica por la lámina de agua respectiva, según la tabla 9.

TIPO	LAMINA ACUMULADA mm/año		
Napa freática	Pendiente de la cuenca		
	2%	8%	15%
	300	25	200
Lagunas y pantanos	500		
Nevados	500		

Tabla 10. Coeficientes anuales y mensuales para el cálculo de la contribución de la retención.
Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERIS II, 1980.

La suma de los volúmenes se transforma a una lámina de agua sobre toda la cuenca. El resultado indica la retención R total de la cuenca para el año promedio en ($mm/año$) que por definición es igual al gasto total en la estación seca e igual al abastecimiento durante la estación lluviosa.

4.2.4.4. Gasto de la retención.

La contribución mensual de la retención durante la estación seca se puede determinar experimentalmente en base a datos históricos de la cuenca en estudio, a través de la siguiente formula:

$$G_i = \left(\frac{b_i}{\sum_{i=1}^m b_i} \right) R$$

Donde:

- b_i : Relación entre el caudal del mes actual y anterior (coeficiente del gasto de retención).
- $\sum_{i=1}^m b_i$: Sumatoria de la relación entre el caudal del mes i y el caudal inicial
- G_i : Gasto mensual de la retención (mm/mes)
- R : Retención de la cuenca (mm/mes)

El coeficiente del gasto de la retención (b_i) se calcula:

$$b_i = e^{-at}$$

Donde:

- a : Coeficiente de agotamiento.
- t : Se cuenta el mes por 30 días, es acumulativo para los meses siguientes.

4.2.4.5. Restitución.

Se utiliza como referencia los coeficientes de abastecimiento determinados en las cuencas de referencia del siguiente cuadro, proporcionado por el Plan Meris II, para estimar la cuota del almacenamiento mensual en la zona de interés:

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

Tabla 11. Almacenamiento hídrico durante la época de lluvias (valores -a %).
Fuente: Generación de caudales mensuales en la sierra peruana MERIS II, 1980.

4.2.4.6. Abastecimiento de la retención.

Es el volumen de agua que retiene la cuenca durante la época de lluvias, almacenado naturalmente en acuíferos, lagunas, pantanos, nevados para luego alimentar ríos. El abastecimiento durante la estación lluviosa es uniforme para cuencas ubicadas en la misma región climática.

La lámina de agua A_i que entra en la reserva de la cuenca se muestra en forma de déficit mensual de la PE_i , se calcula usando la siguiente fórmula:

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

Siendo:

- A_i : Abastecimiento mensual déficit de la precipitación efectiva (mm/mes).
- a_i : Coeficiente de abastecimiento (%).
- R : Retención de la cuenca ($mm/año$).

4.2.5. Caudal mensual promedio.

La lámina de agua que corresponde al caudal mensual para el año promedio se calcula según la ecuación del balance hídrico, a partir de los componentes descritos anteriormente:

$$CM_i = PE_i + G_i - A_i$$

Donde:

- CM_i : Caudal del mes i (mm/mes).
- PE_i : Precipitación efectiva del mes i (mm/mes).
- G_i : Gasto de la retención del mes i (mm/mes).

- A_i : Abastecimiento de la retención del mes i (mm/mes).

4.2.6. Generación de caudales mensuales para periodos extendidos.

El modelo hidrológico presentado anteriormente permite determinar los caudales mensuales del año promedio con una precisión satisfactoria.

Para determinar, además de los promedios, otros parámetros estadísticos, sobre todo la desviación tipo que se necesita para el cálculo de caudales sobre un nivel de probabilidad predeterminado, se requiere generar datos para un periodo extendido. Un método apropiado para la generación de caudales consiste en una combinación de un proceso markoviano de primer orden. La siguiente ecuación presenta una variable de impulso

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

Para la presente investigación dicha variable de impulso es la precipitación efectiva:

$$Q = g(PE_t)$$

Para aumentar el rango de los valores generados y obtener una aproximación óptima a la realidad, se utiliza también una variable aleatoria.

$$Z = z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

La ecuación integral para la generación de caudales mensuales combinando los componentes anteriormente citados, se escribe:

$$Q_t = B1 + B2 + Q_{t-1} + B3 + PE_t + z * S * (1 - r^2)^{0.5}$$

Donde:

- Q_t : Caudal del mes t
- Q_{t-1} : Caudal del mes anterior
- PE_t : Precipitación efectiva del mes t
- $B1$: Factor constante = caudal básico

Los parámetros $B1, B2, B3, r$ y S se calculan sobre la base de los resultados obtenidos del modelo para el año promedio, se hace un cálculo de regresión con Q_t como valor dependiente, mientras que Q_{t-1} y PE_t Como valores independientes.

También se necesita la generación de números aleatorios normalmente distribuidos con media 0 y desviación estándar igual a 1.

4.2.7. Test estadístico.

La calidad de la coincidencia de los caudales generados con los observados, se lleva a cabo mediante comparación de los promedios y desviación tipo de ambos valores.

Para probar que los promedios salen de la misma población, es decir son iguales mediante el test de Student (prueba t), se debe calcular el valor de la prueba t para cada mes.

$$\hat{t} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left(\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}\right)^{0.5}}$$

Donde:

- $\hat{t}$: Valor de prueba
- $\bar{x}_1$: Promedio del grupo 1, caudales registrados
- $\bar{x}_2$: Promedio del grupo 2, caudales generados
- S_1 : Desviación tipo del grupo 1
- S_2 : Desviación tipo del grupo 2
- n : Grado de libertad (número de valores disminuido en 1)

Se compara el valor $\hat{t}$ con el valor límite $t_{p,n}$ que indica el límite superior que, con una probabilidad de error del P%, permite decir que ambos promedios pertenecen a la misma población.

Para compara las desviaciones tipo se calcula el valor de $\hat{F}$, del test de Fisher y se compara con el valor limite $F_{p/2(\%), (n_1, n_2)}$.

$$\hat{F} = \frac{S_1^2}{S_2^2} > 1$$

4.3. MODELO SWAT

SWAT son las siglas en inglés para “Soil & Water Assessment Tool” (Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua) para una cuenca hidrográfica; el modelo a escala fue desarrollado por el Dr. Jeff Arnold para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (United States Department of Agriculture). SWAT fue desarrollado para predecir y cuantificar el impacto de las prácticas del manejo del suelo en la generación de agua, sedimentos y producción de sustancias agrícolas, químicas, en cuencas grandes y complejas con variedad de suelos, uso de tierra y condiciones de manejo sobre un tiempo prolongado.

SWAT es un modelo continuo de tiempo, es decir, está conformado a largo plazo, que no está diseñado para simular un acontecimiento único de flujo detallado. El programa requiere información específica sobre el clima y tiempo, propiedades de suelos, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra en las cuencas como datos de entrada. SWAT modela directamente los procesos físicos asociados con el movimiento del agua, movimiento de sedimentos, desarrollo de cosecha, ciclo de nutrientes, etc.

Beneficios de SWAT

- Utiliza la interface gráfica ArcGIS, la cual hace más sencillo su manejo y utilización.
- El impacto relativo de una variación en los datos de entrada (por ejemplo; cambios en prácticas de gestión, clima, vegetación, etc.)
- Es un método ágil de extrapolación e integración de la información.
- Simulación dirigida.
- Disponibilidad inmediata de datos de entrada y salida.
- Amplio proceso de iteraciones de procesos físicos.

4.3.1. Desarrollo de SWAT.

SWAT integra características de varios modelos de ARS (Agricultural Research Service) y es una consecuencia directa del modelo SWRRB1 (Simulador para Recursos de Agua en Cuencas Hidrográficas Rurales). Los modelos específicos que contribuyeron significativamente al desarrollo del SWAT fueron CREAMS2 (Sustancias Químicas, Escorrentías, y la Erosión de Sistemas de Gestión Agrícola), y EPIC4 (Calculadora del Impacto de la Erosión-Productividad)

SWRRB comenzó su desarrollo con una modificación del modelo diario de la hidrología de lluvia de CREAMS. Los mayores cambios en CREAMS fueron: a) el modelo fue ampliado para permitir cálculos simultáneos en varias sub-cuencas para predecir la producción de agua en cuencas; b) se agregaron componentes de flujo de retorno (agua subterránea); c) se agregó un componente de almacenamiento de depósito para calcular el efecto de estanques y depósitos en la producción de agua y sedimento; d) para facilitar simulaciones a largo plazo y proporcionar clima representativo de forma temporal y espacial fue agregado un modelo de simulación de tiempo que integra los datos para lluvia, radiación solar, y temperatura; e) el método para predecir promedios máximos de escorrentía fue mejorado; f) el modelo EPIC de desarrollo de cosechas fue agregado para justificar la variación anual en el crecimiento; g) se agregó un componente de enrutamiento del flujo; h) se agregaron componentes de transporte de sedimento para simular movimiento de sedimento a través de estanques, depósitos, corrientes, y valles; y i) se integró el cálculo de transmisión de pérdidas.

Se podía utilizar fácilmente el SWRRB para cuencas de hasta unos escasos cientos de kilómetros cuadrados en tamaño, se buscaba simular el flujo de corriente para las cuencas que se extendían a más de miles de kilómetros cuadrados. Para un área así de extensa las cuencas bajo el estudio debían dividirse en cientos de sub-cuencas. La división de sub-cuencas en el SWRRB era limitada a diez sub-cuencas y el modelo dirigía el agua y sedimentos hasta fuera de la sub-cuenca directamente a la salida de la cuenca. Estas limitaciones llevaron al desarrollo de un modelo llamado ROTO, que tomó las salidas de múltiples recorridos de SWRRB y redirigió los flujos por canales y reservas (depósitos).

ROTO proporcionó un enfoque que venció la limitación de sub-cuenca de SWRRB “uniendo” múltiples recorridos SWRRB juntos. Sin embargo, la entrada y salida de múltiples archivos de SWRRB requería un almacenamiento considerable de información computarizada. Además, todos los recorridos de SWRRB debían ser hechos independientemente y luego ingresarlos al roto para el enrutamiento al canal y depósito. Fue así que SWRRB y ROTO fueron fusionados en un solo modelo, el SWAT. Que permite simulaciones de áreas muy extensas y retiene todas las características que hicieron de SWRRB un modelo tan valioso.

SWAT fue creado a principios de los años noventa, y desde entonces ha experimentado revisión y expansión continua de sus capacidades. Las interfaces para el modelo han sido

desarrolladas en Windows, GRASS, ArcView y ArcGIS. SWAT también ha experimentado una validación de extensión de aplicaciones e implementación del modelo a nivel mundial.

4.3.2. Descripción general de SWAT.

Como ya se ha expuesto, SWAT permite varios procesos físicos diferentes para ser simulados en una cuenca hidrográfica.

Para propósitos de la simulación, la cuenca hidrográfica debe ser dividida en un número de sub vertientes o sub-cuencas. El uso de sub-vertientes en la misma simulación es muy útil, particularmente, cuando hay diversas áreas de la misma cuenca, que se ven afectadas por el uso de suelos o suelos bastante desiguales de tal forma, que impactan grandemente la hidrología del sector. Al dividir la cuenca hidrográfica en sub-cuencas, el usuario puede referirse a diversas áreas de la vertiente de acuerdo al espacio. La información de entrada para cada sub-vertiente es agrupada y organizada en: clima; unidades de respuesta hidrológicas o HRUs; estanques/humedales; agua subterránea, canal principal y drenado de sub-cuenca. Las unidades de respuesta hidrológicas son áreas de tierra dentro de la sub-cuenca que corresponden a todas las combinaciones únicas posibles de cobertura de tierra, suelo, y pendiente en la cuenca. La simulación hidrológica de la cuenca puede ser separada en dos divisiones mayores.

La primera es la Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico, esta fase regula la cantidad de agua, sedimentos, cargas de alimento nutritivo y de pesticida al canal principal en cada sub-cuenca. La segunda división es la Fase de Enrutamiento del Ciclo Hidrológico, la cual define el movimiento del agua, sedimentos, etc. A través de la red de canales de la cuenca hidrográfica hacia el vertedero.

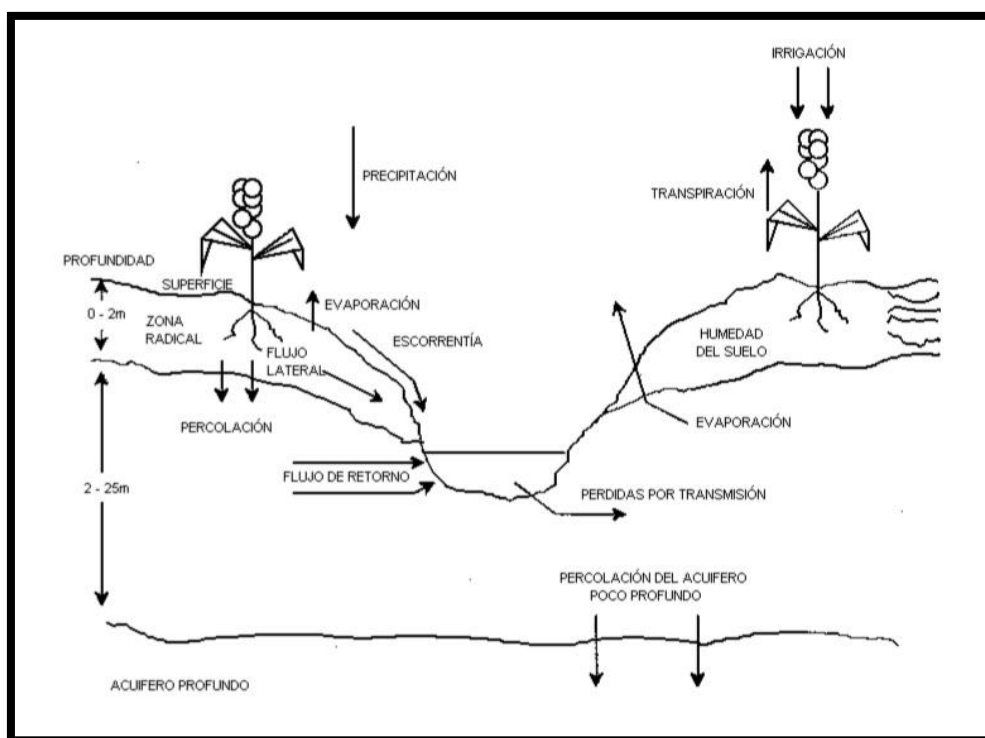


Figura 30. Representación esquemática del ciclo hidrológico en SWAT.
Fuente: Conceptos básicos y guía rápida para el usuario, SWAT 2005

4.3.2.1. Fase terrestre del ciclo hidrológico.

En SWAT el ciclo hidrológico se basa en la ecuación del equilibrio de agua:

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

Donde:

- SW_t : contenido final de agua en el suelo [mm H₂O]
- SW_0 : contenido inicial de agua del suelo en un día i [mm H₂O]
- t : tiempo [días]
- R_{day} : cantidad de precipitación en un día i [mm H₂O]
- Q_{surf} : cantidad de escorrentía de la superficie en un día i [mm H₂O]
- E_a : cantidad de evapotranspiración en un día i [mm H₂O]
- W_{seep} : cantidad de agua que percola en el perfil del suelo en un día i [mmH₂O]
- Q_{gw} : cantidad de flujo de retorno en un día i [mm H₂O]

La subdivisión de la cuenca permite al modelo reflejar las diferencias en la evapotranspiración para varios tipos de suelo y cosecha. Para cada HRU se predicen escorrentías separadamente y son dirigidas para obtener las escorrentías totales de la

cuenca. Así se asegura un mejor nivel de confiabilidad, dando una mejor descripción física del equilibrio del agua.

A continuación, se detallarán los diferentes procesos y entradas implicadas en esta fase del ciclo hidrológico.

• *Clima.*

Las entradas de humedad y energía son proporcionadas por el clima. Estas entradas controlan el equilibrio del agua y determinan la importancia relativa de los diferentes componentes del ciclo hidrológico. Las variables climáticas que SWAT necesita consisten en:

- Precipitación diaria
- Radiación solar
- Temperatura aérea máximas y mínimas
- Humedad relativa
- Velocidad del viento.

El modelo permite valorar la precipitación diaria, radiación solar, temperatura aérea máximas y mínimas, humedad relativa y velocidad del viento para ser ingresados por registros de datos observados o generados en la simulación.

• *Hidrología.*

La precipitación puede ser contenida en el dosel de la vegetación o puede caer en la superficie del suelo.

El agua contenida en la superficie del suelo, se infiltrará en el perfil de la tierra o fluirá sobre el terreno como escorrentía. La escorrentía, dependiendo de la pendiente del terreno, se mueve relativamente rápido hacia un canal de corriente y contribuye en un corto plazo a la corriente. El agua infiltrada contenida en el suelo puede ser evapotranspirada posteriormente o puede avanzar lentamente al sistema de agua-superficie a través de pasos subterráneos.

Los conductos potenciales de movimiento de agua simulados por SWAT en las HRU son ilustrados en la figura.

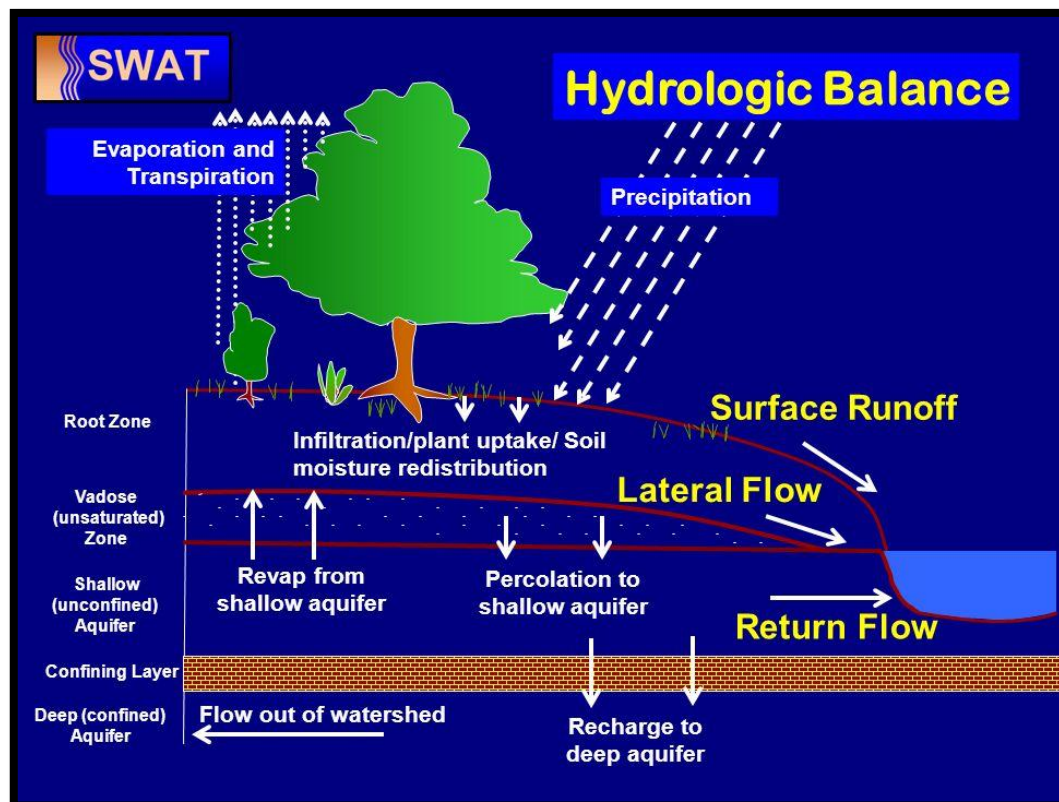


Figura 31. Representación movimientos del agua en SWAT.
Fuente: Conceptos básicos y guía rápida para el usuario, SWAT 2005

Almacenamiento de dosel

El almacenamiento de dosel es el agua interceptada por la superficie vegetativa donde se mantiene y se hace disponible para la evaporación. SWAT permite ingresar la cantidad máxima de agua que puede ser almacenada en el dosel.

Infiltración

La infiltración se entiende como la entrada de agua en un perfil de suelo de la superficie. Cuando la infiltración continúa, la tierra llega a ser cada vez más húmeda, entonces el promedio de infiltración disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante. El contenido de humedad de la tierra antes de la introducción de agua en la superficie determina la tasa inicial de infiltración. La tasa final de infiltración viene a ser la conductividad hidráulica saturada de la tierra. La cantidad de agua infiltrada se calcula como la diferencia entre la cantidad de precipitación y la cantidad de escorrentía superficial.

Redistribución

Es el movimiento continuo de agua por un perfil de tierra después de la entrada del agua (por medio de precipitación o irrigación). La redistribución es causada por diferencias en el contenido de agua en el perfil. La redistribución cesará una vez que el contenido de agua a través del perfil sea uniforme. SWAT usa un componente de redistribución que usa un almacenamiento que dirige la técnica para predecir el flujo por cada capa de tierra en la zona principal. La filtración ocurre cuando la capacidad de espacio de una capa de tierra es excedida y la capa inferior no está saturada aún. La conductividad saturada de la capa de tierra determina la tasa del flujo. La temperatura del suelo influye en la redistribución. Si la temperatura en una capa es igual o menor que 0°C , no se permite redistribución en esa capa.

Evapotranspiración

La evapotranspiración engloba todos los procesos en el que el agua en fase líquida o sólida o cerca de la superficie se convierte en vapor atmosférico. La evapotranspiración también incluye ríos y lagos, suelo descubierto y superficies vegetativas; evaporación del interior de las hojas de las plantas (transpiración); y la sublimación de superficies de hielo y nieve. El modelo calcula la evaporación de suelos y plantas separadamente (Ritchie, 1972). La evaporación real del agua en el suelo se estima usando funciones exponenciales de profundidad de suelo y contenido de agua. La transpiración de la planta se simula como una función lineal de la evapotranspiración potencial y usa el índice de área de hoja.

Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial es la proporción en la cual la evapotranspiración ocurriría en una gran área cubierta uniformemente y completamente con vegetación creciente que tiene acceso a un suministro ilimitado de agua. Dicha proporción se asume para no ser afectada por efectos micro-climáticos de procesos como el calor de almacenamiento o advección. SWAT ofrece tres opciones para estimar la evapotranspiración potencial: Hargreaves, 1985; Priestley-Taylor, 1972; y Penman-Monteith, 1965.

Flujo subterráneo lateral

Es una contribución de la corriente de flujo que se origina debajo de la superficie, pero por encima de la zona donde las piedras están saturadas. El flujo subterráneo lateral se calcula simultáneamente con redistribución. Se utiliza un modelo cinemático de almacenamiento para predecir el flujo lateral en cada capa de suelo.

Escorrentías de superficie

Las escorrentías de superficie, o flujo terrestre, es el flujo que ocurre en superficies inclinadas. Utilizando las cantidades diarias o sub-diarias de lluvia, el modelo SWAT simula volúmenes de superficie de escorrentías y promedios máximos de escorrentías para cada HRU. El cálculo se realiza mediante el método de curva numérica del SCS (Servicio de Conservación de Suelo de USDA, 1972). La curva varía no-linealmente con el contenido de humedad del suelo. La curva baja si la tierra se acerca al punto de marchitez y aumenta al acercarse al punto de saturación.

También se usa el método de Green & Ampt (1911), el cual requiere datos sub-diarios de precipitación, calculando la infiltración y la conductividad hidráulica efectiva. El agua que no se infiltra se convierte en escorrentía de superficie. También, SWAT estima escorrentías de suelo congelado (cuando la primera capa del suelo tiene menos de 0°C).

Estanques

Son estructuras de almacenamiento de agua. Un estanque intercepta escorrentías de superficie. El almacenamiento de agua del estanque es una función de la capacidad del estanque, desagües, afluencias, infiltración y evaporación. Los datos requeridos son la capacidad de almacenamiento y el área del estanque a su capacidad máxima.

Pérdidas de transmisión

Son pérdidas de flujo superficial a través de la lixiviación por el cauce. Ocurre en corrientes efímeras o intermitentes, donde la contribución del agua subterránea está presente sólo en cierto tiempo del año, o del todo en absoluto. SWAT utiliza el método de Lane (SCS, Servicio de Conservación de Suelo de USDA, 1983) para estimar la transmisión de pérdidas.

Flujo de retorno

El flujo de retorno o flujo de base, es el volumen de agua subterránea originado en la capa freática. SWAT considera el agua subterránea como dos sistemas de acuíferos: un acuífero superficial que contribuye al flujo de retorno a las corrientes dentro de la cuenca y un acuífero profundo que contribuye al flujo de retorno a las corrientes fuera de la cuenca (Arnold et Al., 1993). Además de regresar al flujo, el agua almacenada en el acuífero superficial puede abastecer nuevamente humedad en el perfil del suelo en condiciones muy secas o es absorbido por la planta.

- *Cobertura de tierra/crecimiento de planta.*

SWAT utiliza un solo modelo de crecimiento de plantas para simular toda clase de coberturas de tierra. El modelo es capaz de diferenciar entre plantas perennes y anuales.

- *Erosión.*

La producción de erosión y sedimento se estima para cada HRU con la ecuación modificada de pérdida universal de suelo (MUSLE) (William, 1975). Mientras el USLE utiliza lluvia como un indicador de energía erosiva, MUSLE utiliza la cantidad de pérdidas para simular la producción de erosión y sedimento.

La sustitución tiene como resultado varios beneficios: se incrementa la certeza de predicción del modelo, se suprime la necesidad para una proporción de entrega, y puede ser calculada en una sola tormenta de producción de sedimento. El modelo en la parte hidrológica suministra estimaciones de volumen de escorrentía y una tasa máxima de escorrentía que con el área de la sub-cuenca se utiliza para calcular la energía variable erosiva de escorrentía. El factor de manejo de cosecha se vuelve a calcular cada día en el que haya escorrentía.

- *Nutrientes.*

SWAT detecta el movimiento y la transformación de las diversas formas de nitrógeno y fósforo en las cuencas. En el suelo, la transformación de nitrógeno de una forma u otra es regida por el ciclo del nitrógeno, de la misma forma, la transformación del fósforo en el suelo es controlada por el ciclo del fósforo. Los nutrientes pueden ser introducidos a los

canales principales y transportados río abajo por escorrentía y flujo superficial o subterráneo lateral.

- *Pesticidas.*

Los pesticidas pueden ser aplicados a un HRU para estudiar el movimiento de la sustancia química en la cuenca. SWAT puede simular el movimiento de pesticidas en la red de corriente a través de la escorrentía superficial, hacia el perfil de suelo y acuífero por filtración. El movimiento del pesticida se controla por su solubilidad, degradación de media-vida y coeficiente de absorción del suelo. Esta función de SWAT tiene un enfoque agronómico.

- *Manejo.*

SWAT es un programa muy versátil, permite al usuario definir las prácticas de manejo que sucederán en cada HRU. Se pueden definir el principio y conclusión de la época de cultivo, especificando tiempo y cantidades de abono, aplicaciones de pesticida e irrigación, así como el tiempo de operación del cultivo. Adicionalmente, las operaciones como aplicaciones automatizadas de abono y agua y la incorporación de cada opción concebible de gestión para el uso del agua pueden ser simuladas. Posteriormente se incluirán mejoras puesto que el programa seguirá perfeccionándose.

4.1.1.2. Fase de enrutamiento del ciclo hidrológico.

Después de determinar las cargas de agua, sedimento, nutrientes y pesticidas hacia el canal principal, SWAT dirige las cargas por la red de corriente de la cuenca usando una estructura de orden semejante a la HYMO (William y Hann, 1972). Además de hacerle un seguimiento al flujo masivo del canal, SWAT modela la transformación de sustancias químicas en la corriente y cauce.

- *Enrutamiento en el canal principal o alcance.*

El enrutamiento en el canal principal se divide en cuatro componentes: agua, sedimento, nutrientes y sustancias químicas orgánicas.

- *Enrutamiento de flujo:* Cuando el agua fluye río abajo, hay pérdidas debido a la evaporación y transmisión por la capa del canal. Otra posible pérdida es la eliminación de agua del canal para el uso agrícola o humano. Sin embargo, el flujo

puede ser suplementado por la lluvia directamente en el canal y/o adicionado de agua de descargas del punto de la fuente. La dirección del flujo a través del canal utiliza un método variable de coeficiente de almacenamiento desarrollado por William (1969) o el método de enrutamiento de Muskingum.

- *Enrutamiento del sedimento:* La deposición y la degradación son dos procesos que operan simultáneamente controlando el transporte del sedimento hacia el canal. Se usa la fuerza de la corriente para estimar deposición/degradación en los canales, definiendo la fuerza de la corriente como el producto de la densidad del agua proporcionada del flujo y pendiente de la superficie del agua.
- *Enrutamiento de nutrientes:* El modelo rastrea nutrientes disueltos y absorbidos del sedimento. Los nutrientes disueltos son transportados en el agua, los absorbidos se depositan con el sedimento en la capa del canal.
- *Enrutamiento del pesticida al canal:* Trabaja de la misma manera que con los nutrientes, la carga total de pesticida en el canal es dividida en disueltos y componentes de sedimento-adheridos.

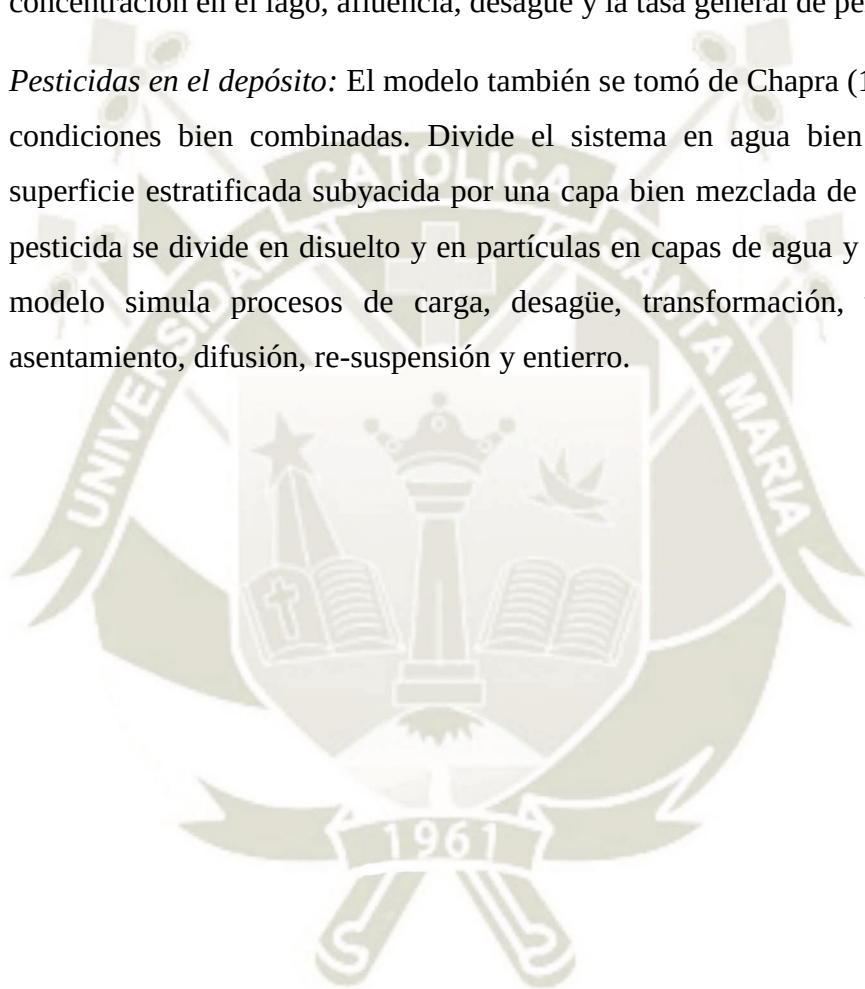
- *Enrutamiento en los depósitos/reservas*

Para los depósitos, el equilibrio del agua incluye afluencia, desagüe, lluvia superficial, evaporación, infiltración y diversidad.

- *Desagüe del depósito:* El modelo SWAT ofrece tres alternativas para estimar el desagüe del depósito. La primera permite ingresar desagüe medido. La segunda, está diseñada para depósitos pequeños sin control, requiere especificar una proporción de descarga de agua. La tercera opción, está diseñada para depósitos más grandes y controlados, requiere especificar los volúmenes mensuales para el depósito.
- *Enrutamiento del sedimento:* La concentración de sedimento en el depósito es estimada utilizando una ecuación sencilla de continuidad basada en el volumen y la concentración de afluencia, desagüe, y del agua retenida en el depósito. El asentamiento del sedimento en el depósito dependerá de la concentración de sedimento de equilibrio y la media del tamaño de la partícula del sedimento. La cantidad de sedimento en el desagüe de los depósitos es producto del volumen de

fluidez del agua fuera del depósito y la concentración suspendida del sedimento en el depósito al momento de la descarga.

- *Nutrientes en depósitos/reservas:* Se tomó un modelo de Chapra (1997). El modelo asume que el lago está completamente mezclado, que el fósforo es el alimento nutritivo restringido y que el fósforo total es una medida del estatus trófico del lago. La ecuación del equilibrio de la masa del fósforo incluye su concentración en el lago, afluencia, desagüe y la tasa general de pérdida.
- *Pesticidas en el depósito:* El modelo también se tomó de Chapra (1997) y asume condiciones bien combinadas. Divide el sistema en agua bien mezclada de superficie estratificada subyacente por una capa bien mezclada de sedimento. El pesticida se divide en disuelto y en partículas en capas de agua y sedimento. El modelo simula procesos de carga, desagüe, transformación, volatilización, asentamiento, difusión, re-suspensión y entierro.



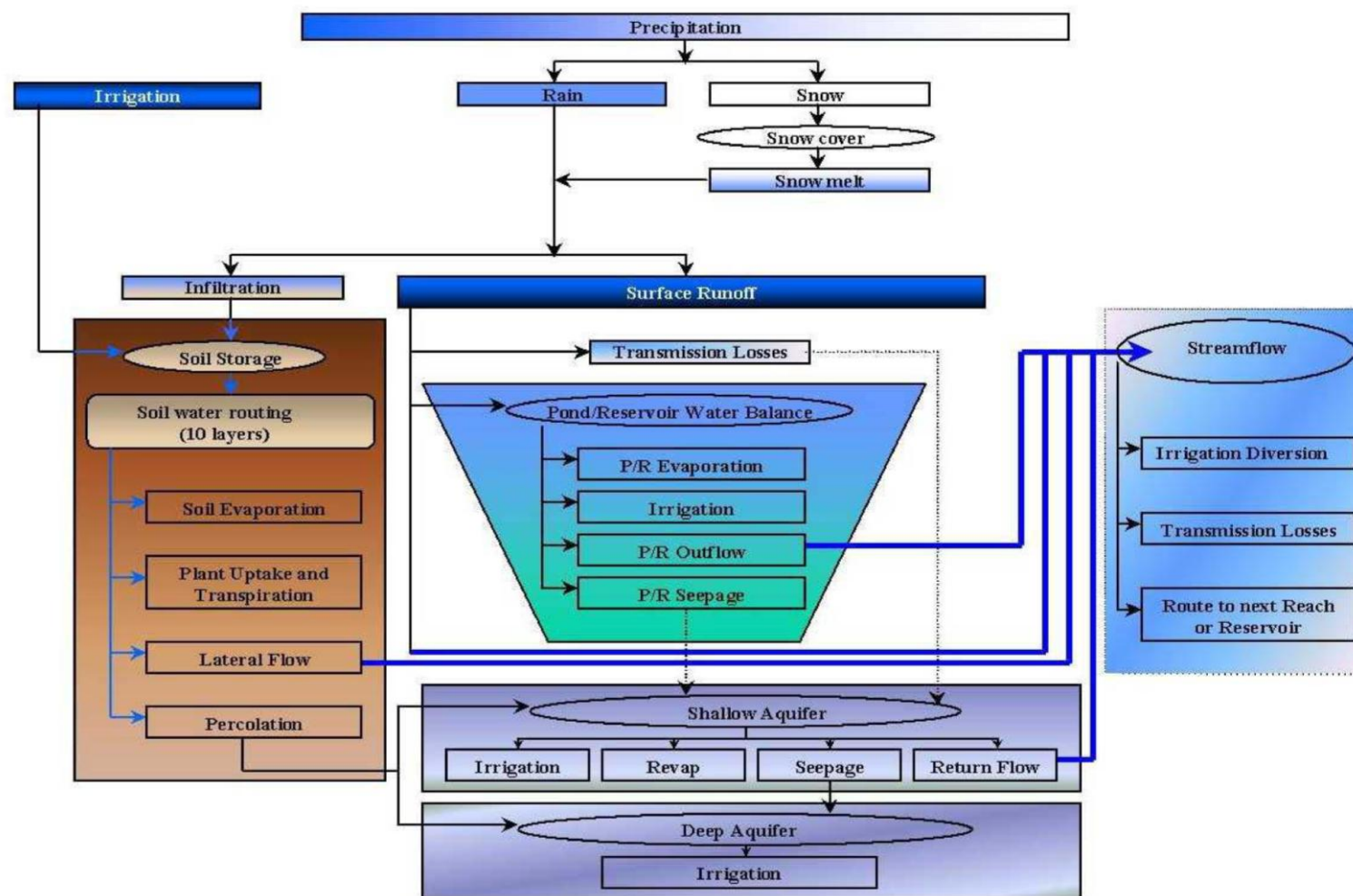


Figura 32. Esquema de ruta disponible para el movimiento de agua en SWAT.
Fuente: Obtenido de Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua, documentación teórica. SWAT, 2005

4.4. MEDIDAS DE BONDAD DE AJUSTE

La calibración de modelos usualmente se enfoca en un “criterio de exactitud”, el cual se apoya en la cuantificación de la bondad de ajuste del modelo. Para este fin, se hace uso de diferentes “medidas de bondad de ajuste”, entre las cuales podemos mencionar:

4.4.1. Coeficiente de calibración (r).

Expresa la dependencia lineal entre dos variables que, en nuestro caso, son los caudales observados y los caudales simulados. El coeficiente de correlación puede tomar valores entre $0 < r < 1$, a mayor valor de r, mejor ajuste.

El uso de esta medida de bondad de ajuste se recomienda cuando se espera una relación lineal entre las variables observadas y simuladas.

4.4.2. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E).

El criterio de Nash-Sutcliffe es uno de los más usados en Hidrología. Se define como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Mide cuánto de la variabilidad de las observaciones es explicada por la simulación. Si la simulación es perfecta, $E=1$; si se intentase ajustar las observaciones con el valor promedio, entonces $E=0$. Algunos valores sugeridos para la toma de decisiones son resumidos en la siguiente tabla.

E	AJUSTE
< 0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy bueno
> 0.8	Excelente

Tabla 12. Tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe.
Fuente: Obtenido de Molnar, 2011

CAPITULO. V. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las predicciones dependen de la calidad y la cantidad de la información y de la correcta aplicación de los métodos estadísticos disponibles. Muchos de los registros en los que se basa la meteorología aplicada son deficientes tanto en calidad como en cantidad, observándose series con falta de información, con cambios, tendencias y datos atípicos, circunstancias que tergiversan los resultados obtenidos de la modelación o simulación. Para el uso correcto de la información hidroclimatológica en la ingeniería de los recursos hídricos, ésta debe cumplir con el supuesto de estacionalidad, consistencia y homogeneidad.

Para detectar y corregir estos saltos en la información histórica debido a la inconsistencia y no homogeneidad de la subcuenca se utilizaron dos métodos para el análisis de consistencia de la información: análisis de doble masa y análisis estadístico; los cuales son explicados a continuación.

5.1. ANÁLISIS DE DOBLE MASA

Se utiliza para obtener confiabilidad de la información histórica. Sin embargo, no se utiliza para la corrección de los errores en la consistencia pero es el punto de partida para el desarrollo del análisis estadístico.

Consiste en graficar los valores acumulados de una cantidad contra los valores acumulados de otra cantidad durante el mismo periodo, la gráfica debe ser una línea recta, dependiendo su continuidad de la constancia de la proporcionalidad entre ambas variables. (Guevara, 2015, p.98). Si es que se observa una discontinuidad en la gráfica y no se obtiene una línea recta continua; significa que la información no es constante. Por lo tanto, se puede decir que ha sufrido quiebres y la información histórica presenta periodos de información inconsistente.

5.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Después de obtener los gráficos en los diagramas de doble masa y de haber identificado los quiebres y por consiguiente los periodos “dudosos” y los periodos “confiables”, se realiza la corrección mediante el análisis estadístico de la media y la desviación estándar.

5.2.1. Consistencia de la Media.

El análisis de consistencia de la media se hace con la prueba de t de Student, (Aliaga, 1983, p. 33). Consiste en probar si los valores medios $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$ de las sub muestras son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95% o con 5% de nivel de significación, el procedimiento es el siguiente:

- Cálculo de la media $(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$ y desviación estándar $(S_1(x), S_2(x))$ para cada sub muestra (periodo dudoso y periodo confiable).
- Cálculo del t_c .

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}}$$

$\mu_1 - \mu_2 = 0$ (por hipótesis, la hipótesis es que las medias son iguales) quedando:

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_{\bar{d}}}$$

Donde:

$$S_{\bar{d}} = S_p \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{0.5}$$

$$S_p = \left(\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{0.5}$$

- $S_{\bar{d}}$: Desviación de las diferencias de los promedios
- S_p : Desviación estándar ponderada

- Cálculo del t_t .

Para el cálculo del valor crítico de t se necesita emplear la tabla t de Student (Anexo 6, apéndice 1), con una probabilidad de 95%, o con un nivel de significación del 5%, lo que quiere decir que $\alpha/2 = 0.025$ y sus grados de libertad $v = n_1 + n_2 - 2$.

- Comparación del t_c con el t_t .
 - Si $|t_c| \leq t_t$ (95%) entonces $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$

Cuando se cumple que las medias $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ son iguales estadísticamente, no es necesario realizar el proceso de corrección.

- Si $|t_c| > t_t$ (95%) entonces $\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$

Cuando se cumple que las medias $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ no son iguales estadísticamente, es necesario realizar el proceso de corrección para la información.

5.2.2. Consistencia de la desviación estándar.

La prueba de desviación estándar se hace con la prueba de F de Fisher (Aliaga, 1983, p. 35), consiste en probar si las desviaciones estándar de las sub muestras de la estación son estadísticamente iguales o diferentes, teniendo esta prueba un 95% de probabilidad o un nivel de significación de 5%. Siendo el procedimiento el siguiente:

- a) Cálculo de las varianzas ($S_1^2(x), S_2^2(x)$) de los periodos a estudiar
- b) Cálculo del F calculado (F_c) para ambos periodos:

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

- c) Cálculo del F tabular (F_t), siendo obtenido de las tablas F (Anexo , apéndice) para una probabilidad del 95% o con un nivel de significación de $\alpha/2 = 0.025$ y grados de libertad:

$$G.L.N = n_1 - 1, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$G.L.D = n_2 - 1$$

$$G.L.N = n_2 - 1, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

$$G.L.D = n_1 - 1$$

Donde:

- $G.L.N$: Grados de libertad del numerador
- $G.L.D$: Grados de libertad del denominador

d) Comparación del F_c con el F_t

- Si $F_c \leq F_t$ (95%) entonces $S_1(x) = S_2(x)$ estadísticamente
- Si $F_c > F_t$ (95%) entonces $S_1(x) \neq S_2(x)$ estadísticamente por lo que se debe corregir

5.2.3. Corrección de los datos.

$$x_i = \left(\left(\frac{x_0 - \bar{x}_1}{S_1} \right) S_2 \right) + \bar{x}_2$$

Donde:

- x_i : Valor corregido
- x_0 : Valor por corregir
- $\bar{x}_1, S_1$: Media y desviación estándar del periodo dudoso
- $\bar{x}_2, S_2$: Media y desviación estándar del periodo confiable

5.3. FUENTE DE INFORMACIÓN.

Los registros de las estaciones hidrometeorológicas seleccionadas para realizar la modelación hidrológica en la subcuenca de la represa el Pañe fueron proporcionadas por AUTODEMA y por el ANA – ALA CHILI.

5.4. CLIMATOLOGIA

En el presente apartado se analizan las variables de temperatura, evaporación y evapotranspiración potencial (ETP). Para fines del presente estudio se utilizó la información diaria de estas variables meteorológicas, proporcionada por la ANA y SENAMHI.

La explotación de algunas de las estaciones meteorológicas del SENAMHI fue cedida a la AUTODEMA, entidad encargada de la gestión del Proyecto Especial Majes-Siguas. Este es el caso de la estación climatológica de la Represa el Pañe.

o Nombre:	El Pañe
o Cuenca:	Colca - Majes - Camaná
o ALA:	Colca - Sigvas - Chivay
o Departamento:	Cusco
o Provincia:	Espinar
o Distrito:	Condoroma
o Altitud (msnm):	4707

o Entidad responsable:	AUTODEMA
o Inicio de operación:	1951
o UTM Este (m):	925695
o UTM Norte (m):	8271412

Tabla 13. Estación climática el Pañe.

Fuente: Elaborada a partir del SNIRH, ANA 2014



Figura 33. Estación meteorológica el Pañe. Instrumentos: Pluviómetro, evaporímetro y caseta.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

5.4.1. Temperatura media.

La serie de temperatura media para la subcuenca fue obtenida del estudio de evaluación de los recursos hídricos en la cuenca Camaná – Majes – Colca, realizado para las 51 subcuencas en las que se subdividió la cuenca en el estudio realizado por la ANA e INCLAM - Perú en el año 2015.

Análisis de consistencia y rellenado de series

El análisis de consistencia de las series mensuales analizadas para la estación del Pañe incluye la corrección, en caso de ser necesaria, de los meses no homogéneos (que deben coincidir con los quiebres en el Análisis de Doble Masa) en media y/o desviación típica, con el objetivo de obtener la mejor correlación mensual posible.

Con los datos obtenidos se procedió a hacer el análisis de doble masa para verificar la existencia de quiebres y/o saltos. Podemos ver en el gráfico que no hay quiebres o saltos que puedan indicar falta de consistencia en los datos.

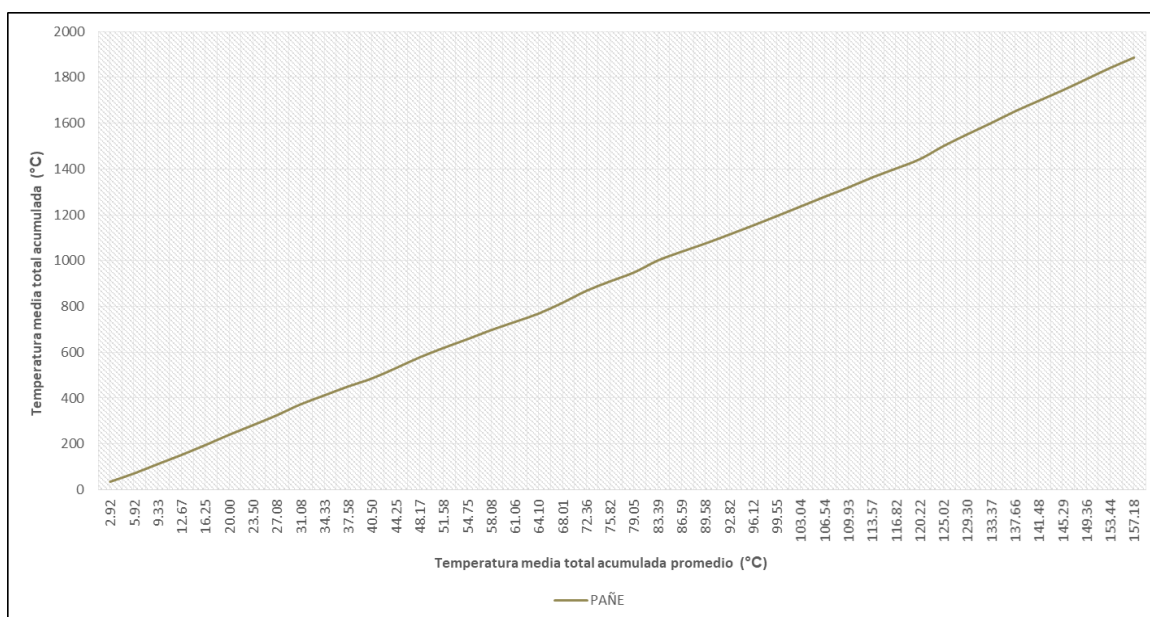


Figura 34. Análisis de doble masa temperatura media. Periodo de análisis 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

En la siguiente tabla se recoge las series de temperatura media mensual consistenciada para el periodo de estudio 1975 – 2018 en el Anexo 4, apéndice 1.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.63	4.79	4.68	4.24	3.01	1.93	1.22	1.91	2.95	4.09	4.66	4.76

Tabla 14. Temperatura media mensual multianual 1975 – 2018. Tabla elaborada por el autor, 2019

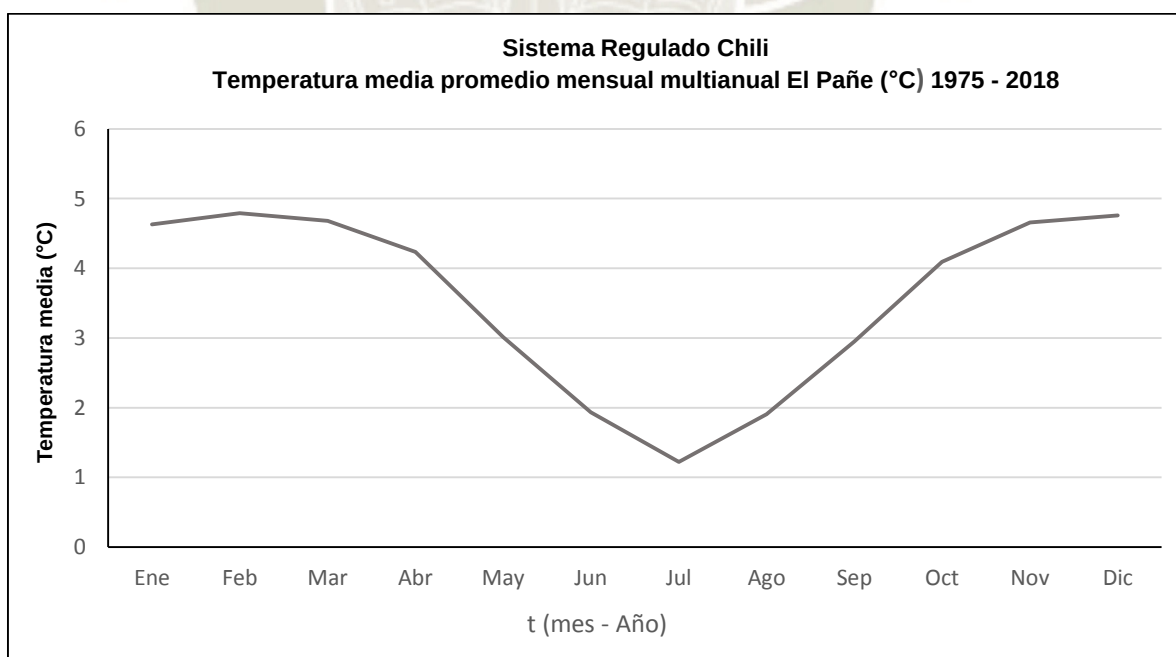


Figura 35. Variabilidad de la Temperatura media mensual promedio multianual, periodo 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.4.2. Temperatura máxima.

Análisis de consistencia y rellenado de series

El análisis de consistencia de las series mensuales analizadas para la estación del Pañe incluye la corrección, en caso de ser necesaria, de los meses no homogéneos (que deben coincidir con los quiebres en el Análisis de Doble Masa) en media y/o desviación típica, con el objetivo de obtener la mejor correlación mensual posible.

Con los datos obtenidos se procedió a hacer el análisis de doble masa para verificar la existencia de quiebres y/o saltos. Podemos ver en el gráfico que no hay quiebres o saltos que puedan indicar falta de consistencia en los datos.

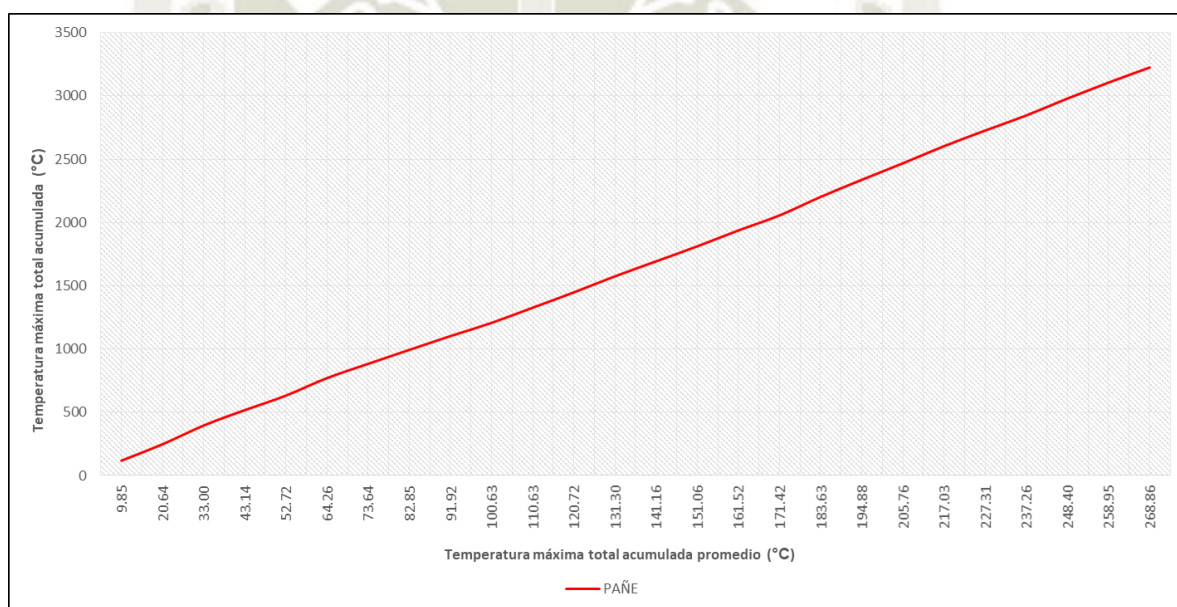


Figura 36. Análisis de doble masa temperatura máxima. Periodo de análisis 1995 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

En la siguiente tabla se recoge la variación de la temperatura máxima mensual multianual en la subcuenca El Pañe, presentándose las series de temperatura máxima mensual consistenciada para el periodo de estudio 1995 – 2018 en el Anexo 4, apéndice 2.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
9.75	9.60	9.59	9.70	9.94	9.62	9.19	10.05	11.01	11.86	12.31	11.25

Tabla 15. Temperatura máxima mensual multianual 1995 – 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

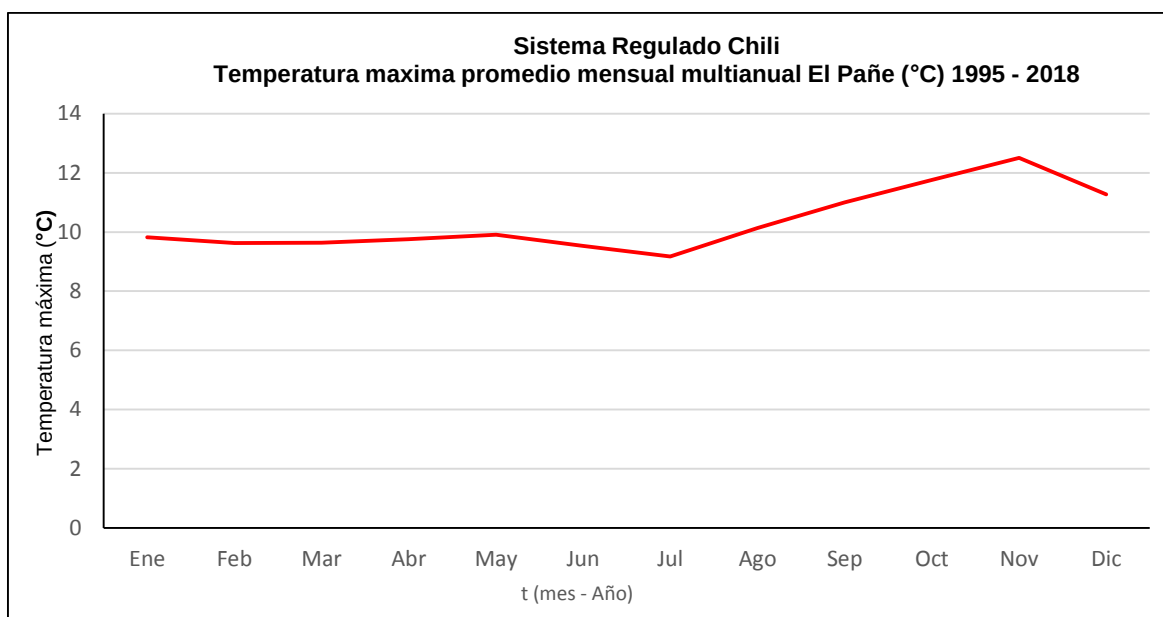


Figura 37. Variabilidad de la Temperatura máxima mensual promedio multianual, periodo 1995 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.4.3. Temperatura mínima.

Análisis de consistencia y rellenado de series

El análisis de consistencia de las series mensuales analizadas para la estación del Pañe incluye la corrección, en caso de ser necesaria, de los meses no homogéneos (que deben coincidir con los quiebres en el Análisis de Doble Masa) en media y/o desviación típica, con el objetivo de obtener la mejor correlación mensual posible.

Con los datos obtenidos se procedió a hacer el análisis de doble masa para verificar la existencia de quiebres y/o saltos. Podemos ver en el gráfico que no hay quiebres o saltos que puedan indicar falta de consistencia en los datos.

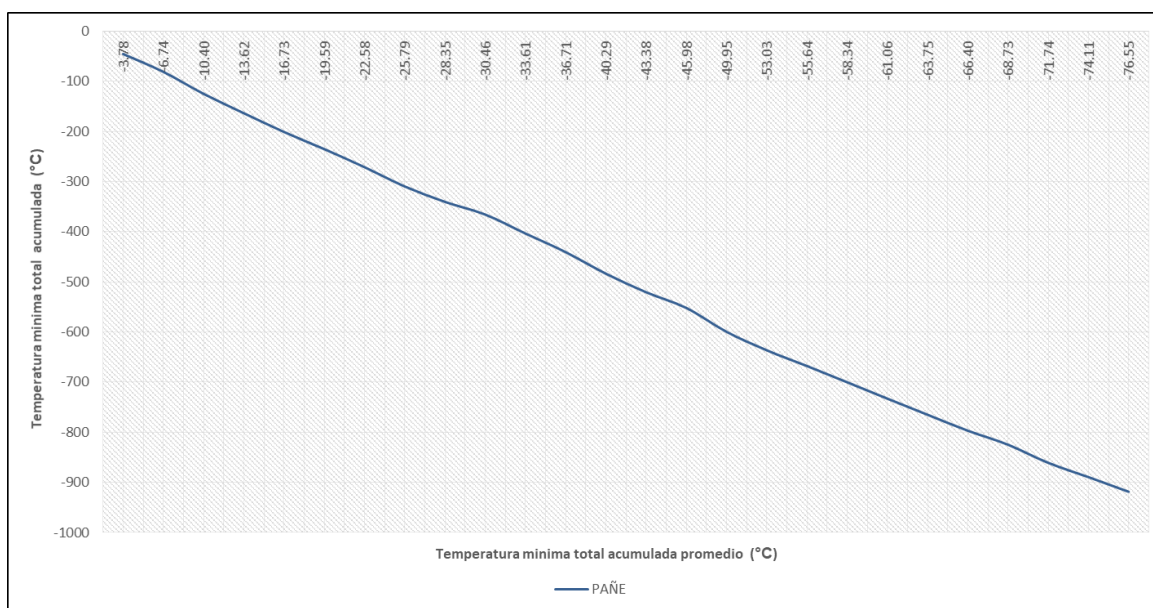


Figura 38. Análisis de doble masa temperatura mínima. Periodo de análisis 1995 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

En la siguiente tabla se recoge la variación de la temperatura mínima mensual multianual, presentándose las series de temperatura mínima mensual consistenciada para el periodo de estudio 1995 – 2018 en el Anexo 4, apéndice 3.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-0.38	0.00	-0.22	-1.30	-3.79	-5.70	-6.40	-6.06	-4.81	-3.52	-2.84	-1.50

Tabla 16. Temperatura mínima mensual multianual 1995 – 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

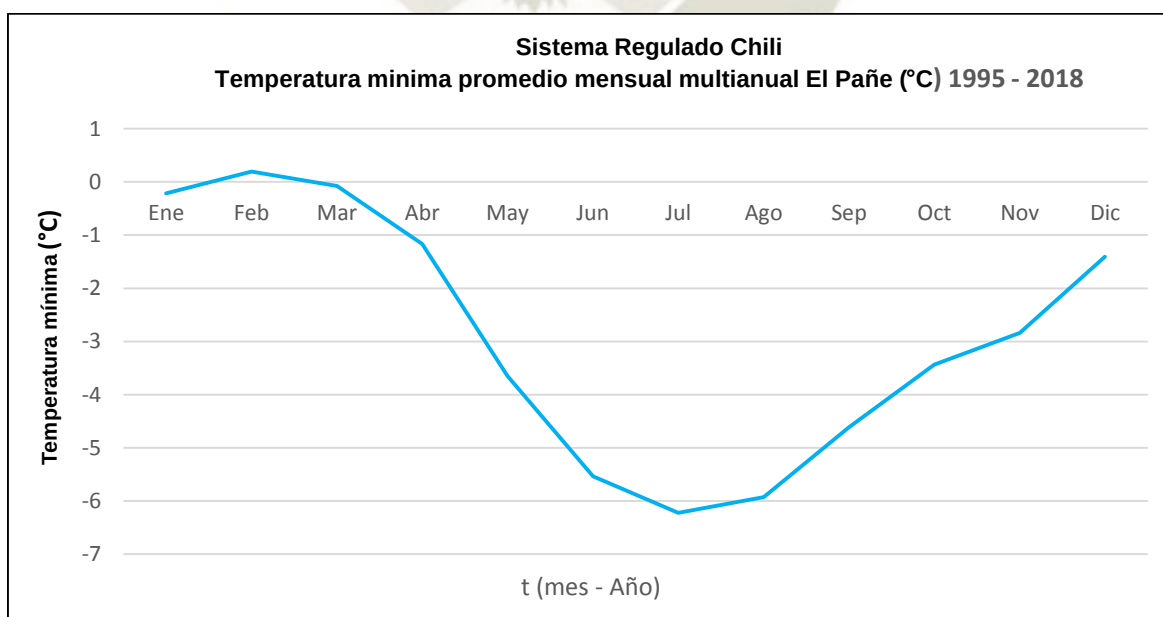


Figura 39. Variabilidad de la Temperatura mínima mensual promedio multianual, periodo 1995 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.4.4. Evaporación.

Los datos de evaporación histórica fueron facilitados por AUTODEMA de periodos variables de observación entre los años 1975 – 2018, presentándose las series de evaporación en el Anexo 1, apéndice 4.

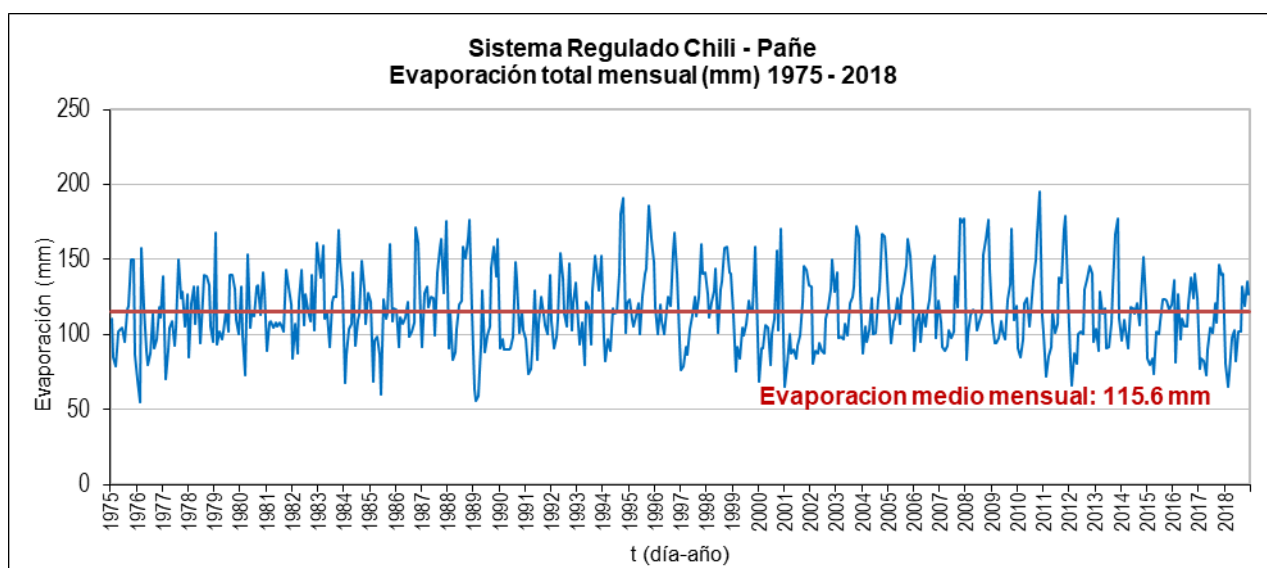


Figura 40. Evaporación mensual estación el Pañe, periodo de análisis 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

5.4.5. Evapotranspiración Potencial.

La ETP se puede calcular utilizando datos meteorológicos. Hay varias fórmulas empíricas establecidas en base a trabajos de investigación, para diferentes condiciones climáticas, entre ellas: Blaney - Criddle, Thornthwaite, Penman y Hargreaves.

Para la presente investigación se calculó la ETP haciendo uso del método de Thornthwaite.

El método de Thornthwaite se usó debido a que se cuenta con los datos mensuales de temperatura media completados y consistenciados para el periodo 1975 - 2018, mientras que solo se cuenta con datos de temperatura máxima y mínima para el periodo 1995 - 2018 y no se cuenta con datos meteorológicos como humedad relativa, velocidad del viento, etc. y que el cálculo de la evapotranspiración potencial depende sólo de la temperatura.

$$ETP = 16. \left(\frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde:

- ETP: Evapotranspiración potencial mensual sin ajustar (mm/mes)
- t: Temperatura media mensual (°C)
- I: Índice de calor anual

I será igual a la suma de los 12 valores del índice de calor mensual (*i*)

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

- a: Parámetro que se calcula en función de I, según la expresión:

$$675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49239$$

Los resultados de la evapotranspiración potencial para la subcuenca por el método de Thornthwaite se muestran en el Apéndice 6 del Anexo 4.

5.5. PLUVIOMETRÍA

5.5.1. Análisis de la información pluviométrica.

Para el análisis de la precipitación se tuvo en cuenta 14 estaciones, de la cuenca Quilca-Chili y Camaná-Majes-Colca.

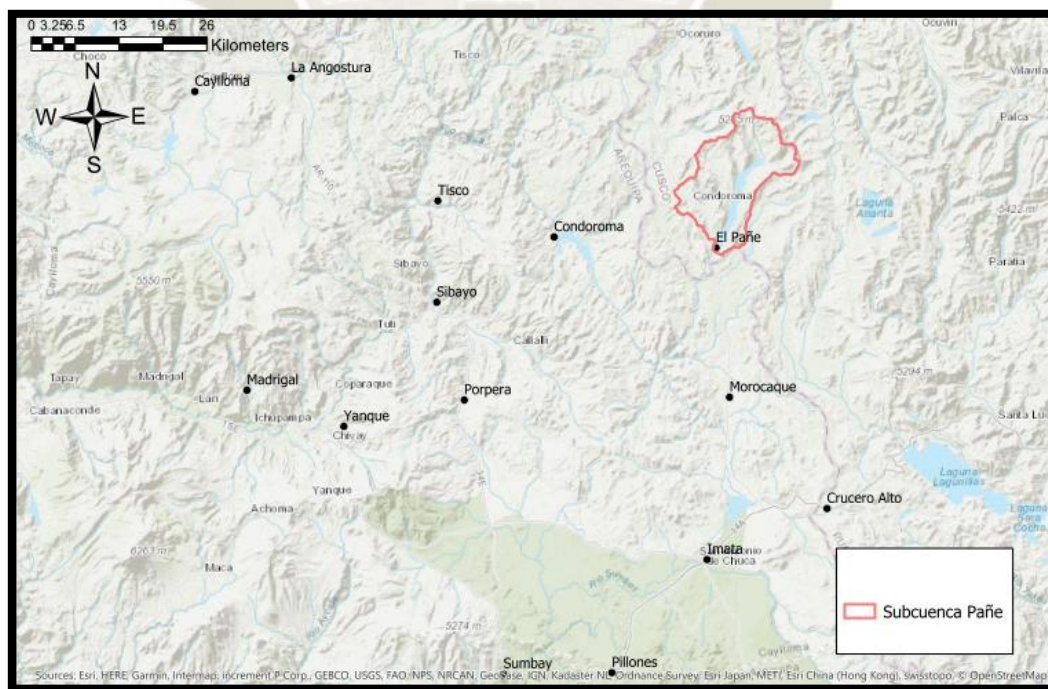


Figura 41. Estaciones pluviométricas.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

Las estaciones pluviométricas de interés son:

NOMBRE	Departamento	Provincia	Distrito	UTM X	UTM Y	ALTITUD (msnm)
El Pañe	Cusco	Espinar	Condoroma	278212.4	8294524.3	4524
Condoroma	Arequipa	Caylloma	Callalli	254214.9	8296126.6	4287
Sibayo	Arequipa	Caylloma	Sibayo	236813.3	8286463.3	3827
Tisco	Arequipa	Caylloma	Tisco	236970.6	8301472.5	4133
Porpera	Arequipa	Caylloma	Tisco	240883.7	8271994.4	4042
Madrigal	Arequipa	Caylloma	Madrigal	208674.3	8273451.3	3262
Morocaque	Arequipa	Caylloma	Callalli	280213.6	8272407.3	4450
La Angostura	Arequipa	Caylloma		215261.2	8319670.9	4220
Pillones	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	262765.1	8231644.1	4360
Sumbay	Arequipa	Caylloma		246704.1	8231467.1	4175
Imata	Arequipa	Caylloma	San Antonio de Chuca	276874.9	8248393.1	4519
Crucero Alto	Puno	Lampa	Santa Lucia	294663.7	8255940.9	4400
Caylloma	Arequipa	Caylloma	Caylloma	200948.7	8317647.4	4320
Yanque	Arequipa	Caylloma	Yanque	223048.4	8268094	3417

Tabla 17. Estaciones pluviométricas disponibles cercanas a la subcuenca.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018

Cabe resaltar que para el análisis de consistencia solo se usó las estaciones que aportan a la subcuenca, para ello se usó el programa ArcGis Pro para delimitar las áreas de influencia de cada estación y así tener certeza de que estaciones utilizar para el análisis de consistencia.

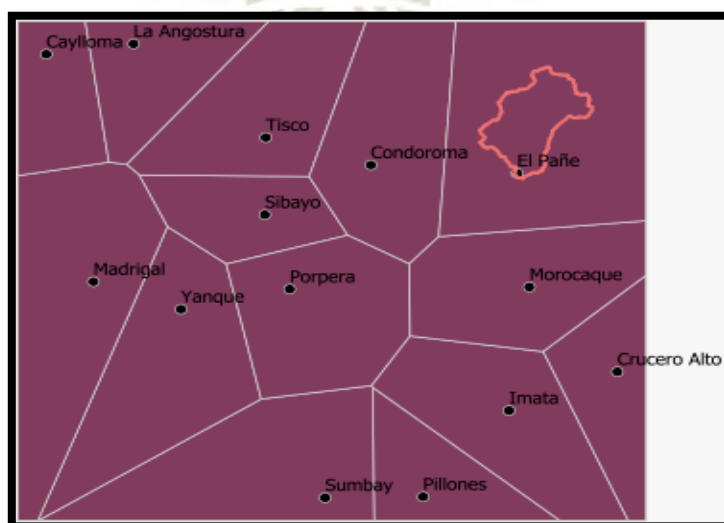


Figura 42. Esquema de las áreas de influencia de cada estación para la subcuenca de la represa el Pañe.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

Los datos de precipitación fueron brindados por AUTODEMA, se obtuvo información diaria del periodo 1995 – 2018 que será utilizada para el modelo de SWAT ya que solo admite información diaria, e información mensual del periodo 1975 – 2018 que serán los datos de entrada para los modelos de Témez y Lutz Scholz.

5.2.2. Análisis de consistencia y rellenado de series.

Se ha procedido al análisis de consistencia de las series mensuales analizadas para la estación del Pañe, ya que es la única que aporta a la subcuenca.

El análisis de consistencia incluye la corrección, en caso de ser necesario, de los meses no homogéneos (que deben coincidir con los quiebres en el Análisis de Dobles Masas) en media y/o en desviación típica, con el objetivo de obtener la mejor correlación mensual posible. Para ello, en base a los posibles quiebres, se eligieron los periodos confiables y dudosos de cada estación, efectuándose las pruebas estadísticas de “t” de Student y “F” de Fisher, respectivamente. De evidenciarse – estadísticamente - la no homogeneidad en la media y/o la desviación estándar se efectuaron las correspondientes correcciones; a continuación se repitieron las pruebas de t y F para verificar la corrección.

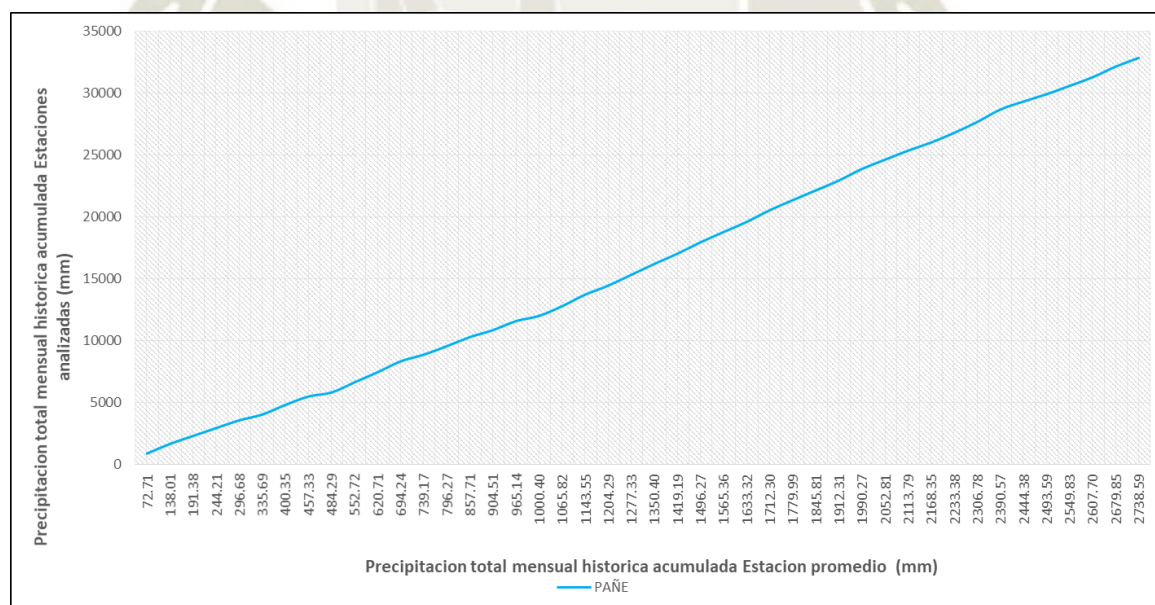


Figura 43. Análisis de doble masa precipitación. Periodo de análisis 1975 - 2018.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

El análisis de doble masa no detecta la presencia de quiebres y/o saltos en el tramo. El Apéndice 5 del Anexo 3 recoge el análisis de consistencia realizado.

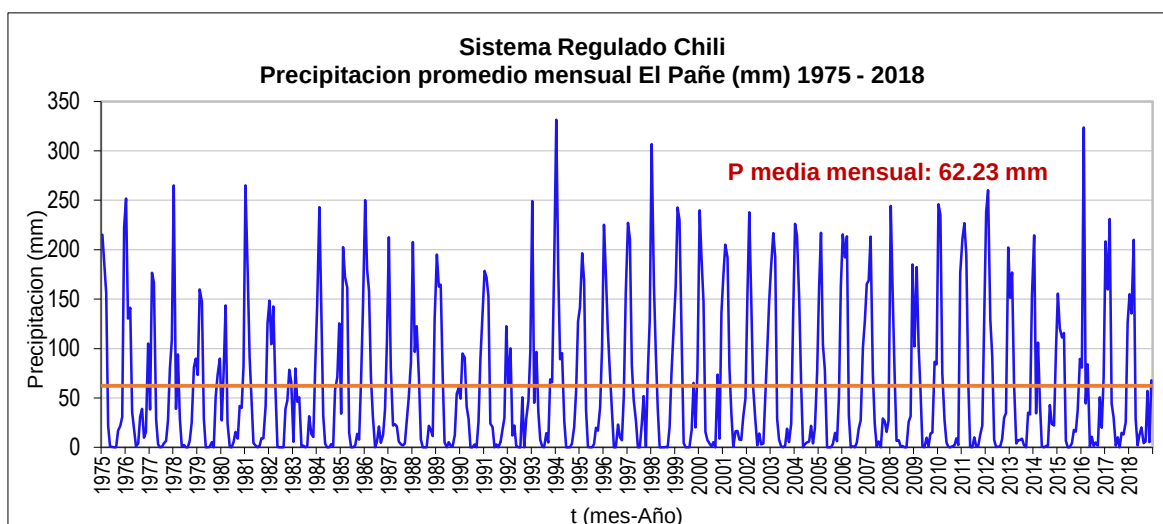


Figura 44. Precipitación promedio mensual consistenciada y completada, periodo 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
12.39	26.11	44.68	116.63	177.04	166.64	130.71	51.90	9.94	1.44	3.10	6.18

Tabla 18. Precipitación promedio mensual multianual 1975 - 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

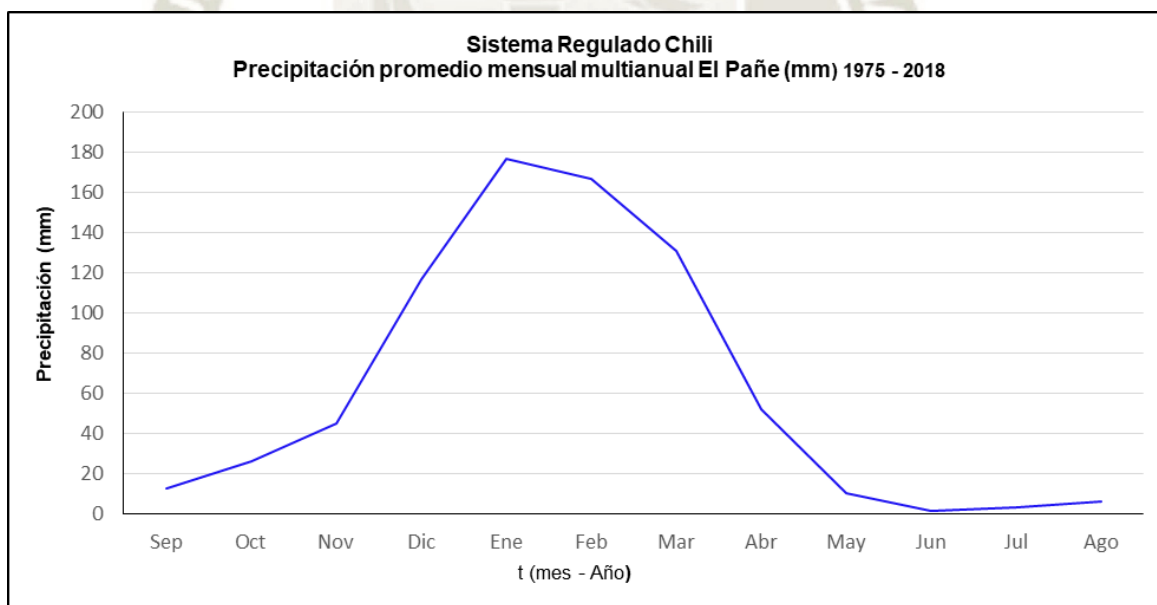


Figura 45. Variabilidad de la precipitación mensual promedio multianual, periodo 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.2.3. Precipitación areal en la cuenca.

Para el cálculo de las precipitaciones medias sobre la cuenca se utilizó el método de los polígonos de Thiessen.

Asimismo, el programa ArcGis Pro requiere información espacial de la cuenca y una tabla de Excel que contenga la ubicación de las estaciones y los datos de precipitación. Para esto se tiene que importar la cuenca y las estaciones al programa y luego convertirlas a formato shape.

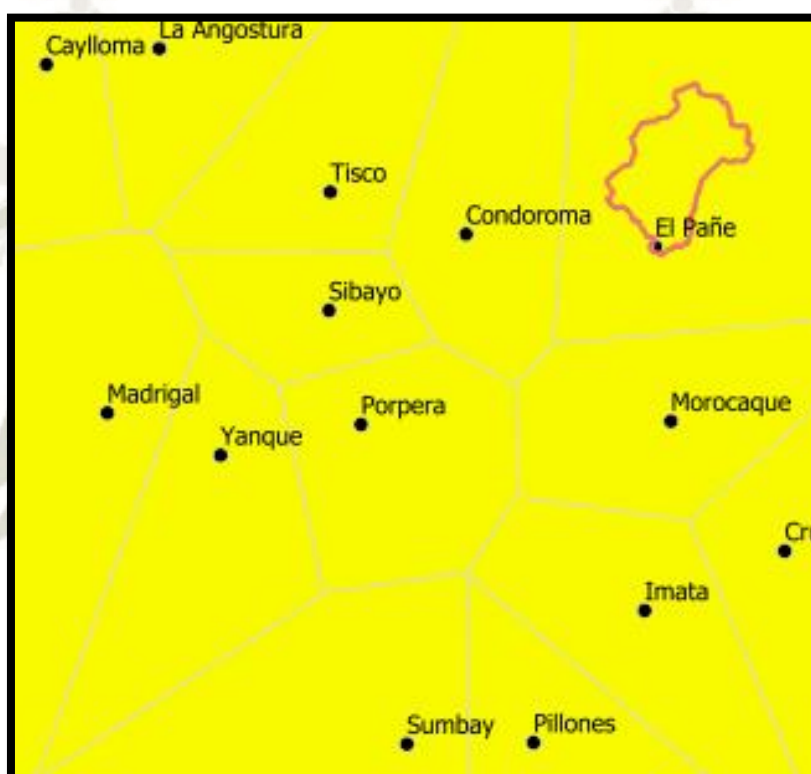


Figura 46. Polígonos de Thiessen para cada estación pluviométrica.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2018

En el Apéndice 7 del Anexo 4 se presenta la serie de precipitación media mensual generada, para el periodo 1975 – 2013, en la subcuenca de la represa el Pañe.

Nombre	Altitud media (msnm)	Precipitación promedio multianual (mm)	Estación de referencia
Sub cuenca Represa Pañe	4834	747.1	El Pañe

Tabla 19. Precipitación total multianual (mm) en la subcuenca 1975 - 2017.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018

Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
12.40	26.13	44.70	116.64	177.05	166.73	130.73	51.95	9.96	1.47	3.10	6.20

Tabla 20. Precipitación promedio multianual en la subcuenca (mm), periodo 1975 - 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

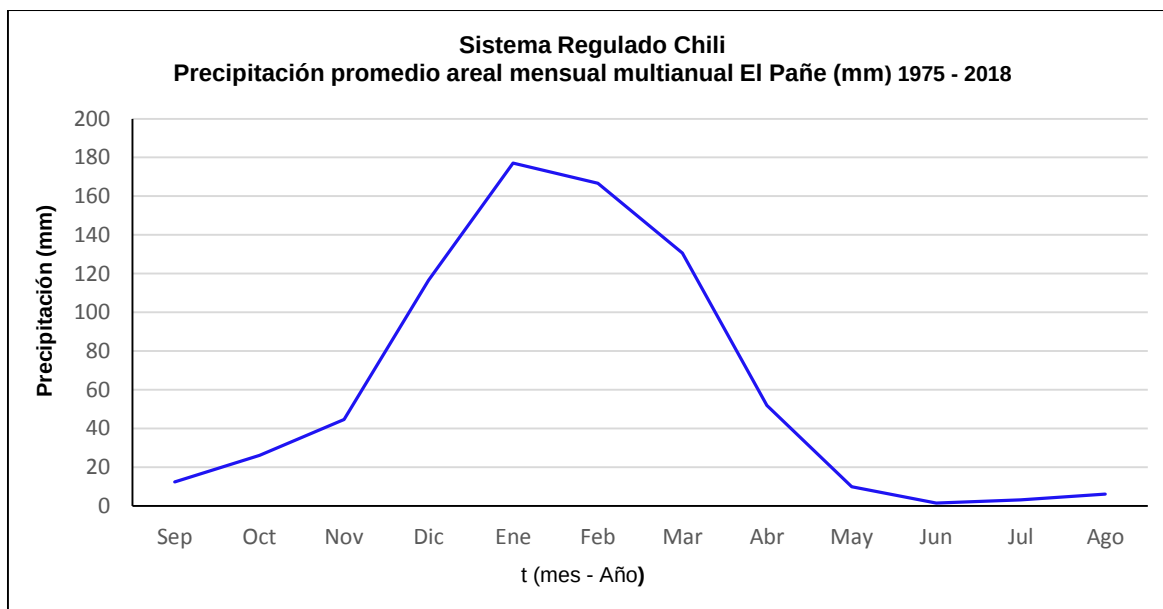


Figura 47. Variabilidad de la precipitación mensual promedio multianual en la subcuenca de la represa el Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.3. HIDROMETRÍA

La información foronómica empleada en el presente estudio ha sido proporcionada por la ANA y completada a través de diversas fuentes, como AUTODEMA y EGASA. Se dispone de información diaria para el periodo 2003-2018 e información mensual para el periodo 1975-2018.

o Nombre:	El Pañe
o Fuente:	Represa El Pañe
o Cuenca:	Colca - Majes - Camaná
o Rio/ Quebrada:	Negrillo
o ALA:	Chili
o Departamento:	Cusco
o Provincia:	Espinar
o Distrito:	Condoroma
o Altitud (msnm):	4611
o Entidad responsable:	AUTODEMA
o Inicio de operación:	1950
o Lecho:	Móvil

o Instrumentación:	Limnómetro
o Medición:	CAUDAL
o UTM Norte (m):	921802
o UTM Este (m):	8291387
o Zonificación UTM:	19
o Observaciones:	Hasta el año de 1964 medía las descargas naturales de las lagunas de Pañe. A partir de 1965, las descargas reguladas. Periodos de interrupción cortos a mediados de la década de los 70.

*Tabla 21. Estación hidrométrica salida represa el Pañe.
Fuente: Obtenida de SNIRH, ANA, 2014*

5.3.2. Caudales de salida.

Rellenado de serie

Se debió completar los periodos:

- 1975: febrero, marzo, abril, setiembre, octubre
- 1976: octubre
- 1977: marzo, junio, julio, agosto
- 1978: febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, agosto
- 1979: mayo, junio, julio, agosto
- 1980: mayo, junio, julio
- 1981: febrero, marzo, abril, mayo
- 1982: febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio
- 1983: julio, agosto, septiembre, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre
- 1984: enero, febrero, noviembre, diciembre
- 1985: marzo
- 1986: enero, febrero
- 1987: febrero, septiembre, octubre, noviembre
- 1988: febrero, marzo, septiembre
- 1989: abril
- 1990: octubre, noviembre, diciembre
- 1991: enero, febrero, marzo, abril

- 1992: mayo, octubre, noviembre, diciembre
- 1993: enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio
- 1994: febrero, marzo
- 1995: febrero, diciembre
- 1996: febrero, marzo, mayo, diciembre
- 1997: febrero, marzo, mayo
- 1998: febrero, junio, julio
- 1999: febrero, marzo, junio, julio, agosto
- Y los años 2000, 2001, 2002

Para completar estos periodos se utilizó una correlación lineal de todos los meses con información entre la estación Pañe con el registro histórico de caudal medio mensual del estudio de Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná – Majes – Colca de la ANA, basándose en una serie histórica 1975 – 2013.

- Ecuación de regresión lineal:

$$y = 0.140097 + 0.946085x$$

$$r = 0.968555$$

$$t_c = 71.68$$

$$t_t = 1.96$$

$$t_c > t_t$$

Al ser t_c mayor que t_t , significa que existe correlación entre los dos registros; por lo que se puede utilizar la fórmula de regresión lineal hallada.

- Ecuación de regresión ortogonal:

$$y = -0.0001436 + 0.9936793x$$

$$r = 0.969292$$

$$t_c = 72.57$$

$$t_t = 1.96$$

$$t_c > t_t$$

Al ser t_c mayor que t_t , significa que existe correlación entre los dos registros; por lo que se puede utilizar la fórmula de regresión ortogonal hallada.

Para el relleno de datos se utilizó la ecuación de regresión ortogonal por poseer un coeficiente de correlación mayor al de la ecuación de regresión lineal.

Luego del relleno de serie, se obtuvo la información completa para la estación, de acuerdo a esta información obtenida es que se realizó la naturalización de caudales que se desarrollará más adelante.

A continuación, se presenta el Hidrograma de caudales de salida con los datos completos para la estación.

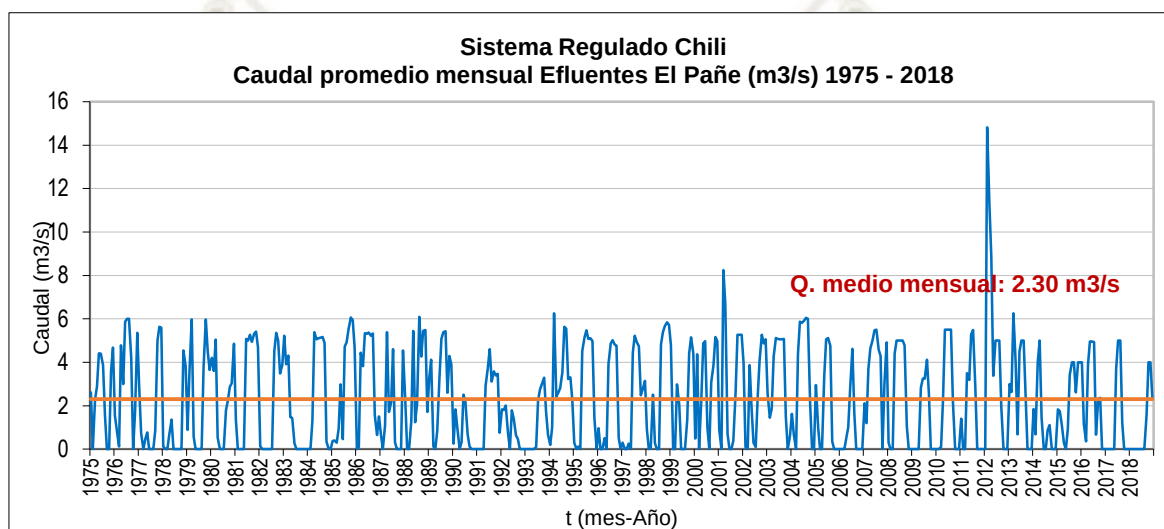


Figura 48. Hidrograma de caudal de salida mensual consistenciado y completado, estación represa salida el Pañe, periodo 1975 – 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

Esta estación mide los caudales de salida de la represa de Pañe que son derivados en su mayor parte por el canal Pañe Sumbay. El caudal medio de descargas de la represa es de 2,30 m³/s.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.41	1.17	1.62	2.19	2.27	2.85	3.21	3.22	2.97	2.28	2.25	2.21

Tabla 22. Caudal de salida promedio multianual estación salida represa el Pañe, periodo 1975 - 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

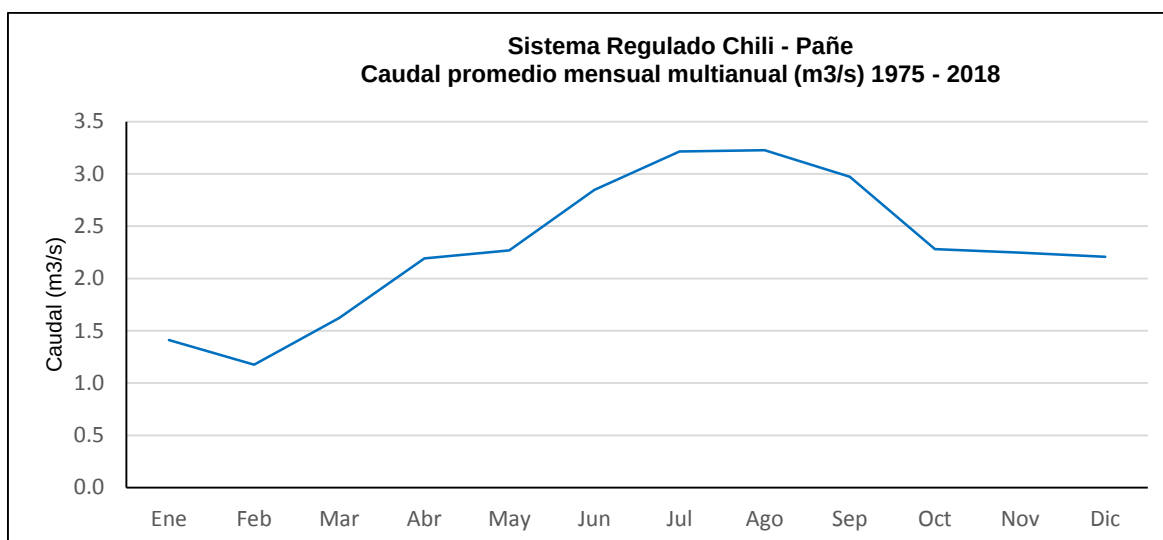


Figura 49. Variabilidad del caudal de salida promedio mensual multianual.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

5.3.3. Naturalización de caudales.

La base para cualquier modelamiento hidrológico es la suposición de que los procesos naturales son correctamente modelados, una suposición adicional es que los procesos naturales no presentan variaciones importantes en el tiempo; es decir que sus propiedades no varíen. Por ello es muy importante que los datos representen las mismas condiciones básicas.

Por eso se recomienda ajustar los datos hacia su forma no regulada ni alterada que represente las condiciones naturales del escurrimiento en la cuenca. En las cuencas donde existe regulación mediante el almacenamiento del agua en reservorios o derivación de las descargas naturales mediante captaciones, los caudales que discurren por los ríos se presentan alterados con respecto a su producción natural y a su ocurrencia. Para el análisis y evaluación de las descargas se requiere por lo tanto que en forma previa se transformen los caudales alterados a caudales naturales.

Para embalses de regulación, la naturalización de descargas puede efectuarse planteando la ecuación de continuidad de la masa hídrica para una unidad de tiempo seleccionada cualquiera.

“La diferencia de los volúmenes inicial y final del embalse, debe ser igual a la diferencia de los volúmenes de salida y entrada.”

$$V_{inicial} - V_{final} = V_{salida} + V_{evaporacion} - V_{entrada}$$

La ecuación utilizada es:

$$Q_{nat} = \frac{F_1 \cdot N_d \cdot Q_{sal} + F_2 \cdot (A_{inic} + A_{fin}) \cdot (F_t \cdot Eva - Prec) + (V_{fin} - V_{inic})}{F_1 \cdot N_d}$$

Donde:

- *Eva, Prec*: Evaporación y precipitación mensual (mm)
- *V_{fin}, V_{inic}*: Volúmenes al inicio y final de mes (m3)
- *A_{inic}, A_{fin}*: Áreas al inicio y final de mes (km2)

El área se calculó haciendo uso de la tabla COTA – AREA – VOLUMEN del embalse El Pañe, facilitada por la sub gerencia de Proyectos de AUTODEMA. (Anexo 5).

- *Q_{sal}*: Caudal de salida total (compuerta de regulación y aliviadero), (m3/seg)
- *F₁, F₂, N_d*: Factores para transformar unidades (*F₁* = 86400, *F₂* = 500 y *N_d* = número de días del mes, tomando en cuenta los años bisiestos).
- *F_t*: Coeficiente de tanque de evaporación (0.96)

La evaporación medida en el tanque se corrigió con un factor de tanque de 0.80 para el embalse Aguada Blanca y para los embalses Dique de los Españoles, El Fraile y El Pañe por efecto de congelamiento se usó $1.2 \times 0.8 = 0.96$. El factor 1.2 proviene de la investigación de INADE en evaporímetros ubicados a gran altitud.

Con los valores de la tabla 23 se hallará el caudal naturalizado para febrero del año 2000.

FECHA	Nivel de Embalse (m.s.n.m)	Volumen Útil (m3)	Área (km2)	Descarga (m3/s)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
01/02/2000	4537.120	81'520'000.00	13.172	91.10	189.50	4.37
02/02/2000	4537.230	83'020'000.00	13.216			
03/02/2000	4537.350	84'500'000.00	13.263			
04/02/2000	4537.450	85'700'000.00	13.303			
05/02/2000	4537.530	87'040'000.00	13.334			
06/02/2000	4537.590	87'680'000.00	13.582			
07/02/2000	4537.660	88'520'000.00	13.607			
08/02/2000	4537.740	89'480'000.00	13.636			
09/02/2000	4537.870	91'280'000.00	13.684			
10/02/2000	4537.990	92'920'000.00	13.731			
11/02/2000	4538.160	95'182'883.00	13.795			
12/02/2000	4538.320	97'326'195.00	13.857			
13/02/2000	4538.450	99'078'241.00	13.909			
14/02/2000	4538.560	100'575'099.00	14.030			

15/02/2000	4538.640	101'663'723.00	14.166
16/02/2000	4538.680	102'208'035.00	14.233
17/02/2000	4538.710	102'616'269.00	14.284
18/02/2000	4538.720	102'752'347.00	14.301
19/02/2000	4538.720	102'752'347.00	14.301
20/02/2000	4538.710	102'616'269.00	14.284
21/02/2000	4538.710	102'616'269.00	14.284
22/02/2000	4538.720	102'752'347.00	14.301
23/02/2000	4538.770	103'432'737.00	14.386
24/02/2000	4538.830	104'249'205.00	14.487
25/02/2000	4538.860	104'657'439.00	14.538
26/02/2000	4538.890	105'065'673.00	14.589
27/02/2000	4538.950	106'021'273.00	14.690
28/02/2000	4538.980	106'512'986.00	14.741
29/02/2000	4538.980	106'512'986.00	14.741

Tabla 23. Datos para la naturalización del caudal del mes de febrero del año 2000, datos obtenidos de AUTODEMA.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2018

$$Q_{nat} = \frac{86400 * 29 * 4.37 + 500. (13.172 + 14.741). (0.96 * 4.37 - 189.50) + (106'512'986 - 81'520'000)}{86400 * 29}$$

$$Q_{nat} = 13.78 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este procedimiento se efectuó para todos los meses del periodo 1997 - 2002, teniendo en cuenta los años bisiestos.

Para el periodo 2003 – 2018, se naturalizó los caudales a escala diaria ya que se disponía de información diaria de precipitaciones, descargas, evaporaciones, volúmenes, cotas y áreas. Nd será 1, ya que es a escala diaria.

Con los valores de la tabla 24 se calculará el caudal natural para el 01 de enero del 2003.

FECHA	Nivel de Embalse (m.s.n.m)	Volumen Útil (m3)	Área* (km2)	Descarga (m3/s)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)	Q naturalizado (m3/s)
01/01/2003	4535.59	62400000	12.461431	2.578	11.2	2.4	4.07
02/01/2003	4535.61	62640000	12.471843				

Tabla 24. Datos para la naturalización de caudal para el 01 de enero del 2003, datos obtenidos de AUTODEMA.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

$$Q_{nat} = \frac{86400 * 1 * 2.578 + 500. (12.461431 + 12.471843). (0.96 * 2.4 - 11.2) + (62640000 - 62400000)}{86400 * 1}$$

$$Q_{nat} = 4.07 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir de los caudales naturalizados diarios se obtuvieron los caudales naturalizados a escala mensual, se dispone de información de caudales naturalizados mensuales para el periodo 1997 – 2018. Los caudales naturalizados para el periodo 1975 – 1995 fueron obtenidos del “Ordenamiento del sistema de Gestión de los recursos hídricos cuenca Quilca – Chili” del Instituto Nacional de Recursos Naturales Dirección general de Agua y suelos (INRENA) del Ministerio de Agricultura, 1997; del Anexo E páginas 206 – 207.

Rellenado de serie

Se debió completar el periodo 1996.

Para completar este periodo se utilizó una correlación lineal de todos los meses con información entre los datos que se disponen con la información de caudal natural mensual del estudio de Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Camaná – Majes – Colca de la ANA, basándose en una serie histórica 1975 – 2012.

- Ecuación de regresión lineal:

$$y = 0.481270 + 0.859960x$$

$$r = 0.96812$$

$$t_c = 53.27$$

$$t_t = 1.96$$

$$t_c > t_t$$

Al ser t_c mayor que t_t , significa que existe correlación entre los dos registros; por lo que se puede utilizar la fórmula de regresión lineal hallada.

A continuación, se presenta el Hidrograma de caudales naturales con los datos completos.

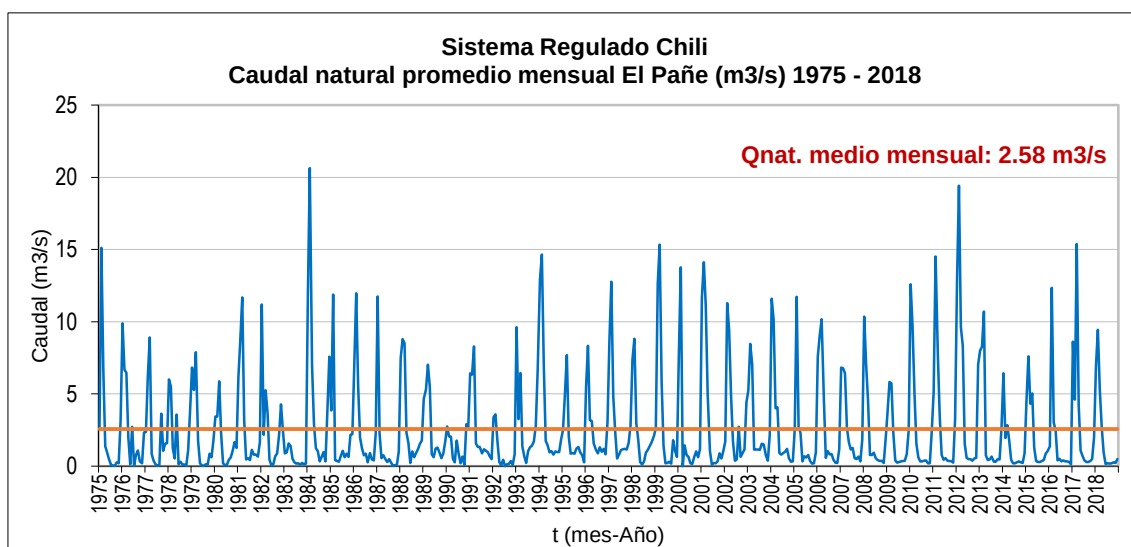


Figura 50. Hidrograma de caudal naturalizado mensual, periodo 1975 – 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
6.67	8.61	6.13	2.53	0.86	0.61	0.53	0.62	0.69	0.68	0.93	2.13

Tabla 25. Caudal natural promedio multianual, periodo 1975 - 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

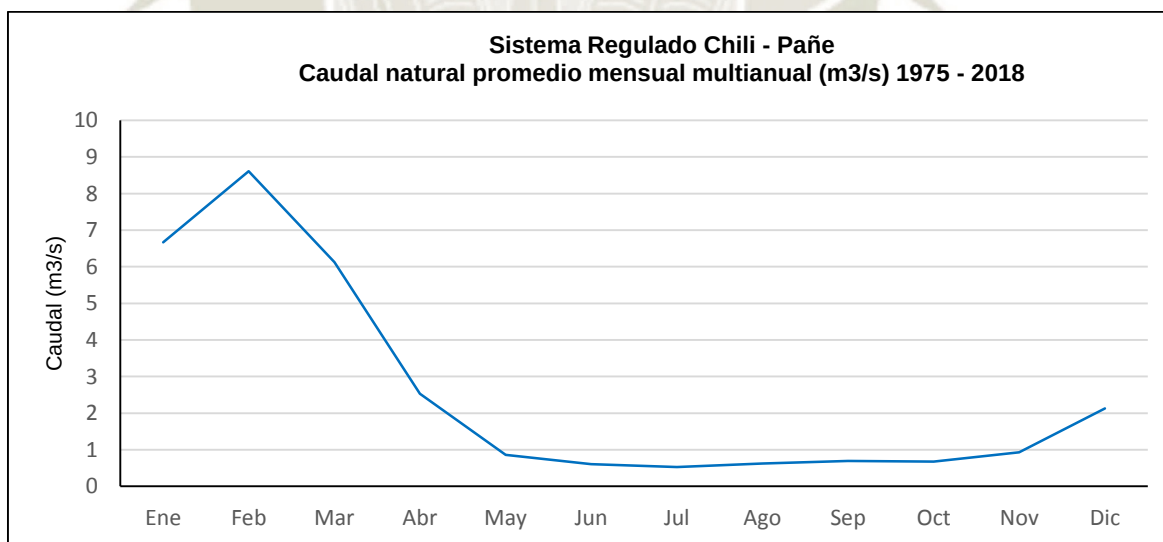


Figura 51. Variabilidad del caudal natural promedio multianual 1975 – 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

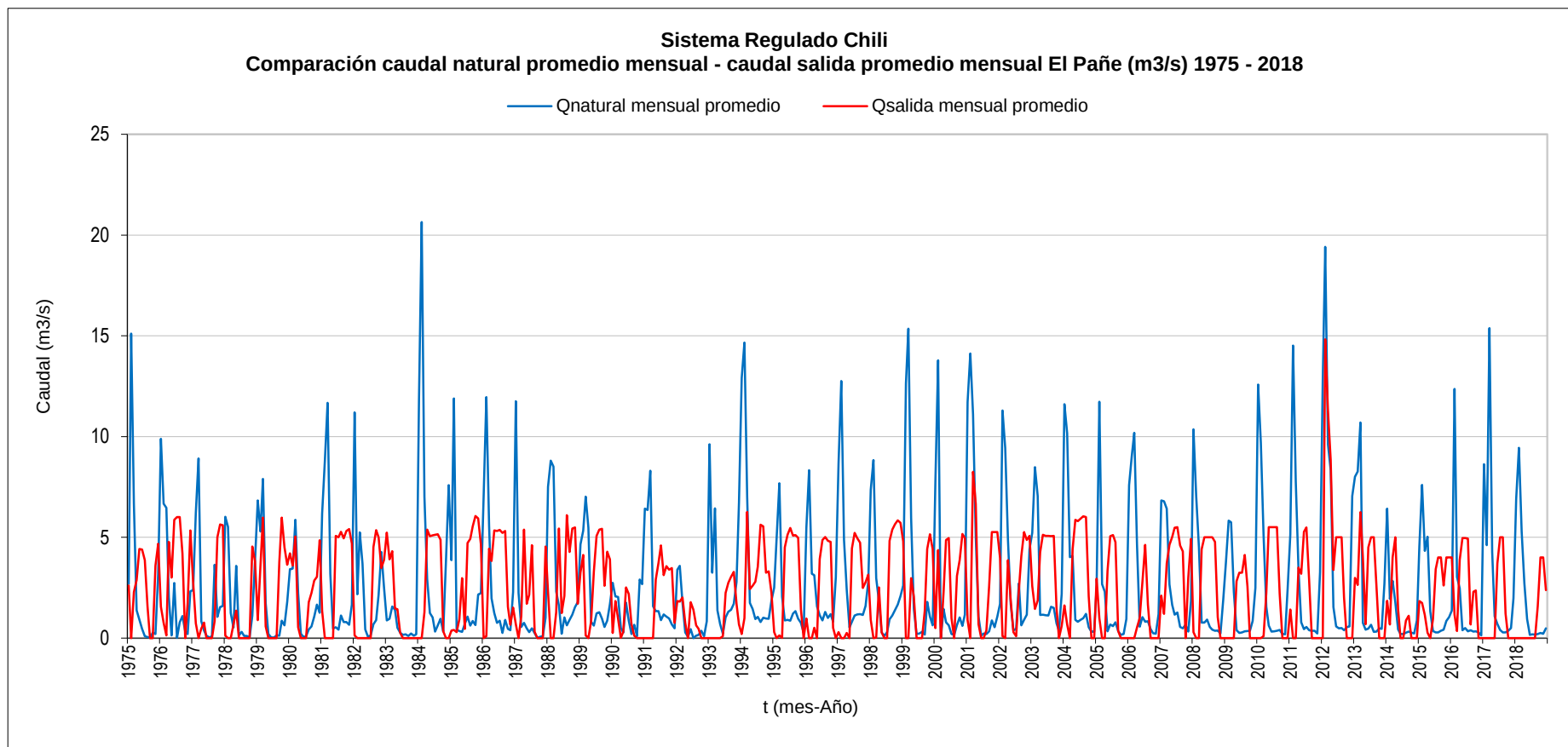


Figura 52. Hidrograma de caudales naturalizados históricos vs caudales de descarga históricos. Periodo 1975 - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

CAPITULO. VI. APLICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS EN LA SUBCUENCA DE LA REPRESA EL PAÑE

6.1. MODELO DE TÉMEZ

6.1.1. Calibración y optimización.

Para la calibración del modelo de Témez se aplicó el algoritmo genético; tomado de Mejía Medina, Gabriel Fabricio (2017). Influencia del Cambio Climático en los caudales mensuales del río Verde (tesis de Pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú; que es un algoritmo matemático que soluciona los problemas de optimización, este algoritmo genético es la versión básica entre todas las versiones de algoritmos el cual va a determinar los mejores valores que pueden tomar las 6 variables del modelo ($c, H_{m\acute{a}x}, H_o, I_{max}, \alpha, f_o$).

Los Algoritmos Genéticos usan una analogía directa con el comportamiento natural. Trabajan con una población de individuos, cada uno de los cuales representa una solución factible a un problema dado. A cada individuo se le asigna un valor o puntuación, relacionado con la bondad de dicha solución. En la naturaleza esto equivaldría al grado de efectividad de un organismo para competir por unos determinados recursos. Cuanto mayor sea la adaptación de un individuo al problema, mayor será la probabilidad de que el mismo sea seleccionado para reproducirse, cruzando su material genético con otro individuo seleccionado de igual forma. Este cruce producirá nuevos individuos – descendientes de los anteriores – los cuales comparten algunas de las características de sus padres. Cuanto menor sea la adaptación de un individuo, menor será la probabilidad de que dicho individuo sea seleccionado para la reproducción, y por tanto de que su material genético se propague en sucesivas generaciones.

De esta manera se produce una nueva población de posibles soluciones, la cual reemplaza a la anterior y verifica la interesante propiedad de que contiene una mayor proporción de buenas características en comparación con la población anterior. Así a lo largo de las generaciones las buenas características se propagan a través de la población. Favoreciendo el cruce de los individuos mejor adaptados, van siendo exploradas las áreas más prometedoras del espacio de búsqueda. Si el Algoritmo Genético ha sido bien diseñado, la población convergerá hacia una solución óptima del problema (Algoritmos

genéticos, Recuperado de:
<http://www.sc.ehu.es/ccwbayes/docencia/mmcc/docs/temageneticos.pdf>).

Todas las etapas del algoritmo genético básico son aplicadas al modelo de Témez para determinar los parámetros y los valores iniciales de estos.

Los resultados de la modelización se encuentran en el Apéndice 1.1 del Anexo 7. A continuación se presenta los resultados de optimización no lineal, obtenidos del algoritmo genético con el programa Matlab.

MODELIZACIÓN MODELO TEMEZ			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Parámetros Unidad Hidrográfica			
Nombre unidad hidrográfica	-	-	El Pañe
Unidad hidrográfica	-	-	Subcuenca
Área unidad hidrográfica	S	Km ²	195.91
Parámetros Modelo Temez			
Coeficiente reductor	c	-	0.10
Humedad máxima	H _{máx}	mm	59.63
Infiltración máxima	I _{máx}	mm	427.78
Coeficiente de curva agotamiento	alpha	1/día	0.05
Parámetro acuífero	beta	-	0.47
Valores Iniciales			
Humedad inicial	H ₀	mm	3.36
Caudal subterráneo inicial	f ₀	m ³ /s	1.07
Distribución Temporal			
Mensual	D	días	30

Tabla 26. Parámetros y valores iniciales del modelo de Témez.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

Los caudales simulados para el periodo de calibración se encuentran en el Anexo 7, Apéndice 1.2. A continuación se presenta la tabla con los resultados de los coeficientes de eficiencia obtenidos durante el periodo de calibración.

Coeficiente de correlación

$$r = 0.84$$

Nash (Q)

$$E = 0.70$$

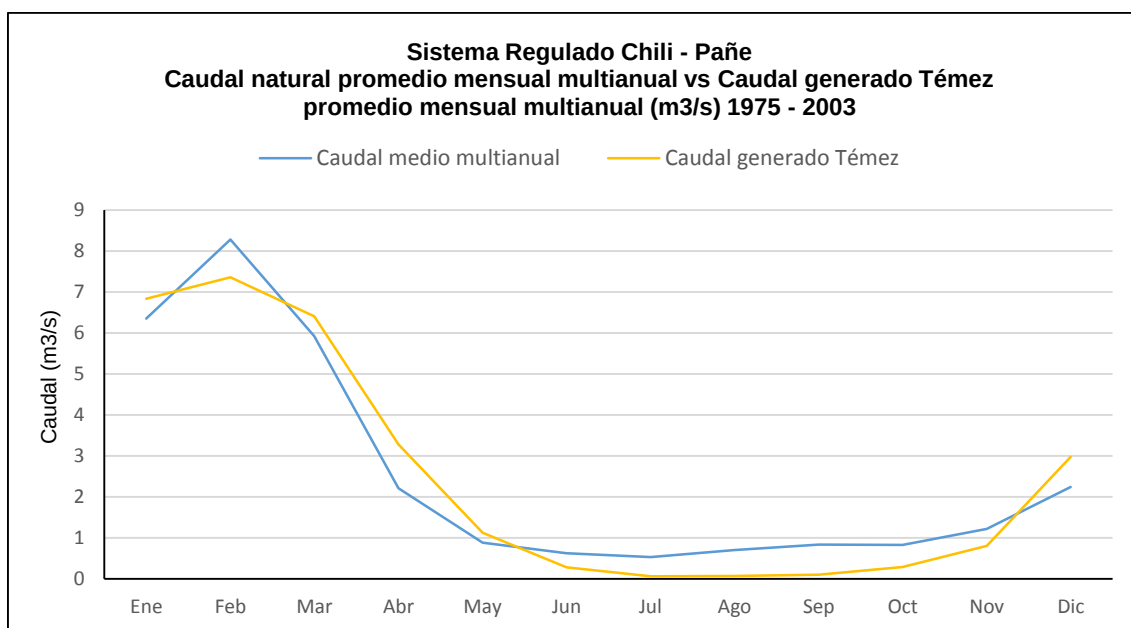


Figura 53. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Témez mensual multianual – Periodo de calibración (1975 – 2003)

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

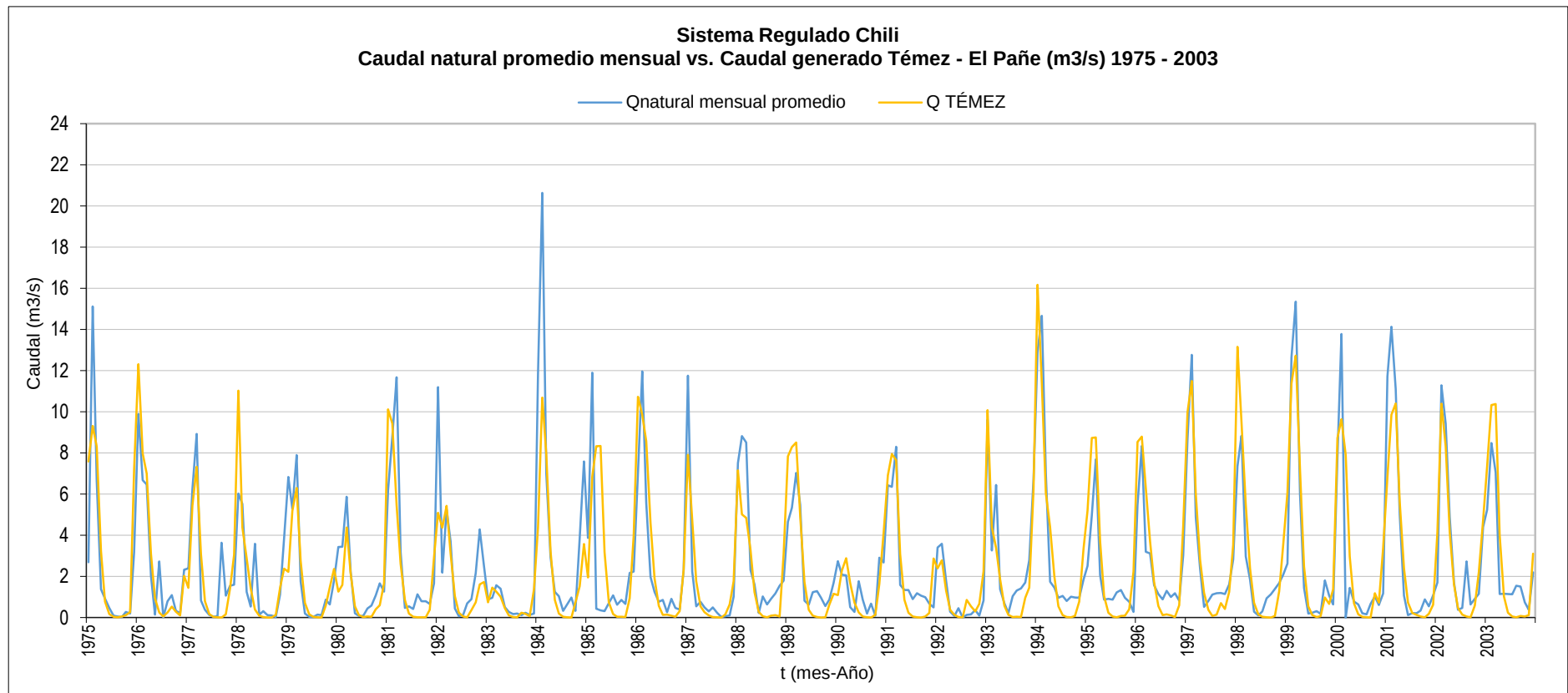


Figura 54. Caudal natural mensual vs Caudal generado Témez mensual – Periodo de calibración (1975 – 2003)

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

6.1.2. Validación del modelo.

Los caudales simulados durante el periodo de validación se muestran en el Anexo 7, apéndice 1.3. A continuación, se muestran los resultados de la aplicación del modelo con los parámetros calibrados que corresponde en el periodo 2004 - 2018:

Coeficiente de correlación

$$r = 0.92$$

Nash (Q)

$$E = 0.83$$

Como se observa el coeficiente de correlación r es 0.92, muy cercano a 1 lo que indica un muy buen ajuste del modelo. Lo mismo ocurre con el número de eficiencia de Nash-Sutcliffe, que es mayor a 0.8 que indica un excelente ajuste del modelo de Témez para la subcuenca de la represa el Pañe.

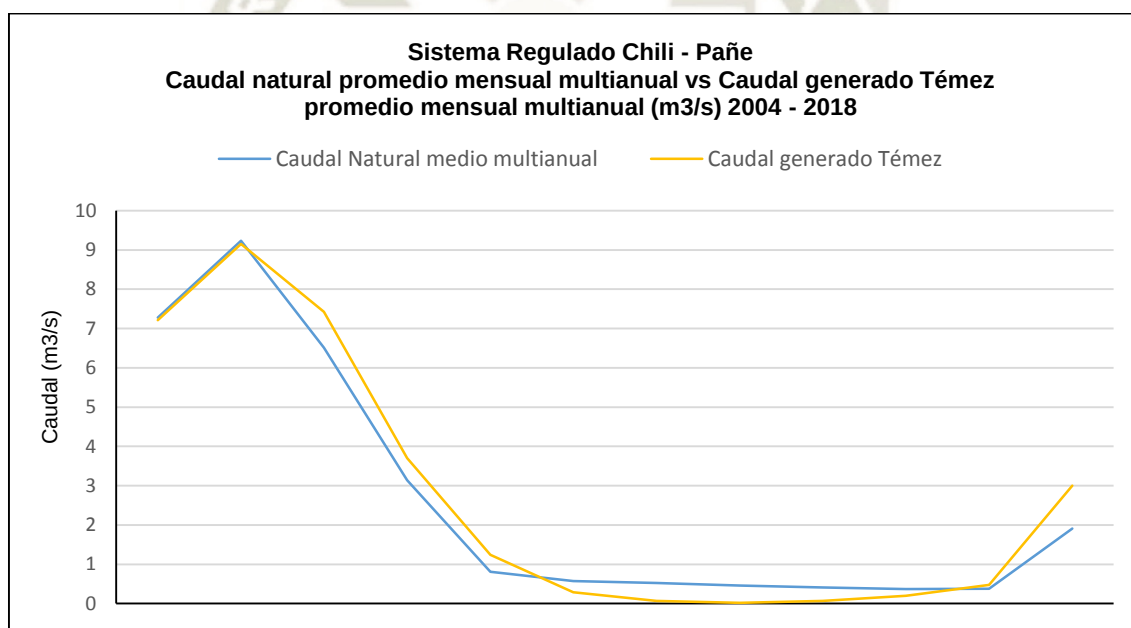


Figura 55. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Témez mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

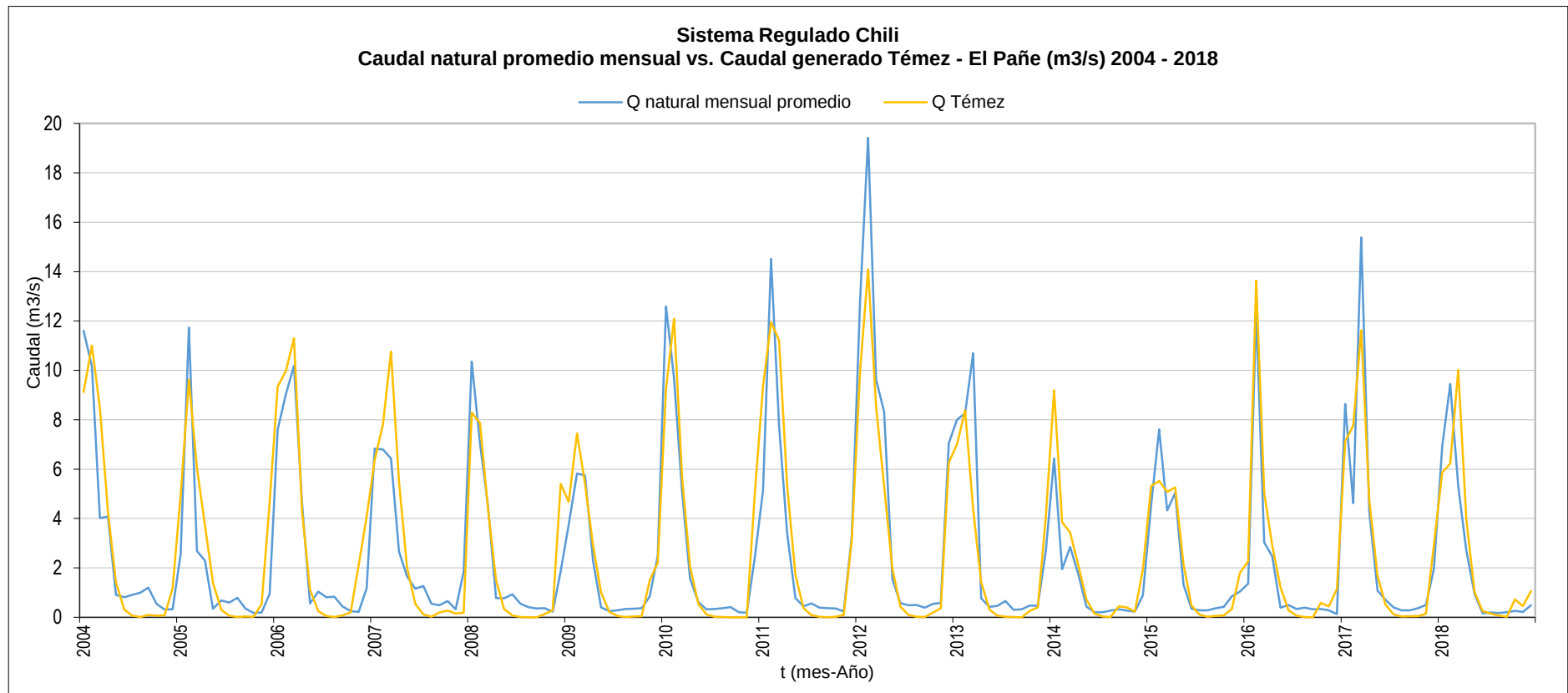


Figura 56. Caudal natural mensual vs Caudal generado Témez mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

6.2. MODELO DE LUTZ SCHOLZ

6.2.1. Calibración y optimización.

Se realizó mediante un análisis de sensibilidad de los parámetros, obtenidos durante el periodo de calibración que corresponde desde el año 1975 hasta el año 2003.

El desarrollo de la metodología cuyo resumen sintetizado aplicado a la subcuenca es el siguiente:

- Cálculo de los parámetros fisiográficos e hidrológicos de la subcuenca de la represa el Pañe.

AR = 195.91	Área de la cuenca (Km ²)
Hc = 4'834	Altura Media de la Cuenca (msnm)
He = 4'707	Altura de la Estación de Referencia (msnm)
Te = 3.43	Temperatura Estación de Referencia (°C)
LS = 15° 19' 03.7660"	Latitud Sur Centro de Gravedad de la Cuenca (° ' ")
Ra = 5043.65	Radiación extraterrestre para la cuenca (mm/año)
R = 16	Retención de la Cuenca (mm/año)
TD = 214	Duración de la Temporada Seca (días)
P = 736.5	Precipitación Media de la Cuenca (mm/año)

- Estimación de los coeficientes de escorrentía y agotamiento, ETP, Tc.

1. TEMPERATURA MEDIA DE LA CUENCA (°C)

$$T = 2.63$$

2. TEMPERATURA MEDIA DE LA CUENCA (F)

$$F = 36.74$$

3. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL DE LA CUENCA (mm/año)

$$ETP = 0.0075 * 0.075 * Ra * (53.8^{0.5}) * F * (1 + 0.06 * Hc / 1000)$$

$$ETP = 986.28$$

4. COEFICIENTE DE TEMPERATURA

$$L = 300 + 25 * T + 0.05 * T^3$$

$$L = 366.75$$

5. DÉFICIT DE ESCURRIMIENTO (D0,D1)

$$D0 = 0.872 * P + 1.032 * ETP - 1380$$

$$D0 = 280.11$$

$$D1 = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{0.5}$$

$$D1 = 331.61$$

6. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO(C)

- $C1 = 0.914 - 2.36E-4 * P - 0.0581 * T$
 $C1 = 0.59$
- $C2 = 0.682 - 0.0526 * T - 1.63E-4 * T^2$
 $C2 = 0.54$
- $C3 = 1.813 - 1.87E-4 * P - 1.12E-3 * ETP$
 $C3 = 0.57$
- $C4 = 5.21 - 7.31E-3 * ETP + 2.68E-6 * ETP^2$
 $C4 = 0.61$
- $C5 = 3.16E12 * P^{-0.571} * ETP^{-3.688}$
 $C5 = 0.67$
- $C6 = 6.47 - 0.0691 * \ln(P) - 0.8 * \ln(ETP)$
 $C6 = 0.50$
- $C7 = (P - D0) / P$
 $C7 = 0.62$
- $C8 = (P - D1) / P$
 $C8 = 0.55$
- Determinar el coeficiente de escurrimiento
 $C = 0.67$

7. COEFICIENTE DE AGOTAMIENTO

- Agotamiento muy rápido por temperatura elevada $> 10^\circ$ y R reducida a mediana (50 mm/año - 80 mm/año)
 $a1 = -0.00252 * \ln(AR) + 0.034$
 $a1 = 0.0207$
- Agotamiento rápido por la retención entre (50 mm/año - 80 mm/año) y vegetación poco desarrollada (Puna)
 $a2 = -0.00252 * \ln(AR) + 0.030$
 $a2 = 0.0167$
- Agotamiento mediano por retención mediana (80 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)
 $a3 = -0.00252 * \ln(AR) + 0.026$
 $a3 = 0.0127$
- Agotamiento reducido por alta retención arriba de (100 mm/año) y vegetación mezclada (pastos, bosques y terrenos cultivados)
 $a4 = -0.00252 * \ln(AR) + 0.023$
 $a4 = 0.0097$
- Coeficiente según fórmulas calibradas (19 cuencas)
 $a5 = 3.1249E67 * AR^{(-0.1144)} * ETP^{(-19.336)} * TD^{(-3.369)} * R^{(-1.429)}$
 $a5 = 0.4326$
- Determinar el coeficiente de agotamiento

$a = 0.0167$ (a2 por que se adapta a la zona Puna)

8. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE PRECIPITACIÓN EFECTIVA

$$\begin{aligned} - C1 &= (C \cdot P_c - PE_{II}) / (PE_I - PE_{II}) & C1 &= -1.866 \\ - C2 &= (C \cdot P_c - PE_I) / (PE_{II} - PE_I) & C2 &= 2.866 \\ - C1 &= (C \cdot P_c - PE_{III}) / (PE_{II} - PE_{III}) & C1 &= -1.079 \\ - C2 &= (C \cdot P_c - PE_{II}) / (PE_{III} - PE_{II}) & C2 &= 2.079 \end{aligned}$$

- Cálculo precipitaciones efectivas I – II – III – PE

PRECIPITACIÓN MENSUAL EFECTIVA					
MES	P promedio multianual mm/mes	PE I mm/mes	PE II mm/mes	PE III mm/mes	PE mm/mes
SET	12.1	0.0	1.4	2.8	4.3
OCT	27.4	0.1	2.8	5.6	8.6
NOV	50.3	1.1	5.9	10.8	16.1
DIC	115.6	13.9	34.5	55.4	78.0
ENE	172.9	52.2	86.5	113.2	142.0
FEB	156.3	37.5	69.9	96.6	125.4
MAR	128.5	19.6	44.5	68.8	95.0
ABR	50.5	1.2	6.0	10.9	16.2
MAY	11.9	0.0	1.3	2.8	4.4
JUN	0.8	0.0	0.1	0.2	0.3
JUL	2.1	0.0	0.3	0.5	0.7
AGO	8.1	0.0	1.0	2.0	3.1
TOTAL	736.5	125.6	254.2	369.6	494.1

Tabla 27. Modelo de Lutz Scholz, cálculo de la precipitación efectiva.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

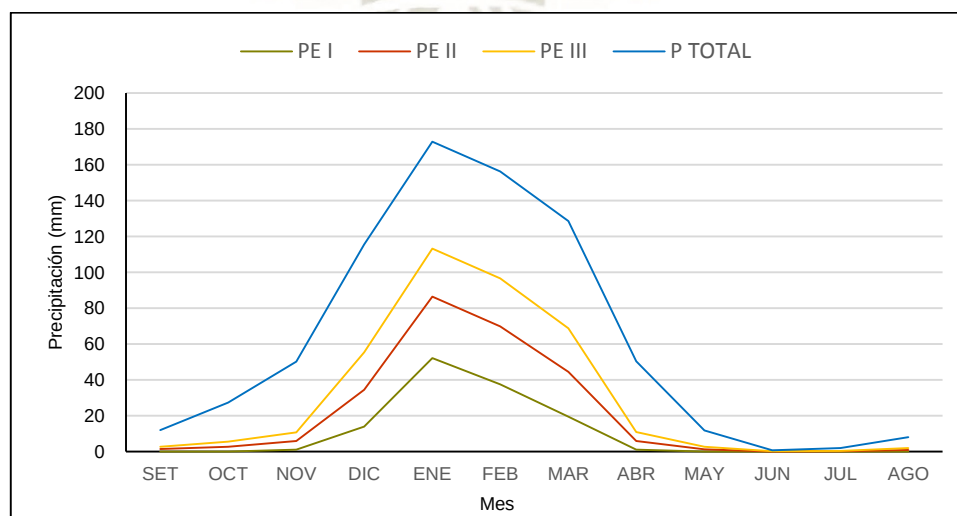


Figura 57. Precipitaciones efectivas multianuales para el periodo de calibración por Lutz Scholz.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

- Generación de caudales mensuales para el año promedio mediante las ecuaciones de balance hídrico, para la cuenca en estudio.

MES	PRECIPITACION MENSUAL		CONTRIBUCIÓN DE LA RETENCIÓN				CAUDALES GENERADOS	
			GASTO		ABASTECIMIENTO			
	P promedio multianual mm/mes	PE mm/mes	bi	Gi mm/mes	ai	Ai mm/mes	mm/mes	m3/s
SET	12.1	4.3	0.050	0.5			4.8	0.367
OCT	27.4	8.6	0.030	0.3			8.9	0.656
NOV	50.3	16.1			-0.05	-0.8	16.9	1.283
DIC	115.6	78.0			-0.35	-5.6	83.6	6.144
ENE	172.9	142.0			-0.40	-6.4	148.4	10.907
FEB	156.3	125.4			-0.20	-3.2	128.6	9.766
MAR	128.5	95.0			0.00	0.0	95.0	6.982
ABR	50.5	16.2	0.606	6.5			22.7	1.724
MAY	11.9	4.4	0.367	3.9			8.3	0.613
JUN	0.8	0.3	0.223	2.4			2.7	0.197
JUL	2.1	0.7	0.135	1.4			2.1	0.175
AGO	8.1	3.1	0.082	0.9			4.0	0.292
TOTAL	736.5	494.1	1.493	16.0	-1.00	-16.0	519.6	38.6

Tabla 28. Modelo de Lutz Scholz, generación de caudales mensuales para el año promedio.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

- Estimación de la precipitación Efectiva III mensualizada para la cuenca en estudio. (Anexo 7, apéndice 2.1)
- Estimación de los valores aleatorios Z, a ser utilizados. (Anexo 7, apéndice 2.2)
- Calculo de los coeficientes de la ecuación de extensión Markoviana de I orden, mediante ecuaciones de regresión triple, para la cuenca en estudio.

M E S	Qt (X) mm/mes	Qt-1 (Y) mm/mes	P E (Z) mm/mes
SET	4.8	4.0	4.3
OCT	8.9	4.8	8.6
NOV	16.9	8.9	16.1
DIC	83.6	16.9	78.0
ENE	148.4	83.6	142.0
FEB	128.6	148.4	125.4
MAR	95.0	128.6	95.0
ABR	22.7	95.0	16.2
MAY	8.3	22.7	4.4
JUN	2.7	8.3	0.3
JUL	2.1	2.7	0.7

AGO	4.0	2.1	3.1
AÑO	526.1	526.1	494.1

Tabla 29. Modelo de Lutz Scholz, caudales (Q_t), caudales del mes anterior (Q_{t-1}) y precipitaciones efectivas mensuales (PE) para el año promedio.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

	(X^2)	(XY)	(XZ)	(Y^2)	(YZ)	(Z^2)
	23.3	19.2	20.8	15.8	17.1	18.5
	79.6	43.1	76.7	23.3	41.6	74.0
	285.6	150.8	272.1	79.6	143.6	259.2
	6'989.0	1'412.8	6'520.8	285.6	1'318.2	6'084.0
	22'022.6	12'406.2	21'072.8	6'989.0	11'871.2	20'164.0
	16'538.0	19'084.2	16'126.4	22'022.6	18'609.4	15'725.2
	9'025.0	12'217.0	9'025.0	16'538.0	12'217.0	9'025.0
	515.1	2'156.1	367.7	9'025.0	1'539.0	262.4
	69.5	189.2	36.7	515.1	99.9	19.4
	7.2	22.4	0.8	69.5	2.5	0.1
	4.6	5.8	1.5	7.2	1.9	0.5
	15.8	8.5	12.3	4.6	6.7	9.6
Total =	55'575.3	47'715.4	53'533.6	55'575.3	45'868.0	51'641.8

Tabla 30. Modelo de Lutz Scholz, valores hallados a partir de la tabla 29 para hallar las variables de la ecuación de regresión simple.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

Variables empleadas en la ecuación de regresión simple:

$$J = 32510.47$$

$$K = 24650.63$$

$$L = 31871.60$$

$$M = 32510.47$$

$$U = 24205.92$$

$$X = 31297.24$$

$$O = 0.00$$

$$P = 1.02$$

$$Q = 1.91$$

$$V = 0.89$$

$$W = 32455.60$$

$$R = 1.00$$

$$S = 2.45$$

Valores de parámetros de la regresión:

$$B1 = 1.910$$

$$B2 = 0.00004$$

$$B3 = 1.018$$

$$R = 0.999$$

$$S = 2.449$$

$$S*(1-R^2)^{0.5} = 0.100$$

Ecuación de regresión triple:

$$CM_t = 1.910 + (-0.00004*CM_{t-1}) + (1.018*PE_t) + 0.1*Z$$

- Generación de caudales para periodos extendidos en mm y m³/s para la cuenca en estudio. (Anexo 7, apéndice 2.3)

Se presenta la tabla con los resultados de los coeficientes de eficiencia obtenidos durante el periodo de calibración.

Coeficiente de correlación

$$r = 0.78$$

Nash (Q)

$$E = 0.41$$

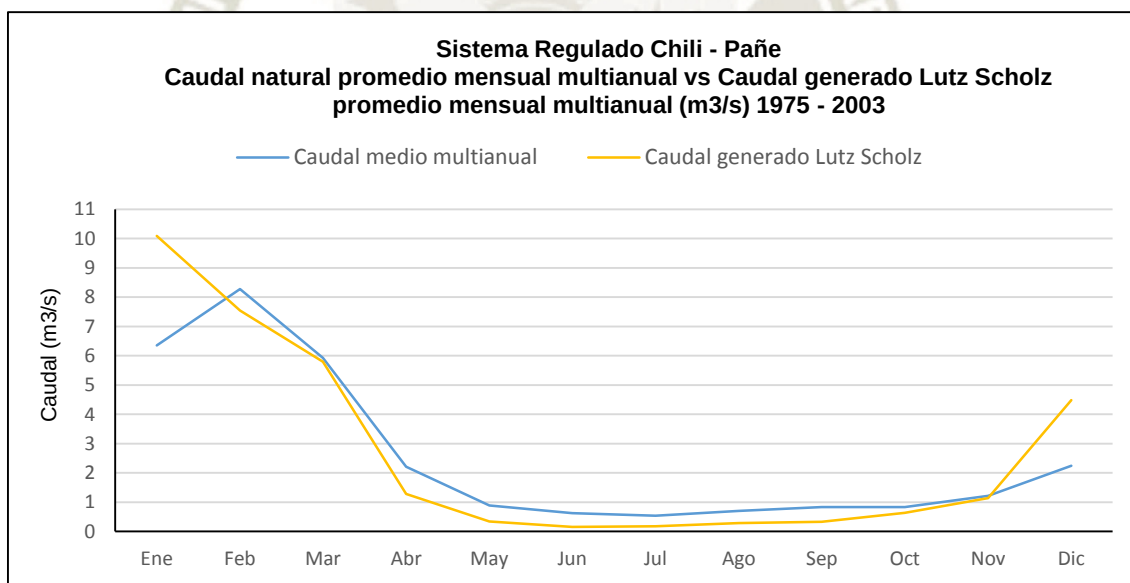


Figura 58. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Lutz Scholz mensual multianual – Periodo de calibración (1975 – 2003).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

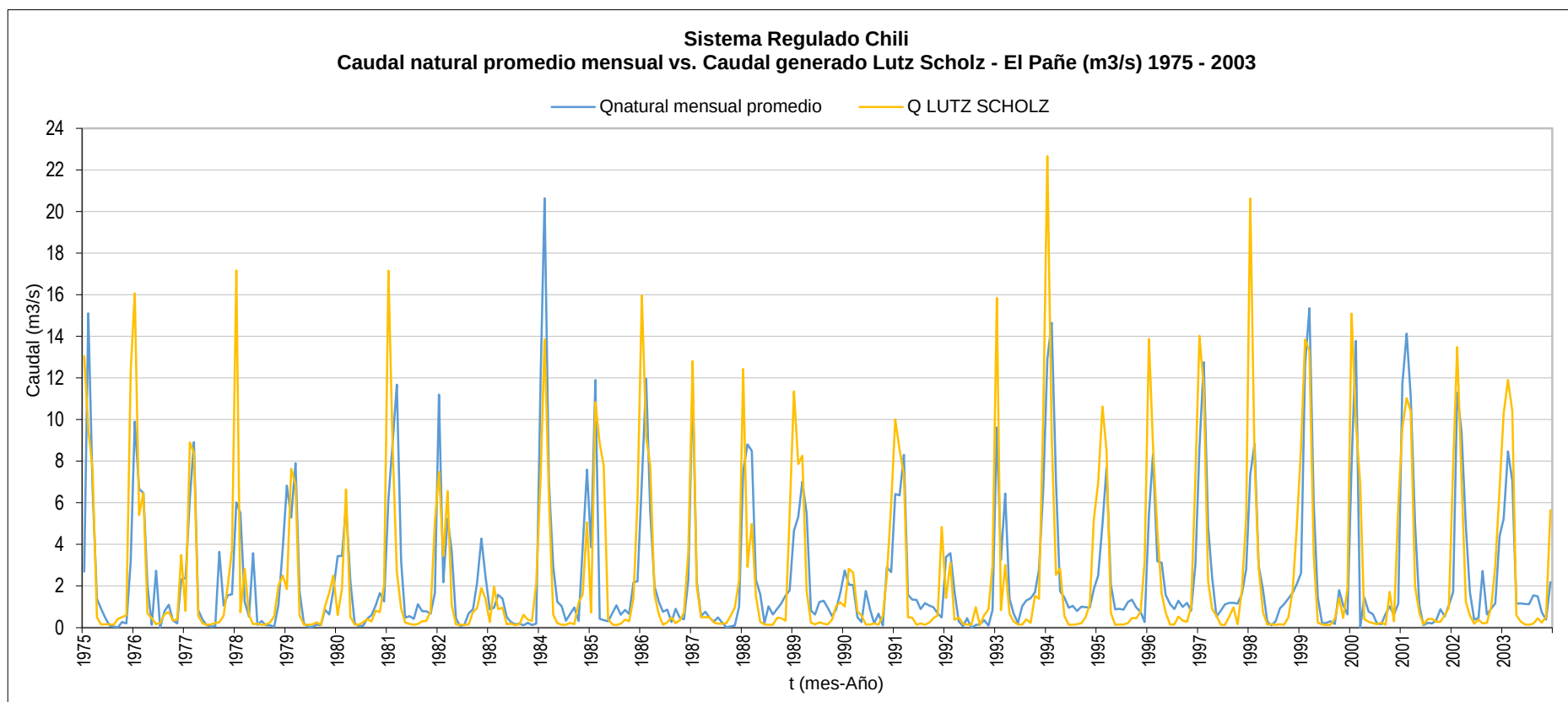


Figura 59. Caudal natural mensual vs Caudal generado Lutz Scholz mensual – Periodo de calibración (1975 – 2003).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

6.2.2. Validación del modelo.

Los caudales simulados durante el periodo de validación se muestran en el Anexo 7, apéndice 2.4. A continuación, se muestran los resultados de la aplicación del modelo con los parámetros calibrados que corresponde en el periodo 2004 - 2018:

Coefficiente de correlación

$$r = 0.86$$

Nash (Q)

$$E = 0.60$$

Como se observa el coeficiente de calibración r es 0.86, muy cercano a 1 lo que indica un buen ajuste del modelo. Lo mismo ocurre con el número de eficiencia de Nash-Sutcliffe, que está entre el rango de 0.6 – 0.8 que indica un muy buen ajuste del modelo de Lutz Scholz para la subcuenca de la represa el Pañe.

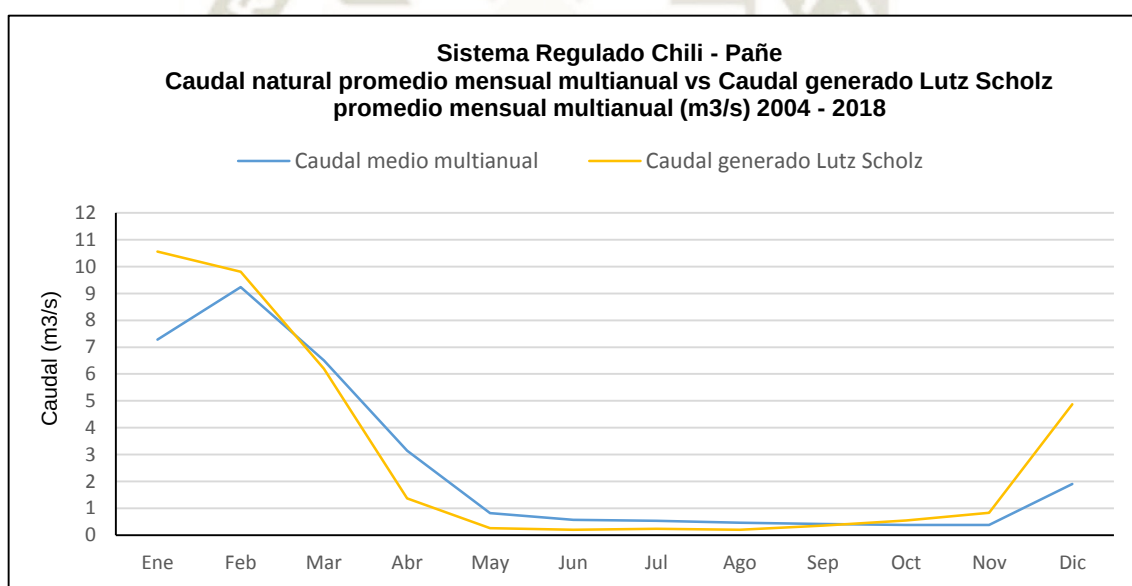


Figura 60. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado Lutz Scholz mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

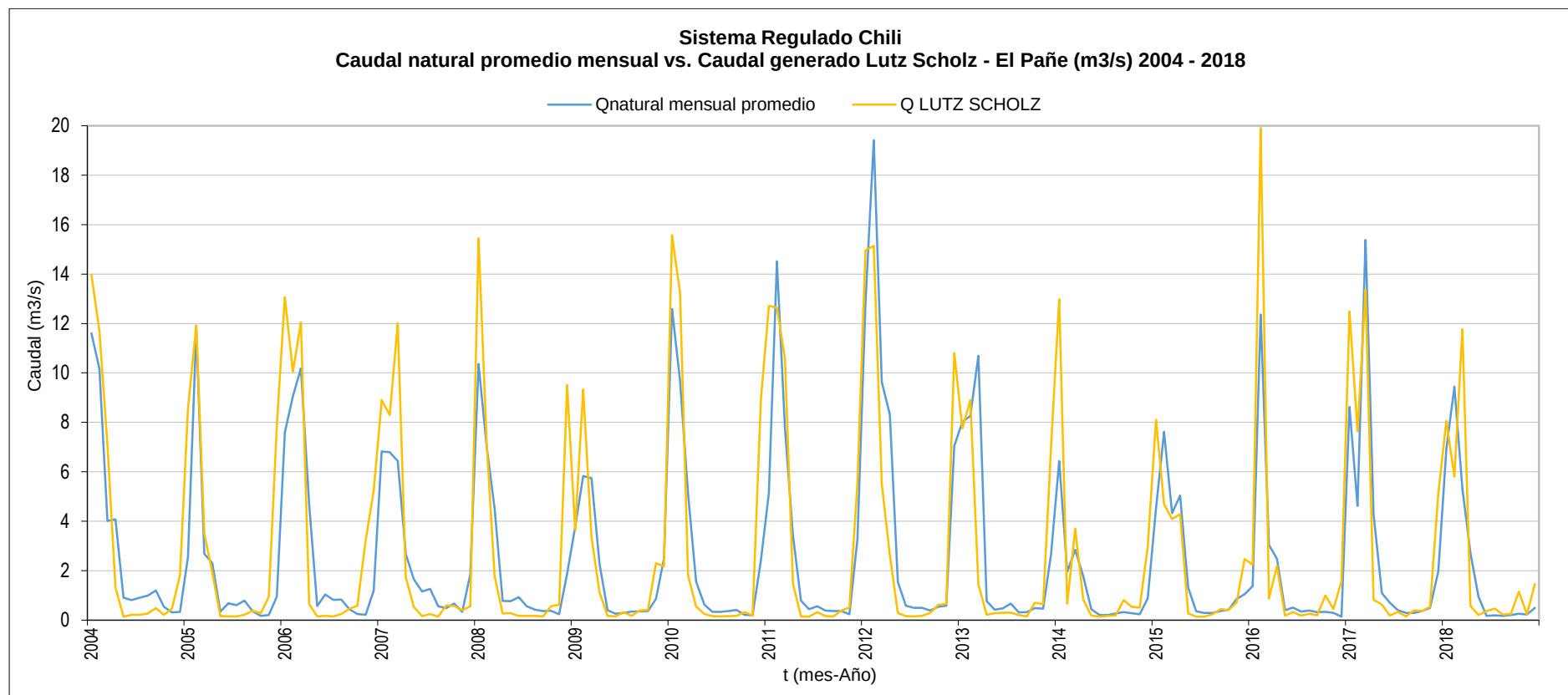


Figura 61. Caudal natural mensual vs Caudal generado Lutz Scholz mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

6.3. MODELO SWAT

6.3.1. Calibración y optimización

ArcSWAT es una extensión de la interfaz gráfica ArcGIS. SWAT es un paquete de análisis de datos geográficos diseñado para ayudar a generar archivos de entrada SWAT y analizar específicamente información resultante a partir de simulaciones usando las características principales de ArcGIS. La interface SWAT fue creada como una extensión más de ArcGIS, esto quiere decir que es un programa independiente, permitiendo aprovechar las características disponibles en otras extensiones de ArcGIS.

Proceso de modelamiento

La barra de herramientas ArcSWAT ofrece 6 opciones:

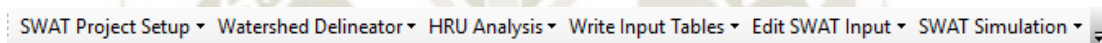


Figura 62. Captura de pantalla, barra de tareas de SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Los menús de ArcSWAT contienen los comandos necesarios para procesar los datos de la cuenca, generar archivos de entrada para SWAT, correr el modelo, y mostrar los resultados. En la barra, el proceso de modelamiento y simulación de la cuenca está en orden, de izquierda a derecha, así como los menús de cada uno, que abren ventanas con los comandos listados de arriba hacia abajo y deben ser procesados en ese orden.

Antes de comenzar con el proyecto en SWAT se deben activar las extensiones de ArcSWAT en la interfaz de ArcGIS. Una vez activadas las extensiones, se procede a la configuración del proyecto.

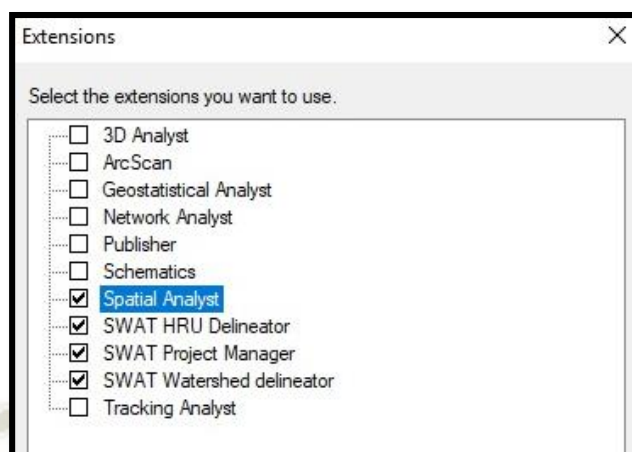


Figura 63. Captura de pantalla, configuración de extensiones SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Configuración del Proyecto SWAT

Un proyecto en ArcSWAT consta de una carpeta que contiene un archivo de ArcMap, geodatabases, y una subcarpeta para el almacenamiento temporal de información geográfica y archivos de entrada para SWAT.

Para crear un nuevo proyecto en SWAT, en la barra de herramientas de SWAT seleccionamos SWAT Project Setup/New SWAT Project

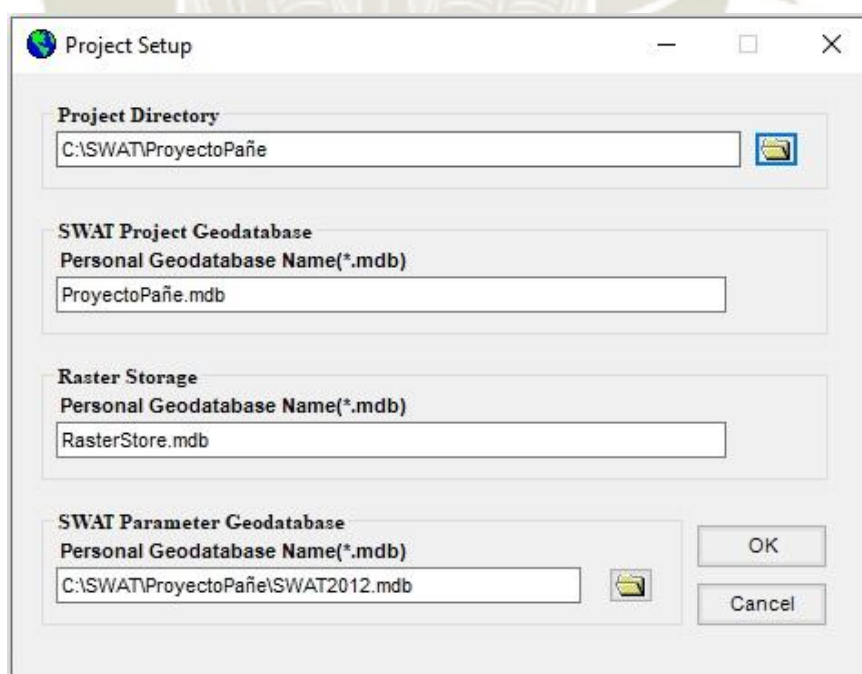


Figura 64. Captura de pantalla, configuración de proyecto en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Aquí se selecciona la carpeta donde se almacenarán todos los datos del proyecto antes mencionados.

Delimitación de la Cuenca

En el menú de Watershed Delineator usamos la opción de Automatic Watershed Delineation (Delimitación de cuenca automática), la cual abre una ventana donde está todo el proceso de delimitación de la cuenca en orden.

Primero, en “DEM Setup”, ingresamos el Modelo de Elevación Digital o DEM para sus siglas en inglés (Digital Elevation Model). El DEM de la zona es el de la Figura 65:

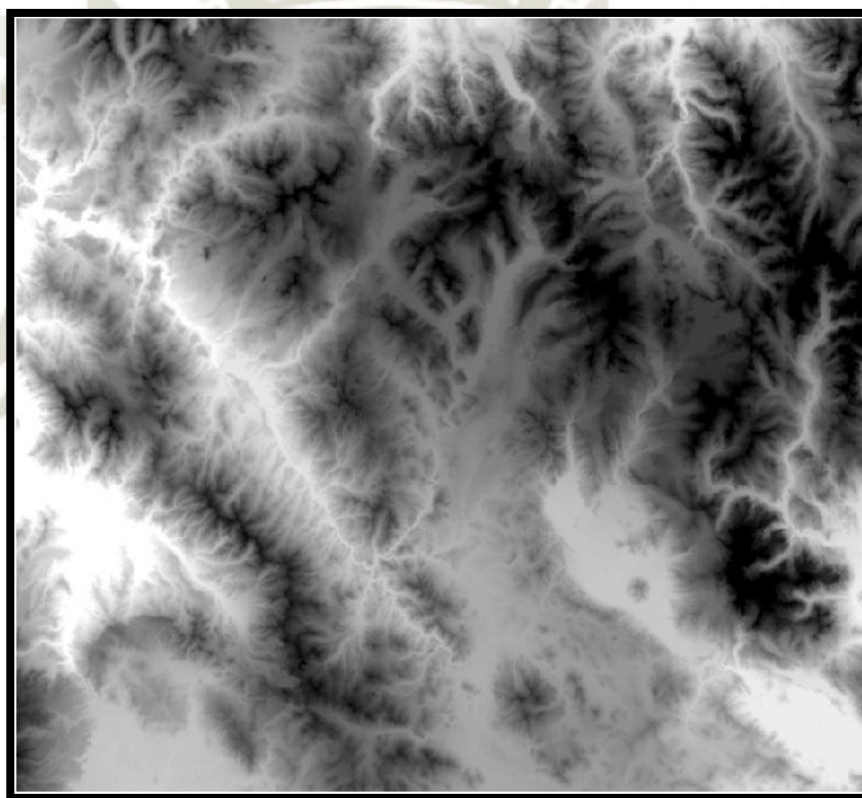


*Figura 65. Captura de pantalla, DEM (Digital Elevation Model) cargado en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.*

Inmediatamente se debe configurar el valor de “Z” en metros, al igual que los valores de “X” e “Y” en la opción de “DEM projection setup” la cual abre una nueva ventana donde modificamos los valores de “Z” para metros, como se muestra en la Figura 66.

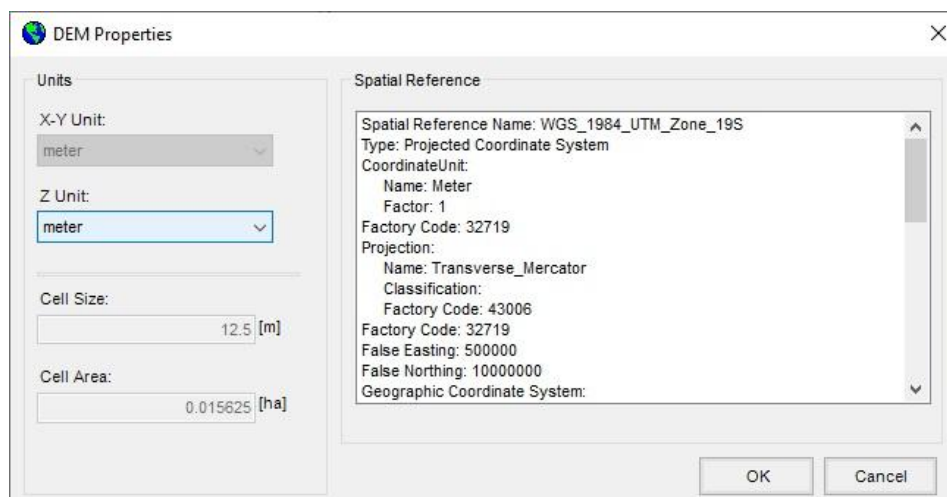


Figura 66. Captura de pantalla, configuración de propiedades del DEM en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Luego de esto cargamos el archivo shape correspondiente a los ríos de la zona. Entonces se marca la opción de Burn-In y se carga dicho archivo.

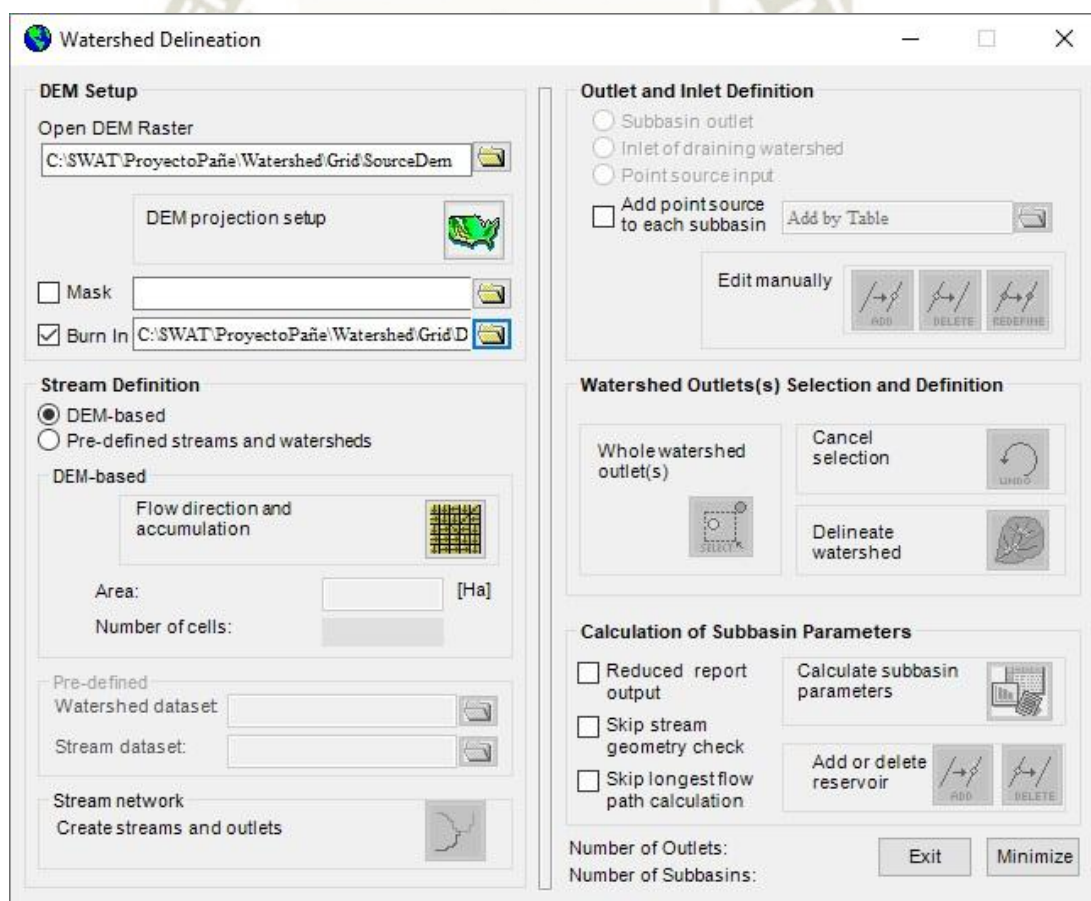


Figura 67. Captura de pantalla, captura de la ventana de delimitación de la cuenca en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

En la sección de “Stream Definition” o definición de corriente, usamos la opción “DEM-based” para indicar que los ríos se desarrollarán según el modelo de elevación digital, entonces se presiona el botón de “Flow direction and accumulation” (dirección y acumulación del flujo). SWAT procesa el DEM para eliminar los agujeros de desagüe. Como resultado se tiene el área mínima en hectáreas y el número de celdas. El área mínima contendrá los drenajes requeridos para definir el comienzo de cada flujo. Entre más pequeño sea el número de hectáreas, mayor será el detalle en la delineación de la red de drenaje. El número de hectáreas se escoge de acuerdo al archivo “Burn-In” de los ríos en formato shape que se ingresó anteriormente. Al presionar el botón “Create streams and outlets” (crear corrientes y salidas) SWAT crea la red de drenaje y los puntos de unión entre flujos, el número mínimo de hectáreas debe ser modificado para que la red de drenaje se parezca lo más posible a los ríos dibujados por el archivo shape de ríos (ingresado anteriormente). Para el modelamiento de nuestra cuenca se colocamos como número mínimo 350 hectáreas. En la Figura 68 podemos ver el detalle de la red de drenaje que fue creada por SWAT.

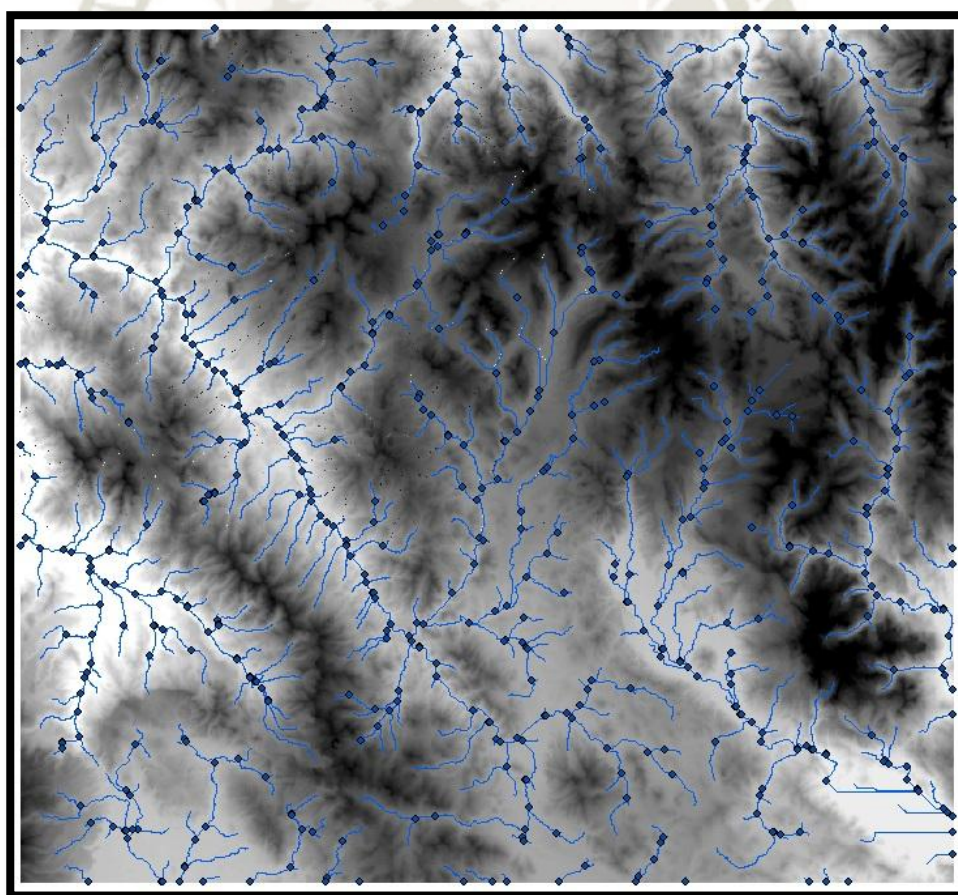


Figura 68. Captura de pantalla, red de drenaje y puntos de unión entre flujos creados por SWAT en el DEM.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Lo siguiente es añadir los archivos de forma de los reservorios de la zona, para ello se usa la función de añadir data (Add Data) de la interfaz de ArcGIS. Dicha función nos permite buscar el archivo de formato shape correspondiente a los reservorios de la zona. Al cargarlo, SWAT dibuja tales reservorios en el DEM, creando una nueva capa, uno de los reservorios es el embalse El Pañe.

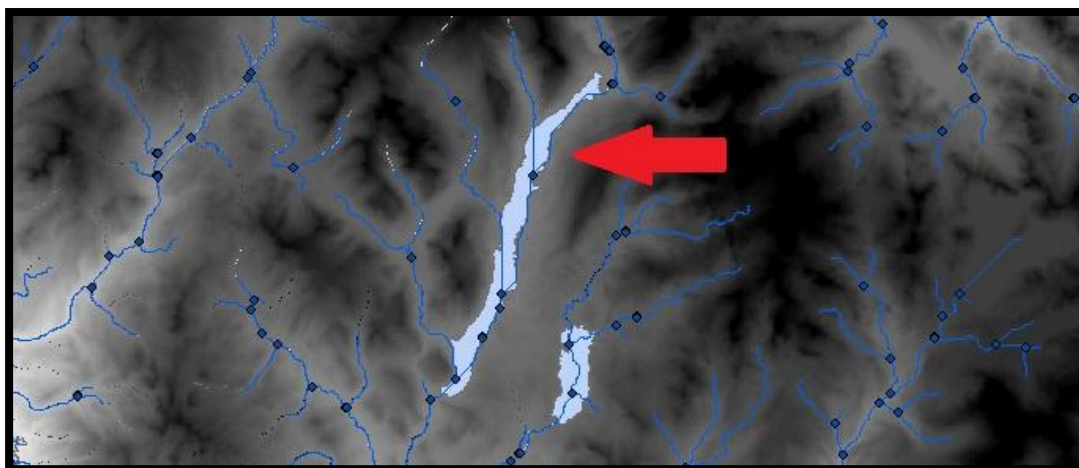


Figura 69. Captura de pantalla, reservorios dibujados por SWAT en el DEM. Se encuentra señalado el reservorio de la represa El Pañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Una vez añadido el reservorio, podemos continuar con el menú de delimitación de cuenca. Continuamos con la sección de definición de entradas y salidas (Outlet and Inlet Definition). Aquí podemos perfeccionar manualmente el modelo eliminando las salidas que están dentro del reservorio (salidas que SWAT creó durante el proceso de creación de la red de drenaje) con el botón “delete point”. Luego usamos la opción “add point” para añadir entradas de afluentes al embalse y la salida de éste. Como se muestra en la Figura 70, se ven 5 entradas y 1 salida añadidas en el embalse.

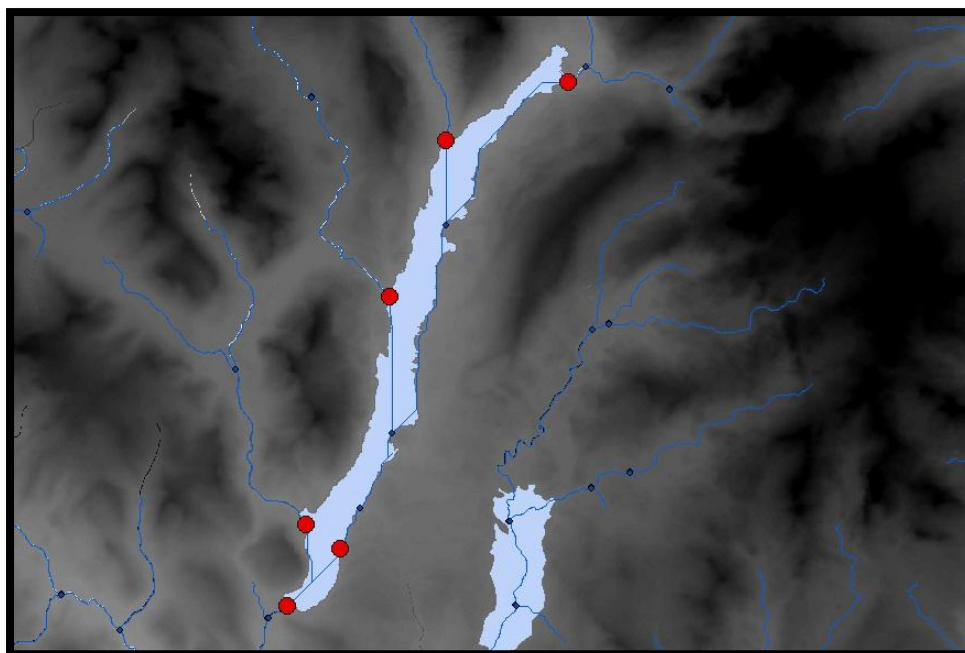


Figura 70. Captura de pantalla, puntos de entrada agregados en el embalse en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

El último paso para delimitar la cuenca es añadir el punto de salida de la cuenca, para eso, se usa la opción “Whole watershed outlet”, y se selecciona el punto de salida de la cuenca.

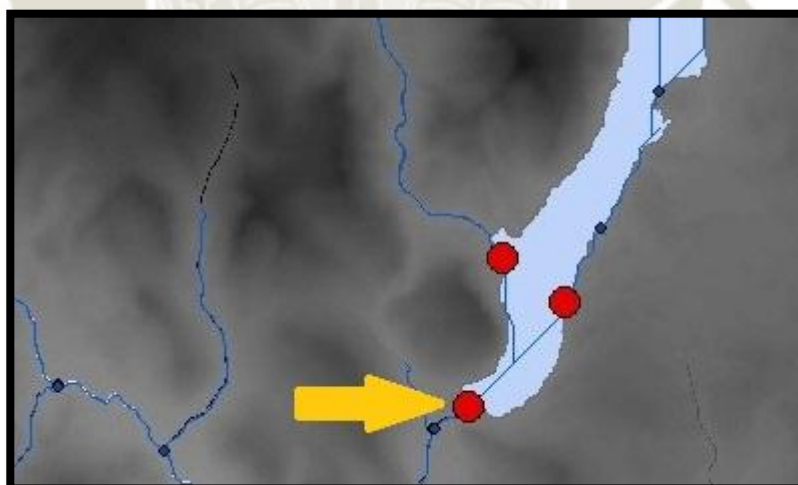


Figura 71. Captura de pantalla, punto de salida de la cuenca agregado, señalado en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Finalmente, activamos la opción “Delineate Watershed”, iniciando el proceso de delimitación de cuencas y subcuencas. Una vez terminado el proceso podemos ver nuestra cuenca y sus subcuencas delimitadas.

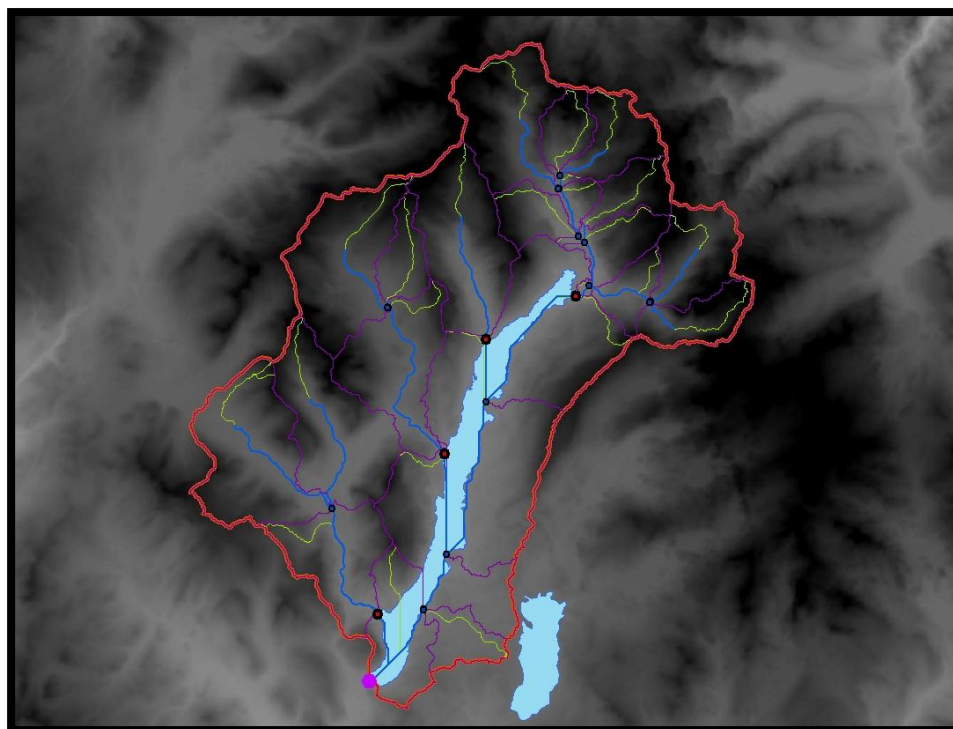


Figura 72. Captura de pantalla, cuenca y sub-cuencas, delimitadas por SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Con la delimitación de la cuenca completa, notamos que nuestra cuenca delimitada tiene 26 subcuencas.

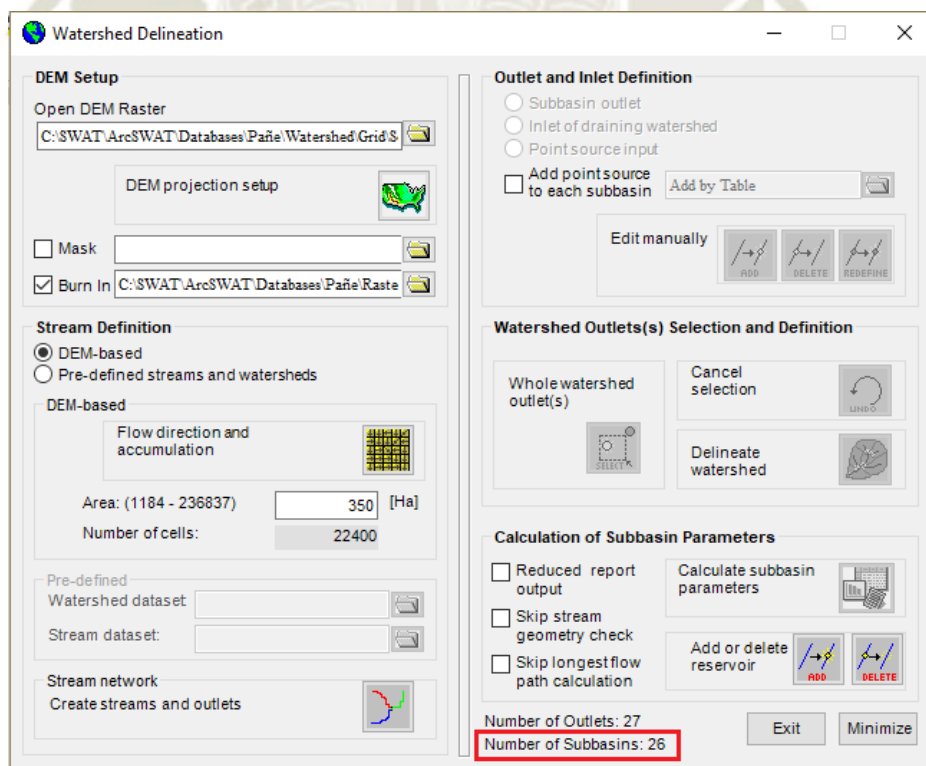


Figura 73. Captura de pantalla, ventana de delimitación de la cuenca, señalado el conteo de sub-cuencas en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

También notamos que se activa la siguiente sección “Calculation of Subbasin Parameters” que sirve para el cálculo de las características geomorfológicas de las subcuencas y para definir la ubicación de embalses en la cuenca. Activamos la opción “Calculate subbasin parameters”, esta función calcula los parámetros geomorfológicos para cada subcuenca y el tramo de río principal.

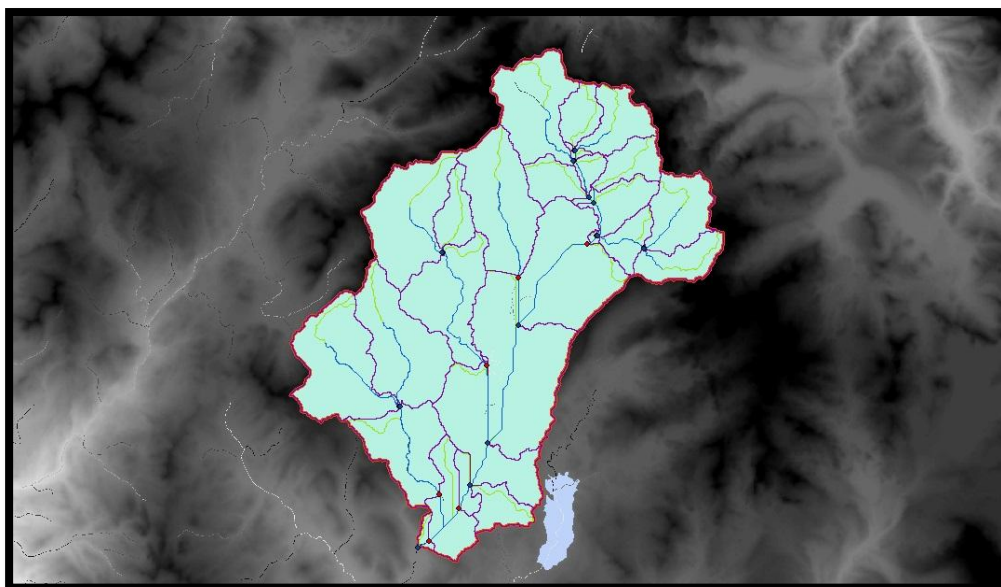


*Figura 74. Captura de pantalla, cuenca delimitada y parámetros calculados en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.*

Luego vemos que se activa la opción “Add or delete reservoir” (Añadir o eliminar reservorio), la usamos para definir la salida del embalse El Pañe. La salida del reservorio debe estar ubicada como se muestra en la Figura 75:

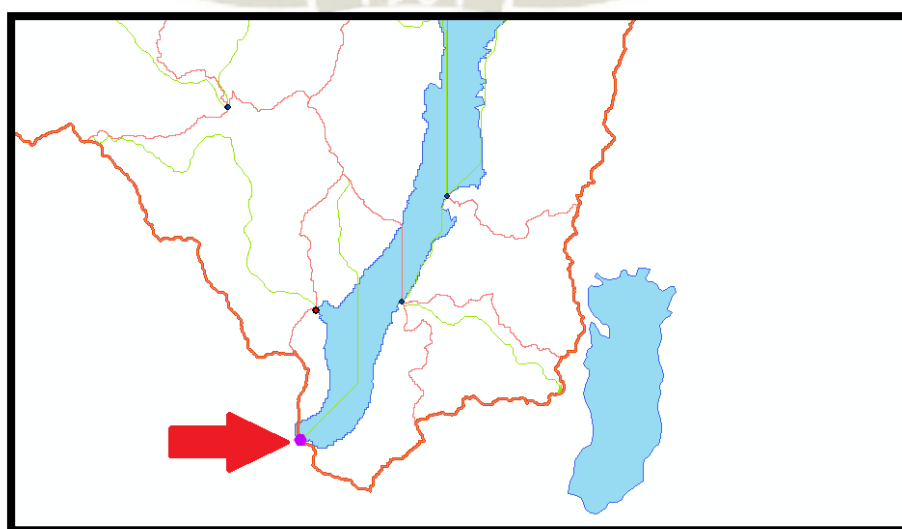


*Figura 75. Captura de pantalla, punto de salida de la cuenca definido y señalado en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.*

Esto concluye la etapa de delimitación de la cuenca.

Análisis de HRU (Unidades de respuesta hidrológica)

El uso del suelo, el tipo de suelo y la caracterización de la pendiente para una cuenca se realiza utilizando el menú “HRU Analysis” (Análisis de HRUs) de la barra de ArcSWAT. Esta herramienta nos permite cargar los datos del uso de suelo y las capas del suelo en la cuenca, evaluar características de pendientes y determinar las combinaciones y distribuciones existentes entre el uso/suelo/pendiente para la delimitación de la cuenca y subcuencas. Entonces comenzamos a definir el uso de suelo, tipo de suelo y pendientes de la cuenca con la herramienta “Land Use/Soils/Slope Definition” (definición de uso de suelo/suelos/pendiente). En la ventana de definición de uso de suelo/suelo/pendiente tenemos tres pestañas, para definir los datos del uso de suelo, tipo de suelo y pendiente.

En la pestaña de uso de suelo (Land Use Data) primero cargamos el archivo raster correspondiente al uso del suelo, luego en el campo de grilla (Choose Grid Field) escogemos “VALUE” (valor) y cargamos la tabla LookUp Table con información del raster para la región de la cuenca. Esto nos muestra el valor de los diferentes usos de suelo en el área de la cuenca y el porcentaje que ocupa cada uno del área total de la cuenca.

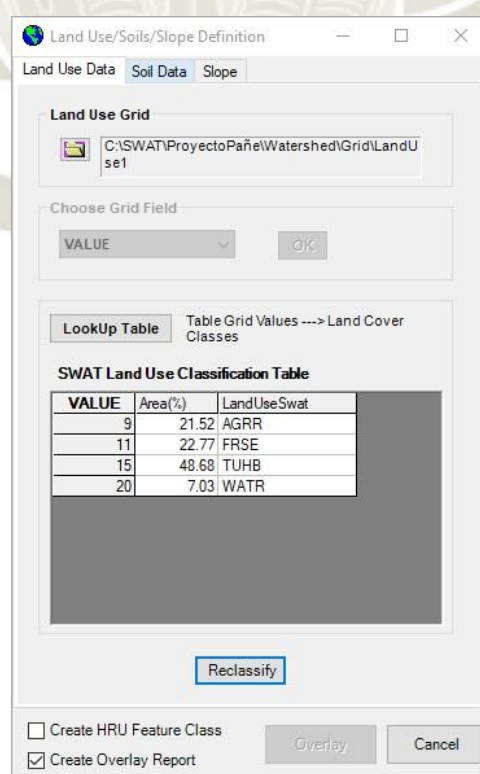


Figura 76. Captura de pantalla, ventana de configuración del uso de suelo en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Una vez ingresados los datos del uso de suelo reclasificamos los datos en la cuenca (Reclassify). En la Figura 77 podemos ver el uso del suelo plasmado en la cuenca.

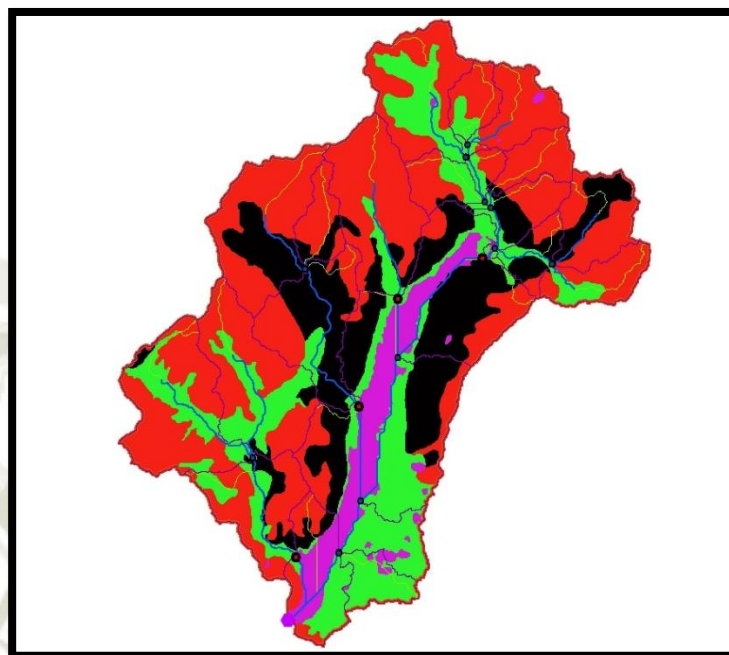
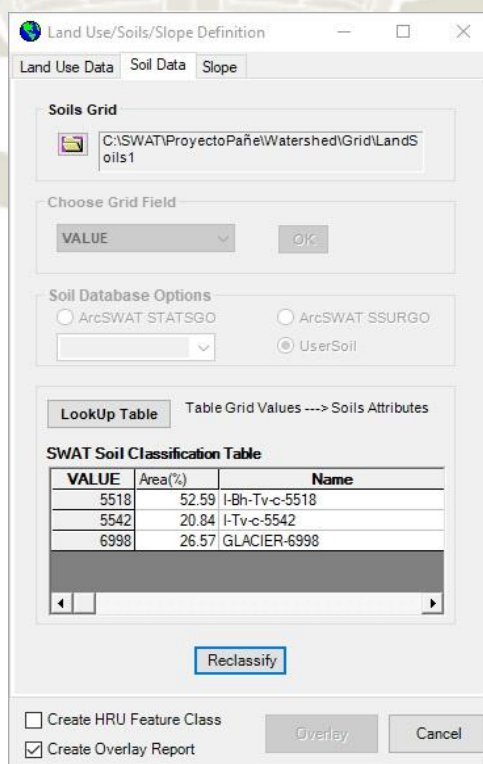


Figura 77. Captura de pantalla, datos de uso de suelo plasmados en la cuenca en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Para la pestaña de tipo de suelo, se carga el archivo correspondiente al tipo de suelo, luego se escoge “VALUE” y seleccionamos nuestra LookUp Table para el tipo de suelo.



Land Use/Soils/Slope Definition

Land Use Data | Soil Data | Slope

Soils Grid

C:\SWAT\ProyectoPañel\Watershed\Grid\LandSoils1

Choose Grid Field

VALUE

Soil Database Options

☐ ArcSWAT_STATSGO ☐ ArcSWAT_SSURGO ☒ UserSoil

LookUp Table Table Grid Values ----> Soils Attributes

SWAT Soil Classification Table

VALUE	Area(%)	Name
5518	52.59	I-Bh-Tv-c-5518
5542	20.84	I-Tv-c-5542
6998	26.57	GLACIER-6998

Reclassify

☐ Create HRU Feature Class ☒ Create Overlay Report

Overlay Cancel

Figura 78. Captura de pantalla, ventana de configuración del tipo de suelo en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Una vez ingresados los datos seleccionamos Reclassify. El mapa quedará así:

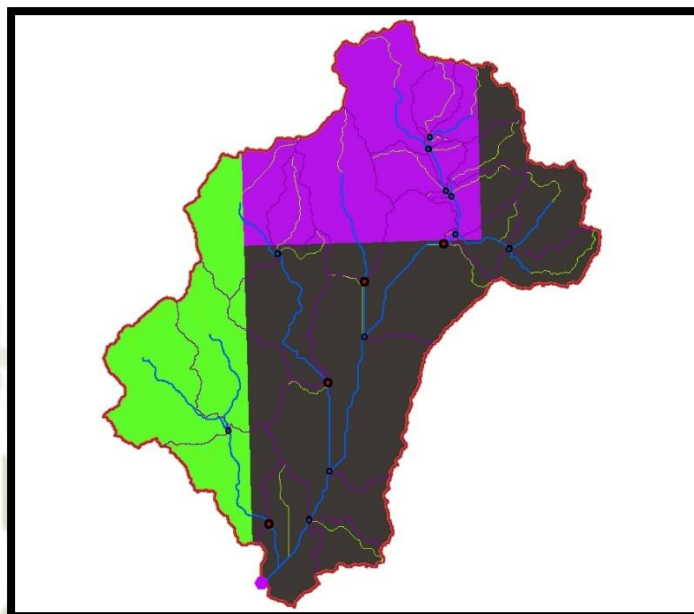
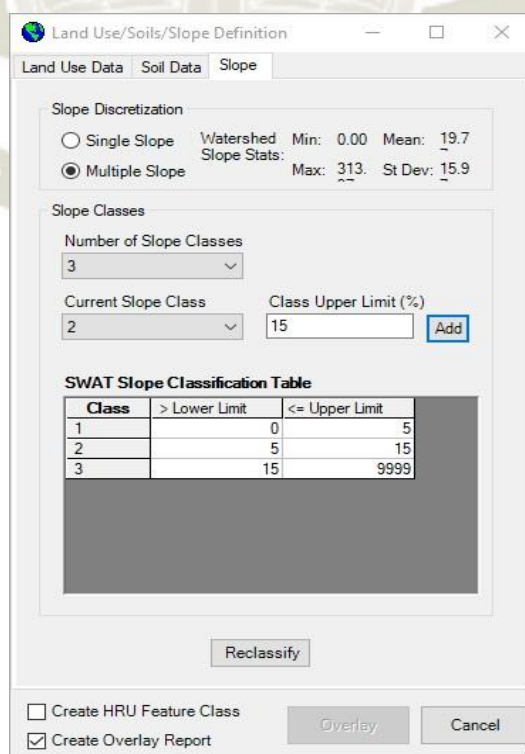


Figura 79. Captura de pantalla, datos de tipo de suelo plasmados en la cuenca en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

En la pestaña “Slope” definimos la cuenca con pendientes múltiples, marcando la opción “Multiple Slope”. Luego, definimos 3 clases de pendientes, ponemos el límite superior de la clase 1 como 5. Para la pendiente de clase 2 ponemos su límite superior como 15.



Land Use/Soils/Slope Definition

Land Use Data Soil Data Slope

Slope Discretization

☐ Single Slope Watershed Min: 0.00 Mean: 19.7
Slope Stats: Max: 313 St Dev: 15.9

☒ Multiple Slope

Slope Classes

Number of Slope Classes: 3

Current Slope Class: 2 Class Upper Limit (%): 15 [Add]

SWAT Slope Classification Table

Class	> Lower Limit	<= Upper Limit
1	0	5
2	5	15
3	15	9999

[Reclassify]

☐ Create HRU Feature Class

☒ Create Overlay Report

[Overlay] [Cancel]

Figura 80. Captura de pantalla, ventana de configuración de pendientes en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Una vez ingresada la caracterización de las pendientes, reclasificamos los datos en la cuenca.

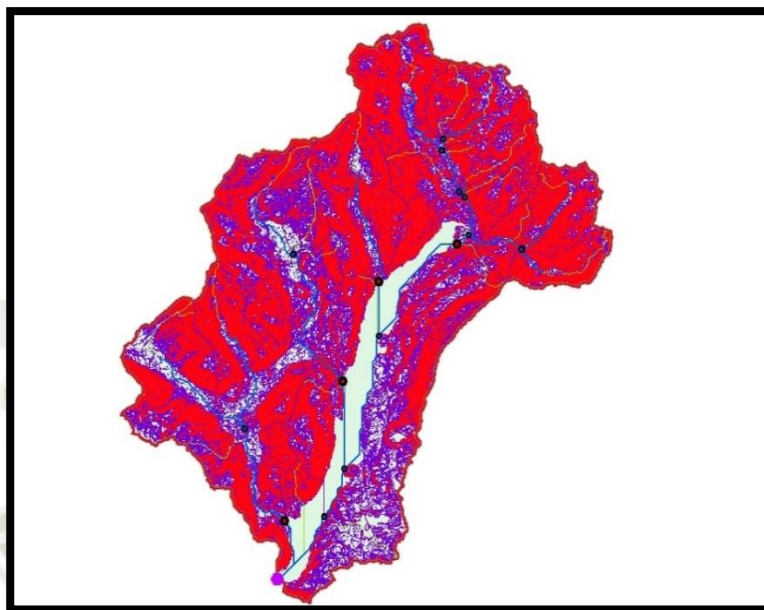


Figura 81. Captura de pantalla, caracterización de pendientes plasmada en la cuenca en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Para terminar con la definición de uso de suelo/tipo de suelo/pendiente, marcamos la opción “Create HRU Feature Class” (crear característica de clase de HRU) y presionamos “Overlay” para superponer el uso de suelo, tipo de suelo y pendientes en la cuenca. El resultado es el mostrado en la Figura 82.

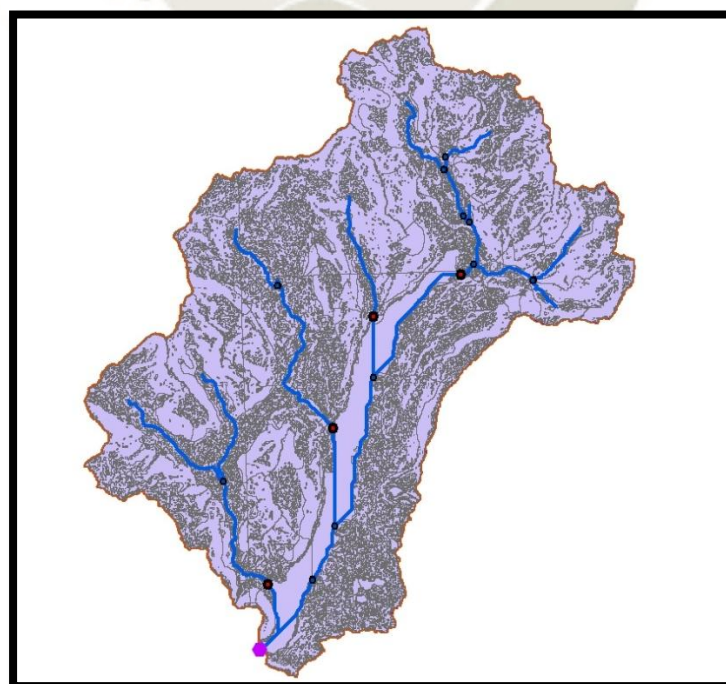


Figura 82. Captura de pantalla, datos de uso de suelo, tipo de suelo y pendientes superpuestos en la cuenca en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Luego, en la misma herramienta “HRU Analysis” se procede a la definición de HRUs, usando la opción “HRU Definition”, la cual despliega una ventana para definir el umbral para los HRUs de la cuenca. Marcamos “Multiple HRUs” para crear múltiples unidades de respuesta hidrológica con cada subcuenca. Luego tenemos escalas que controlan el nivel mínimo utilizado para eliminar las cantidades de uso de suelo, tipo de suelo o pendientes menores en cada subcuenca. Los usos de suelo, tipos de suelo o pendientes que cubran un porcentaje del área de la subcuenca menor que el nivel mínimo digitado serán eliminados. Después de esta eliminación, el área restante de uso de suelo, tipo de suelo o pendiente es repartida, de esta manera el 100% del área de uso de suelo, tipo de suelo o pendiente en la subcuenca es modelada. Consideramos que el porcentaje del uso de suelo debe ser 5%, para el tipo de suelo 10% y para la clase de pendientes 10%.

Con esto termina la definición de los HRUs.

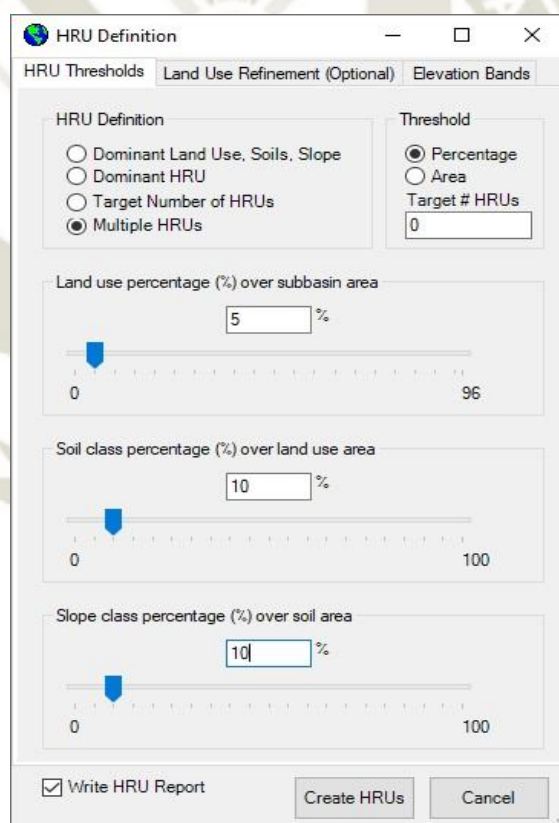


Figura 83. Captura de pantalla, ventana de definición de HRUs en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Escritura de Tablas de Entrada

Para continuar con el modelado de la cuenca, se requieren datos meteorológicos, para ingresarlos usamos la herramienta “Write Input Tables” (escritura de tablas de entrada), opción “Weather Stations” (estaciones meteorológicas), se abre una ventana con 6 pestañas: Weather Generator Data, Rainfall Data, Temperature Data, Relative Humidity Data, Solar Radiation Data y Wind Speed Data. En cada una de estas pestañas se pueden ingresar datos climatológicos anteriormente preparados.

Primero, para la pestaña “Weather Generator Data” seleccionamos del desplegable, “WGEN_user” indicando que usaremos una tabla de ubicaciones generada por el usuario.

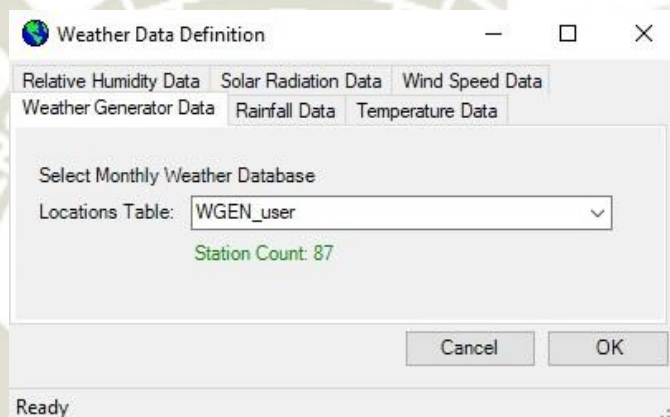


Figura 84. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos. Pestaña de generación de clima de SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Segundo, para la pestaña “Rainfall Data” marcamos la opción “Raingages” (pluviómetros), indicando que los datos son diarios en el desplegable elegimos “Daily”, luego cargamos el archivo de precipitaciones de extensión .txt correspondientes a nuestra cuenca.

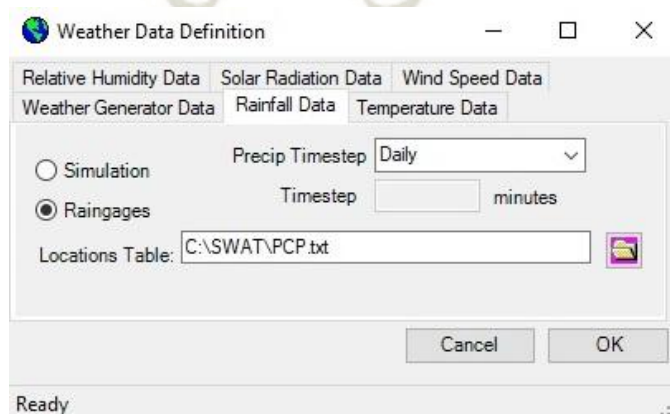


Figura 85. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos, pestaña de datos de precipitaciones de SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Tercero, para la pestaña “Temperature Data” marcamos la opción “Climate Stations” (estaciones climatológicas) y cargamos el archivo de temperaturas de extensión .txt correspondientes a nuestra cuenca.

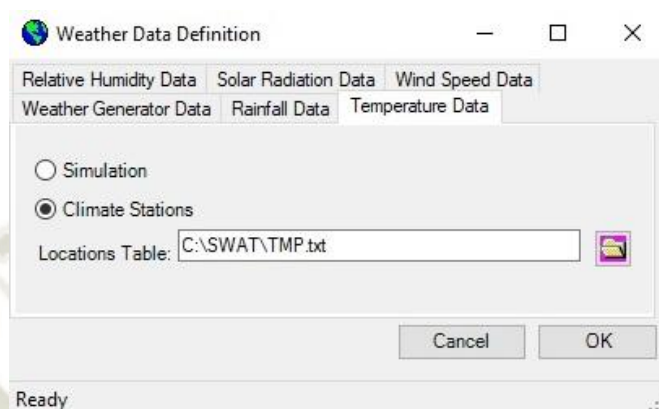


Figura 86. Captura de pantalla, ventana de definición de datos climatológicos, pestaña de datos de temperatura de SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Para las pestañas de Humedad Relativa (Relative Humidity), Radiación Solar (Solar Radiation) y Velocidad del Viento (Wind Speed) se usarán los valores por defecto.

Para escribir las tablas de entrada (base de datos SWAT) usamos la herramienta Write Input Tables/Write SWAT Input Tables. En la ventana marcamos la opción “Select All” (Seleccionar todos) y creamos las tablas.

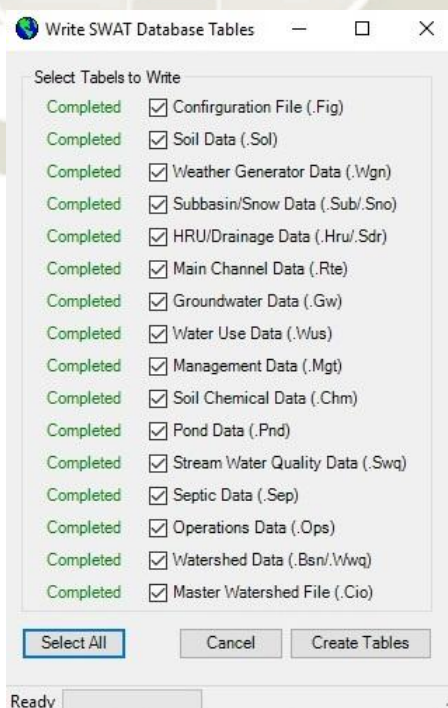


Figura 87. Captura de pantalla, ventana de escritura de tablas de entrada en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Esto concluye la escritura de las tablas de entrada.

Edición de Datos de Entrada de SWAT

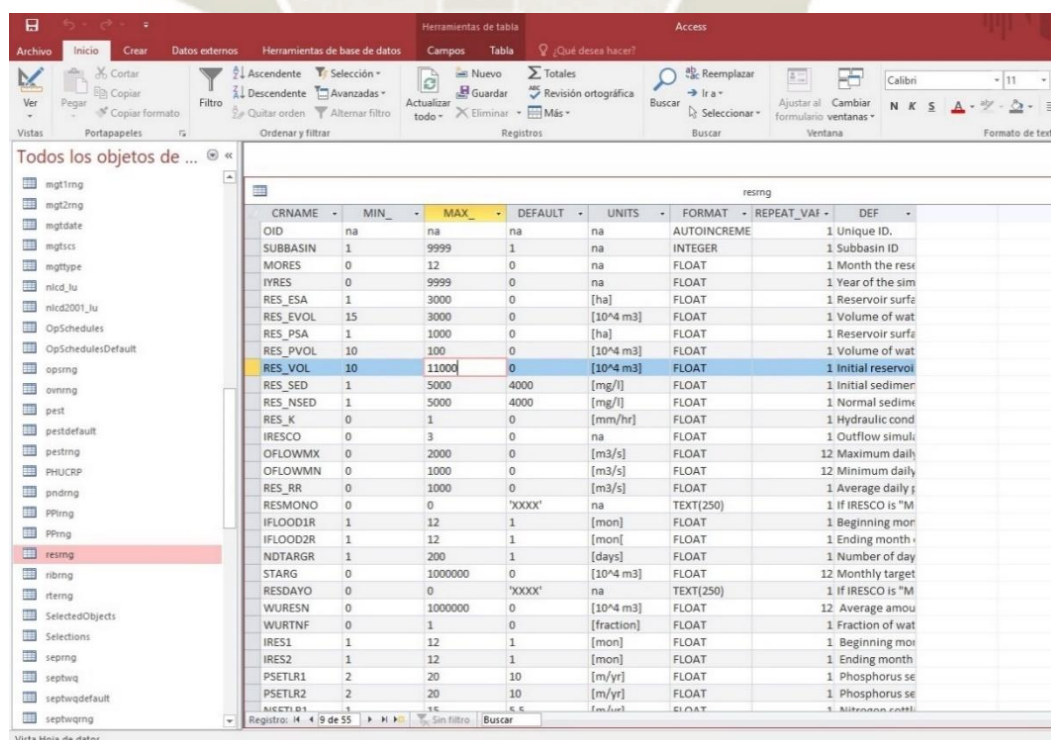
El menú Edit SWAT Input permite editar las bases de datos del modelo SWAT y las bases de datos de los archivos que contienen las entradas del flujo de caudal para el modelo. Para modificar datos de entrada del reservorio vamos a Edit SWAT Input/Reservoirs. La ventana que se abre nos indica que el reservorio está ubicado en la subcuenca número 27.



Figura 88. Captura de pantalla, ventana de selección de sub-cuenca perteneciente al reservorio en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Al presionar OK, se abre la ventana de edición de parámetros del reservorio, los parámetros sólo podrán ser editados al presionar “Edit Values” (editar valores). Primero cambiamos el máximo volumen del reservorio a 11000, en la tabla “resrng” que se encuentra en el archivo SWAT2012.mdb ubicado en la carpeta donde creamos nuestro proyecto de SWAT.



CRNAME	MIN	MAX	DEFAULT	UNITS	FORMAT	REPEAT_VAI	DEF
OID	na	na	na	na	AUTOINCREMENT	1	Unique ID.
SUBBASIN	1	9999	1	na	INTEGER	1	Subbasin ID
MORES	0	12	0	na	FLOAT	1	Month the rese
IYRES	0	9999	0	na	FLOAT	1	Year of the sim
RES_ESA	1	3000	0	[ha]	FLOAT	1	Reservoir surfe
RES_EVOL	15	3000	0	[10^4 m3]	FLOAT	1	Volume of wat
RES_PSA	1	1000	0	[ha]	FLOAT	1	Reservoir surfe
RES_PVOL	10	100	0	[10^4 m3]	FLOAT	1	Volume of wat
RES_VOL	10	11000	0	[10^4 m3]	FLOAT	1	Initial reservoi
RES_SED	1	5000	4000	[mg/l]	FLOAT	1	Initial sedim
RES_NSED	1	5000	4000	[mg/l]	FLOAT	1	Normal sedim
RES_K	0	1	0	[mm/hr]	FLOAT	1	Hydraulic cond
IRESCO	0	3	0	na	FLOAT	1	Outflow simul
OFLOWMX	0	2000	0	[m3/s]	FLOAT	12	Maximum dail
OFLOWMN	0	1000	0	[m3/s]	FLOAT	12	Minimum dail
RES_RR	0	1000	0	[m3/s]	FLOAT	1	Average dail
RESMONO	0	0	'XXXX'	na	TEXT(250)	1	If IRESCO is "M
IFLOOD1R	1	12	1	[mon]	FLOAT	1	Beginning mor
IFLOOD2R	1	12	1	[mon]	FLOAT	1	Ending month
NDTARGR	1	200	1	[days]	FLOAT	1	Number of day
STARG	0	1000000	0	[10^4 m3]	FLOAT	12	Monthly target
RESDAYO	0	0	'XXXX'	na	TEXT(250)	1	If IRESCO is "M
WURESN	0	1000000	0	[10^4 m3]	FLOAT	12	Average amou
WURTNF	0	1	0	[fraction]	FLOAT	1	Fraction of wat
IRES1	1	12	1	[mon]	FLOAT	1	Beginning moi
IRES2	1	12	1	[mon]	FLOAT	1	Ending month
PSETLR1	2	20	10	[m/yr]	FLOAT	1	Phosphorus se
PSETLR2	2	20	10	[m/yr]	FLOAT	1	Phosphorus se

Figura 89. Captura de pantalla, archivo SWAT2012.mbd en Microsoft Access.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Luego de modificar el valor máximo del reservorio a 11000, continuamos modificando los parámetros del reservorio en SWAT. Primero, en RES_VOL colocamos 6240 que es el valor del volumen inicial el 01 de enero del 2003 del reservorio real, luego en la sección “Reservoir Manegement” (gestión de reservorio) elegimos “Measured Daily Outflow” (descargas medidas diariamente) del desplegable en IRESO. En RESDAYO Table cargamos el archivo Outflow_PaÑe.txt anteriormente preparado. Finalmente guardamos los cambios (Save Edits).

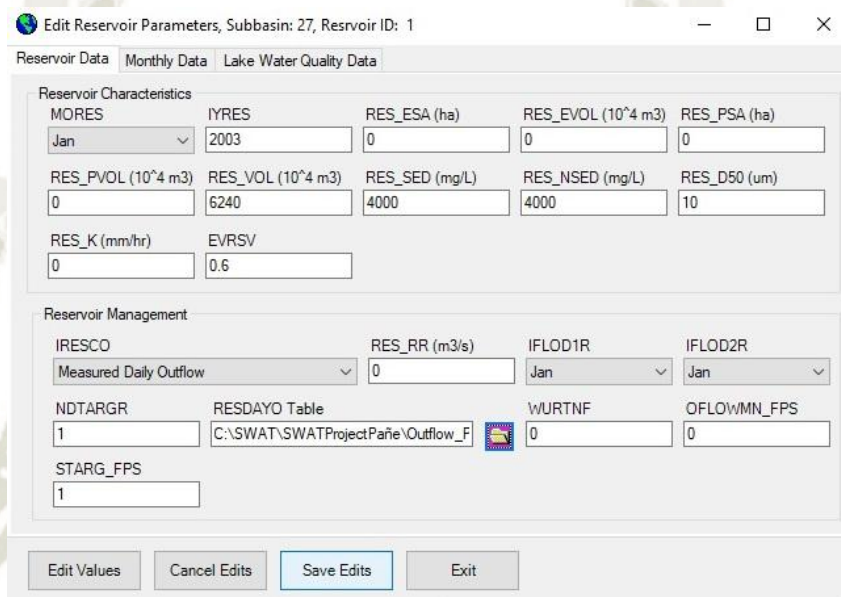


Figura 90. Captura de pantalla, ventana de edición de parámetros de reservorio en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Como las tablas de entrada han sido modificadas, es necesario que sean almacenados estos cambios, para lo cual es necesario ejecutar la herramienta “Rewrite SWAT Input Files”. Abrimos la ventana de Rewrite SWAT Input Files, donde podremos reescribir todos o algunos archivos. Seleccionamos “.Res/.Lwq” para actualizar el archivo de entrada del reservorio y reescribimos.

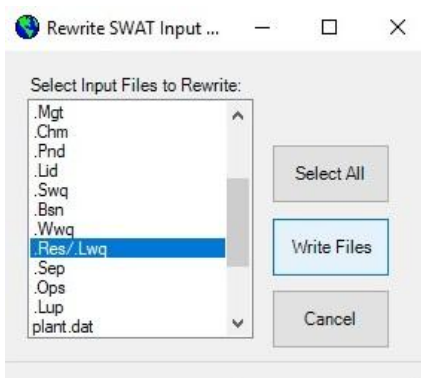


Figura 91. Captura de pantalla, ventana de re-escritura de datos de entrada en SWAT.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Con esto concluye la etapa de edición de datos de entrada de SWAT. El modelo ya está listo para ser ejecutado.

Simulación de SWAT

Para simular el modelo que hemos realizado primero hay que configurar la simulación en SWAT Simulation/Run SWAT. Se abre la ventana de configuración y simulación del modelo, seleccionamos el intervalo de fechas en las cuales se correrá el modelo, marcamos la opción “Monthly” (mensual), NYSKIP = 1 año y se elige el ejecutable del modelo de acuerdo a la computadora en la que se trabaje. Entonces se hace click en “Setup SWAT Run” para configurar el modelo para su simulación.

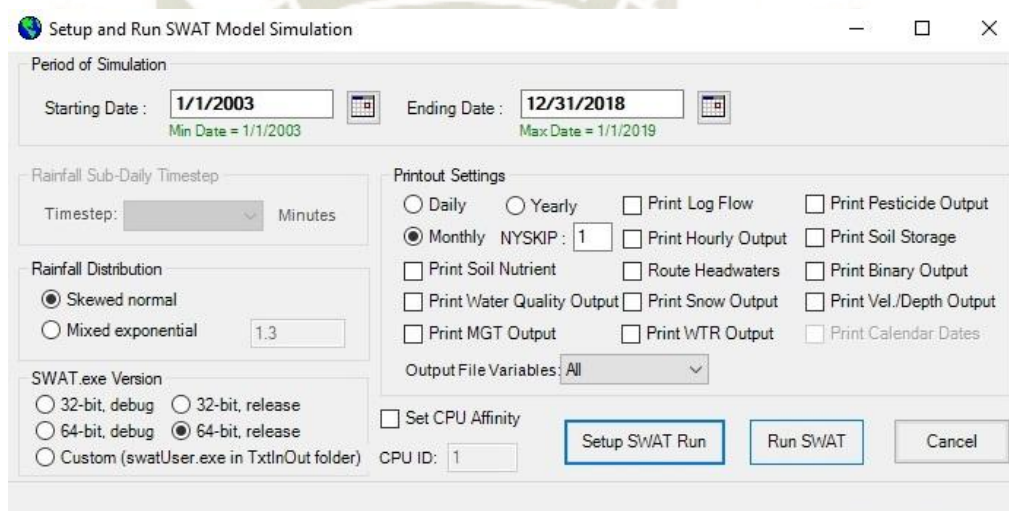


Figura 92. Captura de pantalla, ventana de configuración y ejecución de la simulación del modelo en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Finalmente, se corre el modelo presionando “Run SWAT”.

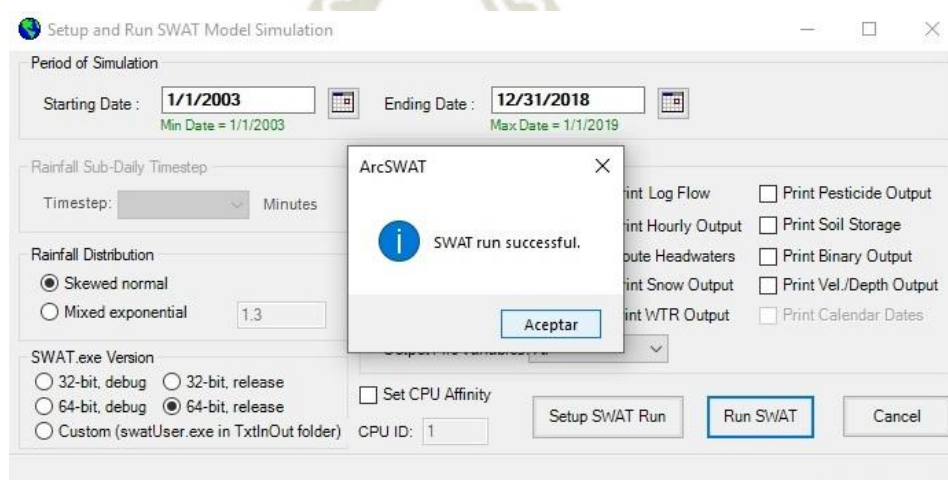


Figura 93. Captura de pantalla, notificación de simulación exitosa en SWAT.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

6.3.2. Validación del modelo

A continuación, se muestran los resultados de la aplicación del modelo con 1 año de NYSKIP, corresponde al periodo 2004 - 2018:

Coefficiente de correlación

$$r = 0.88$$

Nash (Q)

$$E = 0.75$$

Como se observa el coeficiente de calibración r es 0.88, muy cercano a 1 lo que indica un buen ajuste del modelo. Lo mismo ocurre con el número de eficiencia de Nash-Sutcliffe, que está entre el rango de 0.6 – 0.8 que indica un muy buen ajuste del modelo de SWAT para la subcuenca de la represa el Pañe.

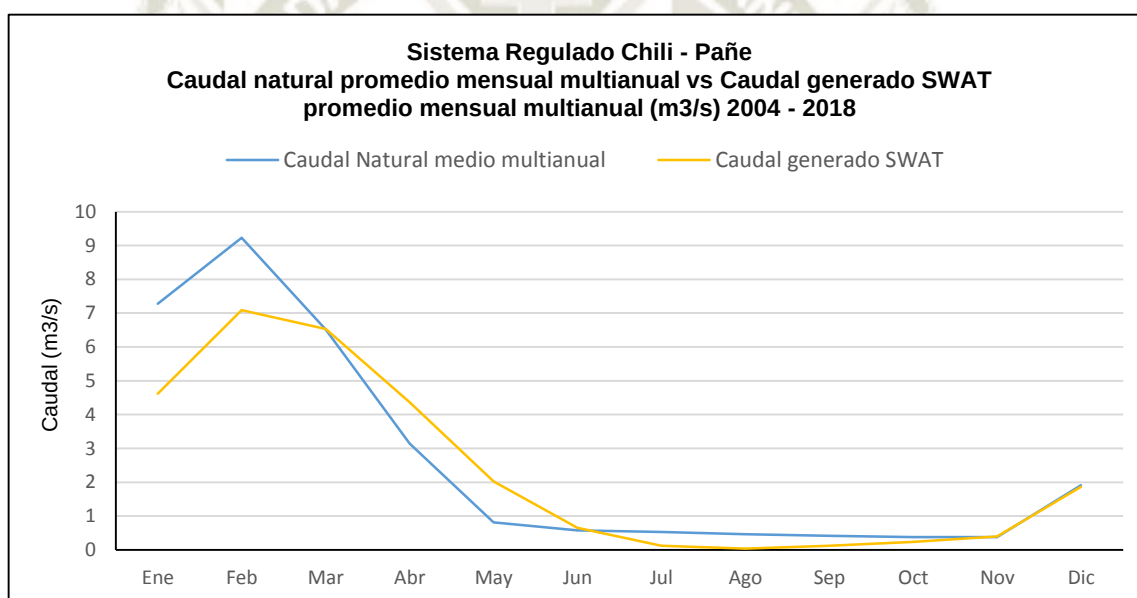


Figura 94. Caudal natural mensual multianual vs. Caudal generado SWAT mensual multianual – Periodo de validación (2004 – 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

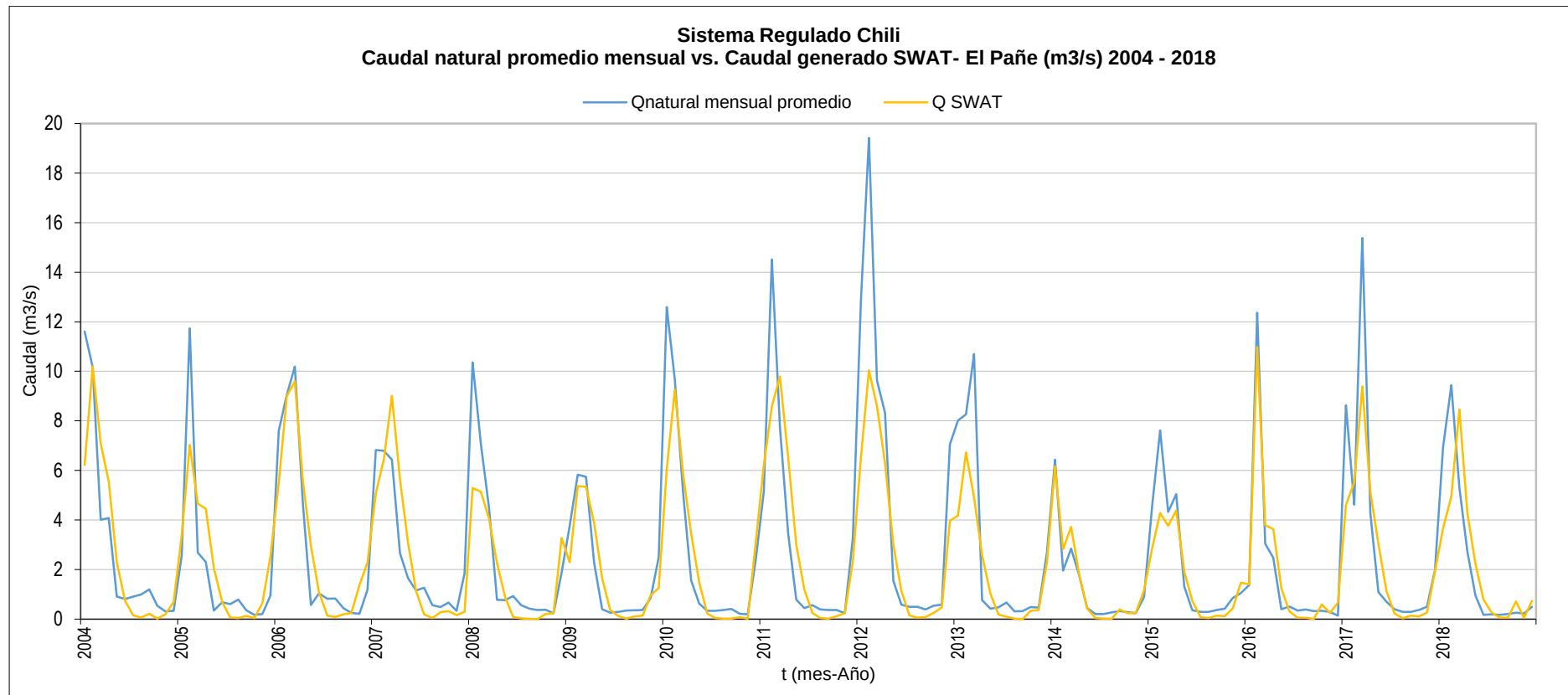


Figura 95. Caudal natural mensual vs Caudal generado SWAT mensual – Periodo de validación (2004 - 2018).

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

6.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta un resumen de los resultados estadísticos tras la aplicación de los 3 modelos a la subcuenca.

MODELO	VALIDACIÓN		
	Periodo	Coefficiente de correlación	Índice de Nash-Sutcliffe (NSE)
Témez	01/2004 - 12/2018	0.92	0.83
Lutz-Scholz	01/2004 - 12/2018	0.86	0.60
SWAT	01/2004 - 12/2018	0.88	0.75

Tabla 31. Comparación del índice de Nash-Sutcliffe y coeficiente de correlación entre los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019

Como se observa en la tabla anterior, el modelo de Témez presenta mejores resultados, ya que sus valores en el coeficiente de correlación e índice de Nash-Sutcliffe son los más altos.

El modelo de Lutz Scholz sobreestima muchos caudales pico en el periodo húmedo (noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo) y tiende a subestimar los caudales en los meses de estiaje.

El modelo de Témez tiende a subestimar también los caudales en los meses de estiaje, pero es el que más se aproxima a los caudales del periodo húmedo. Mientras que el modelo SWAT subestima caudales en el periodo húmedo.

En la siguiente figura se muestra el Hidrograma de los 3 modelos simulados y los caudales naturales de la subcuenca.

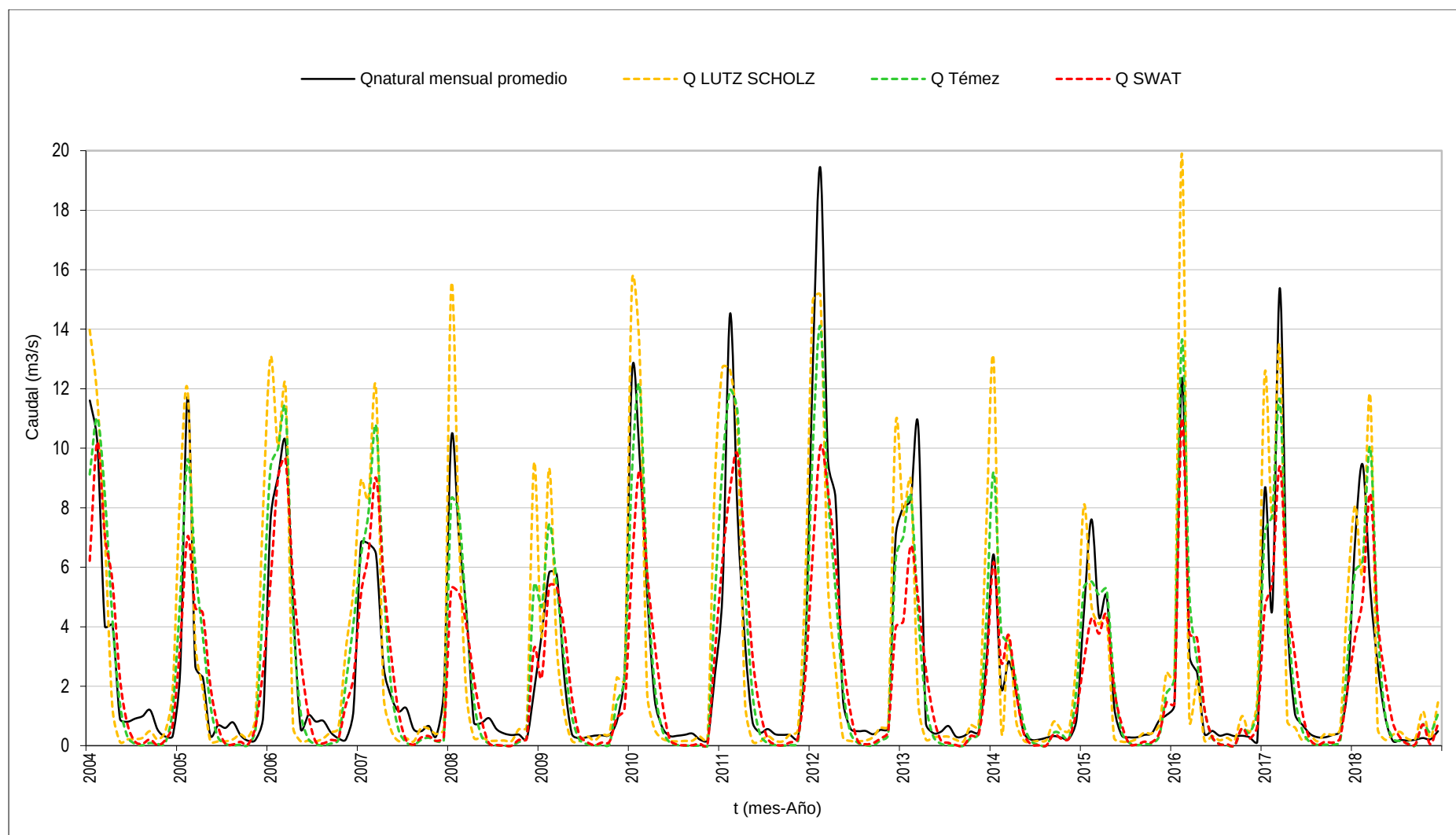


Figura 96. Hidrograma modelos de Témez, Lutz Scholz, SWAT y caudales naturalizados.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

CAPITULO. VII. EVALUACIÓN DEL CANAL PAÑE – SUMBAY

El Canal Pañe - Sumbay tiene como función derivar los recursos hídricos que son regulados por el embalse El Pañe y recursos hídricos no regulados provenientes de los ríos Bamputañe, Blanquillo, Colca y Antasalla. Fue construido en el año 1963.

En su tramo final toma el nombre de Canal Zamácola; este canal entrega sus aguas al río Sumbay, de la sub cuenca Chili.

Se desarrolla a una altitud comprendida entre los 4,580 msnm y 4,435 msnm; su recorrido es en términos generales de Norte a Sur, y tiene una longitud de 77.5 km.

Los ríos Bamputañe y Blanquillo son tributarios por la margen derecha del río Colca y son en gran parte derivados por el tramo de canal denominado Pañe Colca. El río Antasalla es tributario por la margen izquierda, y es integrado al Canal Pañe Sumbay mediante una bocatoma propia y un canal de pequeña longitud, que puede entregar sus recursos al embalse Dique de Los Españoles o al Canal Zamácola.

7.1. CANAL PAÑE – COLCA

7.1.1. Tramo Pañe-Bamputañe

Se desarrolla entre las progresivas km 0+000 (Embalse El Pañe) y km 5+432.50 (Río Bamputañe). Tiene una capacidad de conducción de 6.0 m³/s con una sección trapezoidal de 1.80 m de base, talud 0.6:1 y una pendiente promedio de 1.5/1000. Este tramo se ha revestido íntegramente de concreto armado.

El revestimiento en mampostería de piedra solo se presenta al final, en la rápida de entrega al río Bamputañe.

7.1.2. Tramo Río Bamputañe

Se desarrolla por el cauce natural del río Bamputañe a partir de la progresiva 5+432.50 km (colchón dissipador de la rápida de entrega al río Bamputañe) hasta la 13+397 (Bocatoma Bamputañe), con una longitud aproximada de 7.94 km.

7.1.3. Bocatoma Bamputañe

Ubicada sobre el río Bamputañe, deriva el agua hacia su margen izquierda. Tiene los siguientes componentes: barraje fijo, canal despedrador con compuerta (barraje móvil), ventana de captación, desripiador y aliviadero de demasías.

El barraje fijo funciona como vertedero de perfil Creager y tiene una longitud de 29.00 m. Puede soportar una avenida de diseño de 61 m³/s con una carga hidráulica de 1.20 m, considerando su estado actual de conservación y un borde libre de seguridad de 1.00 m. Las cotas de operación son nivel cresta de barraje: 4459.75 msnm, nivel máxima avenida: 4460.95 msnm.

El barraje móvil constituido por una compuerta plana deslizante de 3.00 m de luz con una abertura de izaje máxima de 2.00 m; puede evacuar un gasto máximo, trabajando parcialmente ahogado y considerando la carga hidráulica máxima (1.20 m) sobre el barraje fijo de 19.00 m³/s

Ambas estructuras pueden soportar una avenida de diseño de 80 m³/s con una carga hidráulica de 1.20 m.

La ventana de captación consiste en una toma de 4.00 m de ancho por 2.00 m de alto, con una rejilla a la entrada y luego una compuerta plana de 4.00 m de ancho. Bajo condiciones extremas de avenida, la ventana de captación trabajará como orificio parcialmente ahogado, aumentando consecuentemente el caudal a ser derivado a través de ella, por lo que se hace necesaria la reducción de la abertura de la compuerta de ingreso debido a la limitada capacidad de conducción del tramo de canal Pañe - Blanquillo (5 m³/s).

7.1.4. Tramo Bamputañe - Río Negro

Este tramo de canal se desarrolla entre las progresivas 13+397 (Bocatoma Bamputañe) y 15+970 (Sifón Río Negro). Con una sección trapezoidal de un ancho en la base de 2.00 m, talud 0.5:1 y una pendiente promedio de 6/10000, tiene una capacidad de conducción de 5.00 m³/s. El revestimiento es de mampostería de piedra.

7.1.5. Sifón Río Negro

Este tramo se desarrolla entre las progresivas 15+970 y 16+409.65; el canal cruza el Río Negro por medio de un sifón que consta de un tramo en concreto y otro de tubería metálica de 1.60 m de diámetro. El desnivel entre la entrada y salida es de 1.82 m.

7.1.6. Tramo Sifón Río Negro - Sifón Blanquillo

Este tramo de canal se desarrolla entre las progresivas 16+409.65 (Sifón Río Negro) y 41+152 (Sifón Río Blanquillo). Con una sección trapezoidal, un ancho en la base de 2.20 m, talud 0.5:1 y una pendiente promedio de 4/10000, tiene una capacidad de conducción de 5.00 m³/s.

Presenta diversos tramos con revestimiento de mampostería y revestimiento de concreto armado.

7.1.7. Sifón Blanquillo

Es el tramo ubicado entre las progresivas 41+152 y 41+220; el canal cruza el río Blanquillo por medio de un sifón de tubería metálica de 1.60 m de diámetro.

El desnivel entre la entrada y la salida es de 0.37 m.

7.1.8. Bocatoma y Canal Blanquillo

En el río Blanquillo se ha construido una bocatoma con el objeto de captar parte de las aguas de la cuenca de este río, las cuales son entregadas al canal Pañe-Sumbay en la progresiva km 41+592.38 mediante un canal de 2 m³/s, de sección trapezoidal y 2.5 km de longitud, revestido en su totalidad por mampostería de piedra.

La Bocatoma Blanquillo está compuesta por un barraje fijo y un barraje móvil por compuerta. El barraje fijo o vertedero de 14 m de longitud, considerando su estado actual de conservación y un borde libre de seguridad de 1.00 m, puede evacuar un gasto máximo de 22 m³/s con una carga hidráulica de 1.00 m.

7.1.9. Tramo Blanquillo - Jancolacaya

Este tramo de canal se desarrolla entre las progresivas 41+220 (Sifón Blanquillo) y 63+669 (Bocatoma Jancolacaya). Tiene una capacidad de conducción de 7.00 m³/s.

Presenta tramos revestidos con mampostería de pendiente promedio de 3/10,000, y tramos de canal en tierra con pendientes entre 4.2/10,000 a 6.5/10,000.

7.1.10. Bocatoma Jancolacaya

Ubicada sobre el río Colca, deriva el agua del río hacia la laguna El Indio, a su vez que permite el pase de las aguas del canal Pañe - Colca por medio de un sifón. Tiene los

siguientes componentes: barraje fijo, canal despedrador con compuerta (barraje móvil), ventana de captación, desripiador y aliviadero de demasías.

El barraje fijo tiene una longitud de 27.40 m, y considerando su estado actual de conservación y un borde libre de seguridad de 1.00 m, puede evacuar un gasto máximo de 64 m³/s con una carga hidráulica de 1.30 m. Las cotas de operación son nivel cresta del barraje: 4437.35 msnm, nivel de máxima avenida: 4438.65 msnm

El canal Pañe - Sumbay cruza el río Colca por medio de un sifón de 1.80 m de diámetro, el cual está construido en el cuerpo del barraje, canal despedrador y debajo del desarenador.

7.1.11. Tramo Jancolacaya - Laguna del Indio

Entre las progresivas 63+741.90 (Bocatoma Jancolacaya) y 67+842 el canal cruza la Laguna del Indio. El canal en este tramo tiene una capacidad de 13.5 m³/s. El lado derecho del canal es un pequeño dique de suelos con protección de roca llamado Dique del Indio. Este dique, sirve además como confinamiento del área del embalse Dique de Los Españoles. La Laguna del Indio es una pequeña depresión del terreno cerrada por el dique del mismo nombre y de 3 km de longitud.

7.1.12. Obras de Arte Diversas

El canal Pañe Sumbay, aparte de las estructuras u obras de arte mayores consideradas en cada uno de los tramos mencionados anteriormente, tiene a lo largo de su recorrido una serie de obras de arte de menor escala o dimensión, tales como 29 alcantarillas, 8 aliviaderos, 113 entregas o vertederos de agua de lluvia, 8 puentes vehiculares y 20 puentes peatonales.

7.2. CANAL ZAMÁCOLA

El canal se desarrolla entre las progresivas km 67+842 (Laguna del Indio) y km 77+550 (Entrega al río Sumbay). Tiene una pendiente de 3/10,000, es de sección trapezoidal con un ancho promedio en su base de 4.50 m y taludes sin revestir 1:1, con una capacidad normal de 29 m³/s. Se encuentra excavado en una zona plana sin particulares accidentes topográficos. Este canal es la obra más antigua en el sistema Chili, ya que es anterior a 1950 y su construcción se realizó con un trazo algo diferente al actual. Es propiamente el trasvase del río Alto Colca al río Chili.

Este tramo de canal prácticamente tiene un funcionamiento continuo durante todo el año, así no llegue agua a la toma Jancolacaya, tanto del canal Pañe como del río Colca, debido al aporte de la laguna el Indio y al hecho que este canal funciona como un gran dren de las Pampas de Imata.

En el canal Zamácola no se presentan problemas de pérdidas, sino problemas de estabilidad de taludes excavados en su mayoría en tierra, con la consecuente reducción de la capacidad de descarga y necesidad periódica de reperfilación y dragado.

7.3. BOCATOMA Y CANAL ANTASALLA

El Canal Antasalla es un canal secundario de 10.5 km de longitud, capacidad máxima nominal de 2.5 m³/s, de sección trapezoidal y revestido íntegramente con mampostería de piedra. Fue construido para la derivación de los recursos del río Anchaparra hacia el canal Zamácola.

La Bocatoma Antasalla está compuesta por un barraje fijo y un barraje móvil por compuerta. El barraje fijo o vertedero de 12 m de longitud, considerando su estado actual de conservación y un borde libre de seguridad de 1.00 m, puede evacuar un gasto máximo con una carga hidráulica de 0.80 m de 14 m³/s.

El barraje móvil está constituido por una compuerta plana deslizante de 2.00 m de luz con una abertura de izaje máxima de 1.50 m; y puede evacuar un gasto máximo, trabajando parcialmente ahogado y considerando la carga hidráulica máxima (0.80 m) sobre el barraje fijo, de 7.50 m³/s.

Bajo las consideraciones descritas, la Bocatoma Antasalla operada con su barraje móvil totalmente izado, puede evacuar una avenida máxima de 21.50 m³/s. La ventana de captación tiene 1.50 m de ancho y 1.00 m de alto.

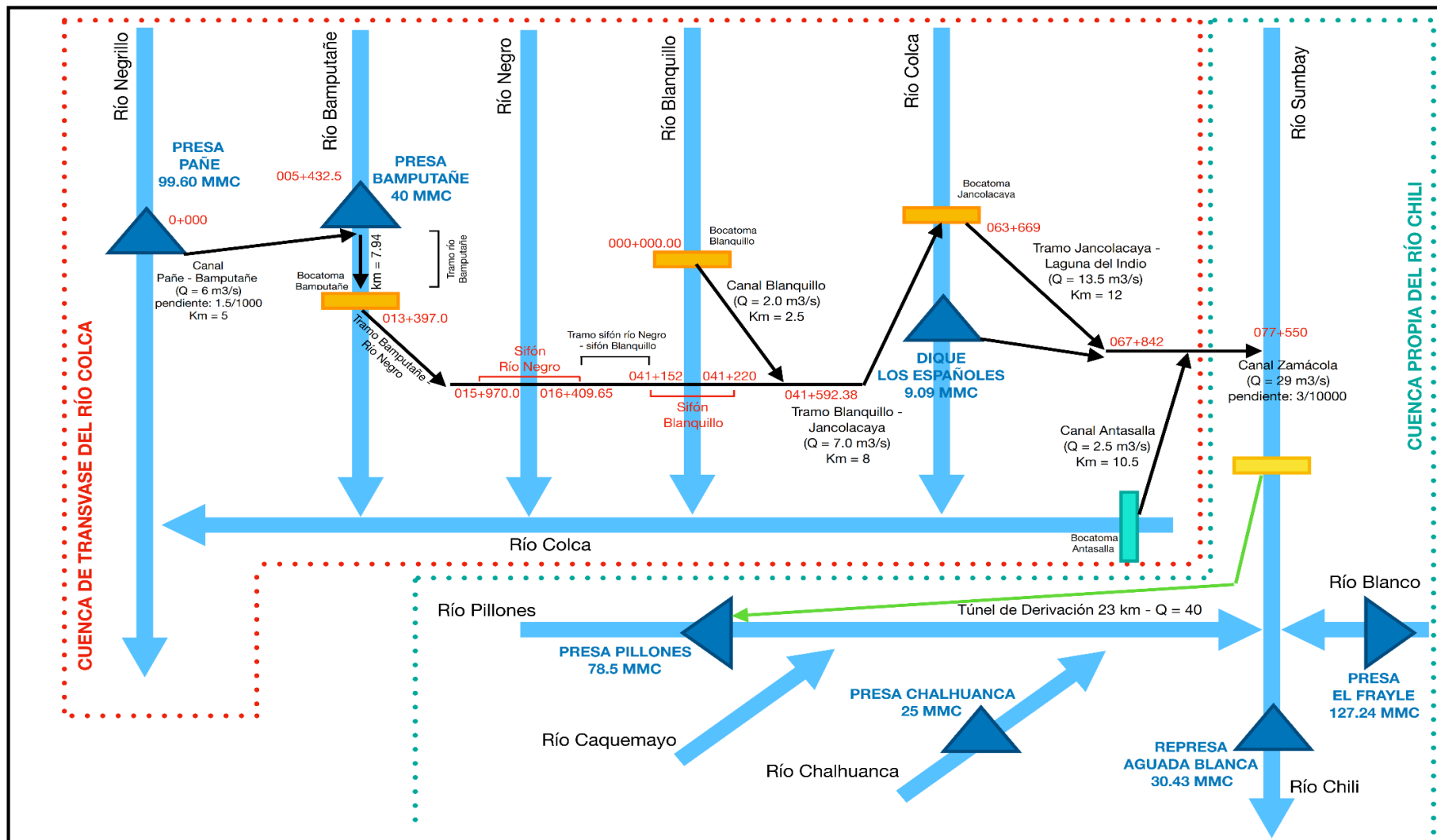


Figura 97. Esquema del canal Pañe-Sumbay.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

7.4. EFICIENCIA DEL TRASVASE

La eficiencia de conducción nos permite evaluar el estado de operación y mantenimiento del canal y cuantificar la pérdida de agua.

$$Ef_c = \frac{\text{Caudal al final del tramo a evaluar}}{\text{Caudal de agua al inicio del tramo a evaluar}} * 100$$

Los datos utilizados para hallar la eficiencia fueron recopilados directamente del área de estudio, cabe indicar que el caudal de descarga de la represa el Pañe fue 3m³/s mientras que la represa Bamputañe no presentó descargas, se aforó caudales desde la compuerta de amortiguamiento N°3; ya que esta se encontró parcialmente cerrada, reduciendo el caudal circulante aguas abajo después de éste; hasta la Bocatoma Bamputañe.



*Figura 98. Compuerta de amortiguamiento N°3 parcialmente abierta.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019*

Usamos el velocímetro HydroVision, es un sistema móvil de medición acústica, basado en el principio de Doppler, para medir la distribución de velocidades y profundidad del agua en una sección transversal, entregando el perfil de velocidades del agua. Para esto, el sensor está montado en una varilla de vadeo de 20 milímetros de diámetro, la cual se coloca en el fondo del canal o río cuyo caudal se medirá, y posteriormente el software AquaProfil

iniciará la medición, graba y evalúa los datos medidos y calcula la descarga según DIN EN ISO 748 (Hidrometría: medición del flujo de líquido en canales abiertos utilizando medidores de corriente o flotadores - ISO 748: 2007; Versión alemana EN ISO 748: 2007)

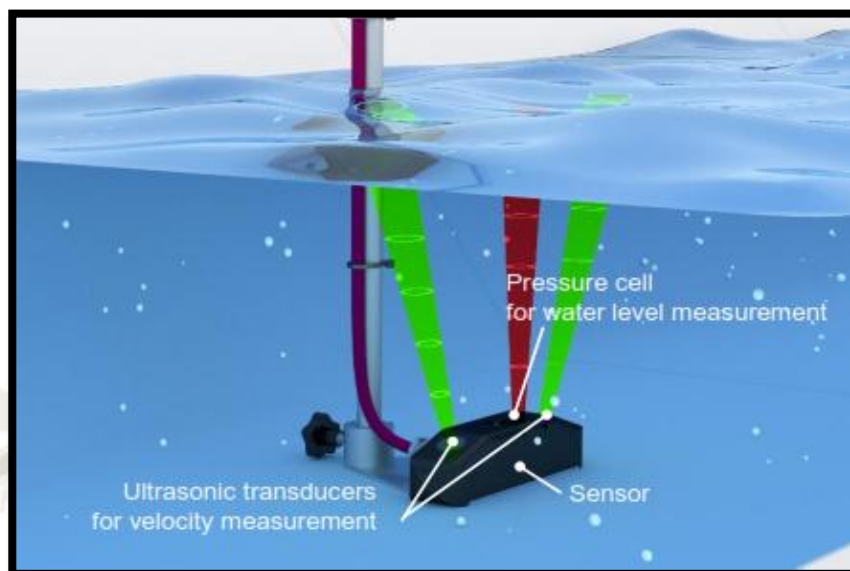


Figura 99. Principio de medición de AquaProfilers M-Pro.

Fuente: Figura obtenida de User Manual, AquaProfilers M-Pro, HydroVision, 2016

El sistema de medición fue desarrollado específicamente para aplicaciones en arroyos pequeños, ríos y canales. Las aplicaciones típicas varían desde una profundidad de agua de aproximadamente 0,15 m a 1 m, si las mediciones se hacen de pie en el agua. Para mediciones desde puentes, el sistema se puede usar para profundidades de agua de hasta 3 m.

La tecnología de sensores para mediciones de velocidad con el AquaProfilers M-Pro se encuentra dentro de una carcasa robusta y resistente a los impactos que se monta en una placa base triangular.

El sensor consta de 3 componentes:

- 2 transductores ultrasónicos
- Celda de presión hidrostática
- Sensor de temperatura

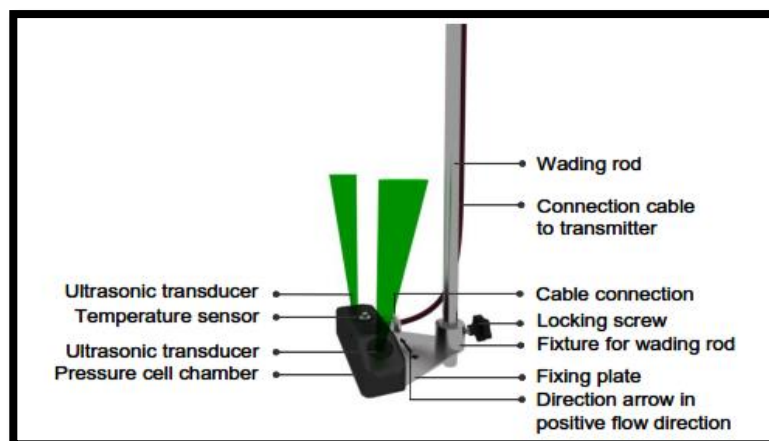


Figura 100. Componentes del sensor.

Fuente: Figura obtenida de User Manual, AquaProfilador M-Pro, HydroVision, 2016

7.4.1. Proceso de medición

Para aforar con el velocímetro, primero se debe calibrar el sensor a la presión atmosférica, para lo cual se inicia una medición con el software y con el sensor al aire libre, sin sumergirlo. Una vez calibrado el sensor, se procede con la medición de varias verticales, dependiendo del ancho del canal, para obtener el caudal y el perfil de velocidades del canal.

Para la medición de una sección transversal completa se requiere tomar varias verticales, el número de verticales a tomar dependerá del ancho del canal. La Tabla 32 sugiere la cantidad de verticales a tomar en función del ancho del canal a medir.

Channel width	Number of verticals
< 0,5 m	3 - 4
> 0,5 m and < 1 m	4 - 5
> 1 m and < 3 m	5 - 8
> 3 m and < 5 m	8 - 10
> 5 m and < 10 m	10 - 20
> 10 m	> 20

Tabla 32. Número de mediciones sugerido en función al ancho del canal a medir.

Fuente: Tabla obtenida de User Manual, AquaProfilador M-Pro, HydroVision, 2016.

Una vez tomadas las verticales necesarias de acuerdo al ancho del canal, el aforo de ese punto estaría completado.



Figura 101. Medición del canal, tramo Pañe-Bamputañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

Los componentes del sistema AquaProfilor utilizados son los siguientes:

- Sensor con varilla de vadeo y cable.
- Transmisor
- Software AquaProfilor.
- Batería
- Manubrio para varilla con nivel.
- Mochila a prueba de agua.



Figura 102. Componentes del sistema AquaProfilor para la medición de caudales.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

7.4.2. Puntos de Aforo

El canal Pañe - Sumbay, descrito anteriormente, representa para la cuenca Chili, la inclusión de los recursos hídricos de la sub cuenca Alto Colca. Para establecer los planes de descarga de los embalses del sistema, se tiene puntos que facilitan el aforo de caudales.

Los puntos de aforo de las progresivas 0+616.9 y 13+445 (cerca de la Bocatoma Bamputañe) son los únicos que presentan puentes para aforar y son de sección rectangular, el punto de aforo de la progresiva 0+262.4 también presenta un puente para aforar. El resto de puntos aforados son de sección trapezoidal.

- **Progresiva 0+262.4**

Punto de aforo ubicado en la progresiva 0+262.4 del canal, cuenta con un puente para aforar, el canal es revestido de concreto y de sección trapezoidal.



*Figura 103. Punto de aforo progresiva 0+262.4.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.*

En este punto de aforo se realizaron 6 mediciones, obteniéndose 6 verticales para el desarrollo del perfil de velocidades de la sección transversal.

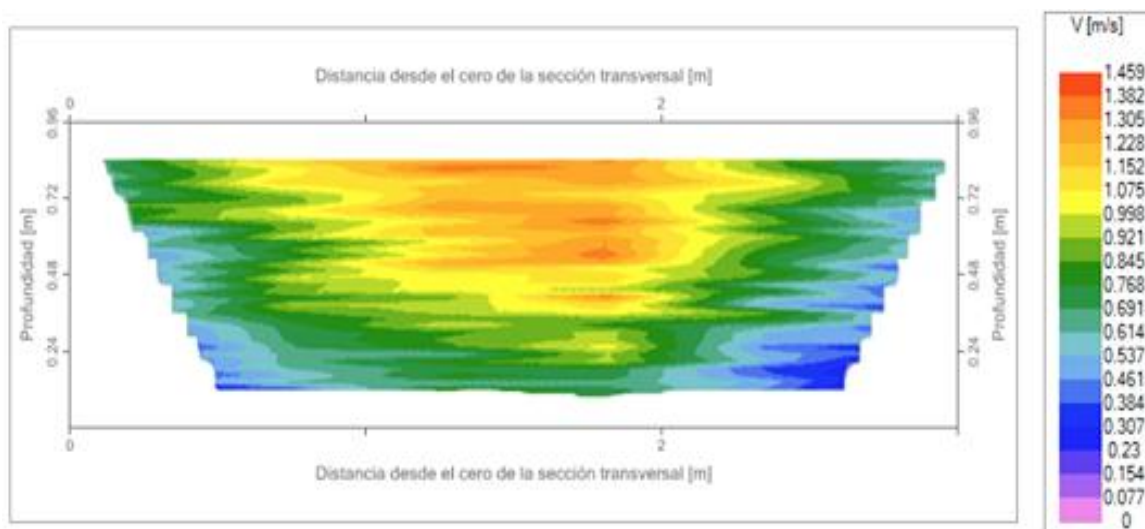


Figura 104. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 0+262.4 del canal, elaborado con el programa HydroVision.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

La tabla resumen nos muestra datos para cada vertical, la profundidad del agua, velocidad media, caudal superficial, caudal medio, caudal en el fondo y el caudal total.



puente carretera / pañe / 1

Metodo de calculo / Metodo Transversal Central											
Nr.	Distancia [m]	Nivel [m]	Profundidad [m]	Ancho [m]	Area [m ²]	Vel. Media [m/s]	Caudal superficial [m ³ /s]	Caudal medio [m ³ /s]	Caudal en fondo [m ³ /s]	Caudal Total [m ³ /s]	Caudal Total [%]
1	0.50	0.000	0.955	0.75	0.48	1.204	0.157	0.369	0.048	0.575	22.03 %
2	1.00	0.000	0.950	0.50	0.48	1.267	0.165	0.386	0.051	0.602	23.07 %
3	1.50	0.000	0.941	0.50	0.47	1.089	0.140	0.328	0.044	0.512	19.64 %
4	2.00	0.000	0.945	0.50	0.47	0.962	0.124	0.291	0.039	0.454	17.42 %
5	2.50	0.000	0.959	0.50	0.48	0.718	0.094	0.221	0.029	0.344	13.20 %
6	3.00	0.000	0.959	0.25	0.24	0.504	0.033	0.078	0.010	0.121	4.64 %
Total					2.615	0.998	27.35 %	64.17 %	8.48 %	2.609	
Total											
Area				2.615 m ²							
Vel. Media				0.998 m/s							
Caudal Total				2.609 m ³ /s							

Tabla 33. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 0+262.4 del canal, elaborado con el programa HydroVision.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

- Progresiva 0+616.9**

Punto de aforo ubicado en la progresiva 0+616.9 del canal, cuenta con un puente para aforar, el canal es revestido de concreto y de sección rectangular con un ancho de 2.5 m en la zona de aforo.



Figura 105. Punto de aforo progresiva 0+616.9.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

En este punto de aforo se realizaron 6 mediciones, obteniéndose 6 verticales para el desarrollo del perfil de velocidades de la sección transversal.

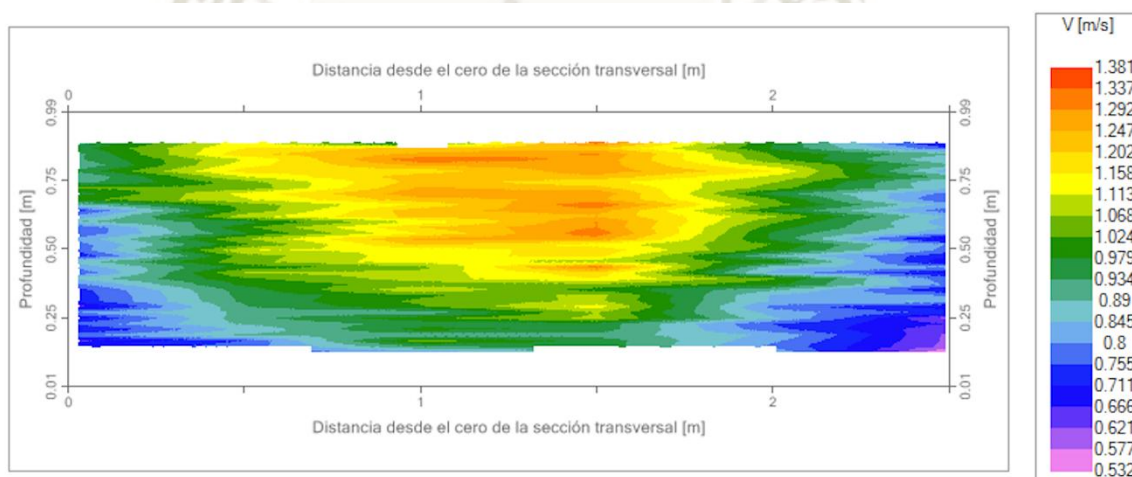


Figura 106. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 0+616.9 del canal, elaborado con el programa HydroVision.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

La tabla resumen nos muestra datos para cada vertical, la profundidad del agua, velocidad media, caudal superficial, caudal medio, caudal en el fondo y el caudal total.

Metodo de calculo / Metodo Transversal Central											
Nr.	Distancia [m]	Nivel [m]	Profundidad [m]	Ancho [m]	Area [m²]	Vel. Media [m/s]	Caudal superficial [m³/s]	Caudal medio [m³/s]	Caudal en en fondo [m³/s]	Caudal Total [m³/s]	Caudal Total [%]
1	0.00	0.000	0.965	0.25	0.24	0.786	0.055	0.121	0.013	0.190	7.92 %
2	0.50	0.000	0.964	0.50	0.48	0.990	0.139	0.305	0.032	0.477	19.90 %
3	1.00	0.000	0.982	0.50	0.49	1.104	0.158	0.348	0.036	0.542	22.62 %
4	1.50	0.000	0.963	0.50	0.48	1.153	0.162	0.355	0.038	0.555	23.17 %
5	2.00	0.000	0.973	0.50	0.49	0.928	0.132	0.289	0.030	0.451	18.85 %
6	2.50	0.000	0.996	0.25	0.25	0.724	0.053	0.116	0.012	0.181	7.54 %
Total					2.431	0.985	29.19 %	64.09 %	6.73 %	2.396	

Total	
Area	2.431 m²
Vel. Media	0.985 m/s
Caudal Total	2.396 m³/s

Tabla 34. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 0+616.9 del canal, elaborado con el programa HydroVision.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

- Progresiva 1+900**

La sección a lo largo del tramo Pañe – Bamputañe es trapezoidal, como se indicó anteriormente, al igual que este punto de aforo, hasta la rápida de entrega al rio Bamputañe (5+432.5) presentan la misma sección.

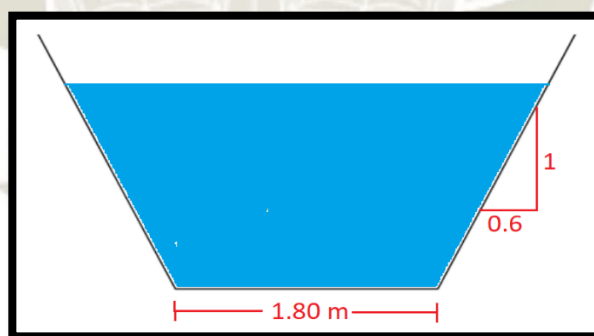


Figura 107. Sección transversal del canal.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Esta sección presenta un tirante promedio de $y = 0.739$ m.

Total	
Área	1.658 m²
Vel. Media	1.342 m/s
Caudal Total	2.225 m³/s

Tabla 35. Tabla de caudales para la progresiva 1+900.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

Cincuenta metros antes de la progresiva 2+300 el canal es techado hasta la progresiva 3+200 por lo que no se realizó aforos en ese tramo.



Figura 108. Inicio del tramo del canal techado.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

- **Progresiva 3+800**

Esta sección presenta un tirante promedio de $y = 0.767$ m.

Total	
Área	1.734 m ²
Vel. Media	1.277 m/s
Caudal Total	2.214 m ³ /s

Tabla 36. Tabla de caudales para la progresiva 3+800.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

- **Progresiva 4+300**

Esta sección presenta un tirante promedio de $y = 0.828$ m.

Total	
Área	1.902 m ²
Vel. Media	1.131 m/s
Caudal Total	2.150 m ³ /s

Tabla 37. Tabla de caudales para la progresiva 4+300.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.



Figura 109. Progresiva 4+300.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

- **Progresiva 4+800**

Esta sección presenta un tirante promedio de $y = 0.894$ m.

Total	
Área	2.089 m ²
Vel. Media	0.979 m/s
Caudal Total	2.044 m ³ /s

Tabla 38. Tabla de caudales para la progresiva 4+800.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

- **Progresiva 13+445**

Cuenta con limnógrafo, está ubicada al inicio del tramo de canal Bamputañe-Sifón Río Negro, inmediatamente después de la bocatoma Bamputañe. La sección de control cuenta con un puente para aforar, el canal es revestido de concreto y de sección rectangular, con dimensiones de 2.57 m de ancho y 2 m de altura. Pero el resto del canal en la zona es revestido de piedra y de sección trapezoidal.



Figura 110. Aforo de la progresiva 13+445, cerca de la Bocatoma Bamputañe.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019

En el estiaje mide las descargas que provienen del embalse El Pañe y los recursos propios del río Bamputañe. En los periodos húmedos, cuando el embalse El Pañe está cerrado, mide la totalidad de recursos del río Bamputañe, o una fracción de estos, cuando logran superar la capacidad de conducción del canal. Cuando en el periodo húmedo el embalse El Pañe está en funcionamiento, en algunos años normales o secos, la estación mide los recursos regulados del Pañe y los del río Bamputañe. No debe ser confundida con la E.H. Bamputañe, ya desactivada, que está sobre el puente Jahuay.

En este punto de aforo se realizaron 6 mediciones, obteniendo 6 verticales para el desarrollo del perfil de velocidades de la sección transversal.

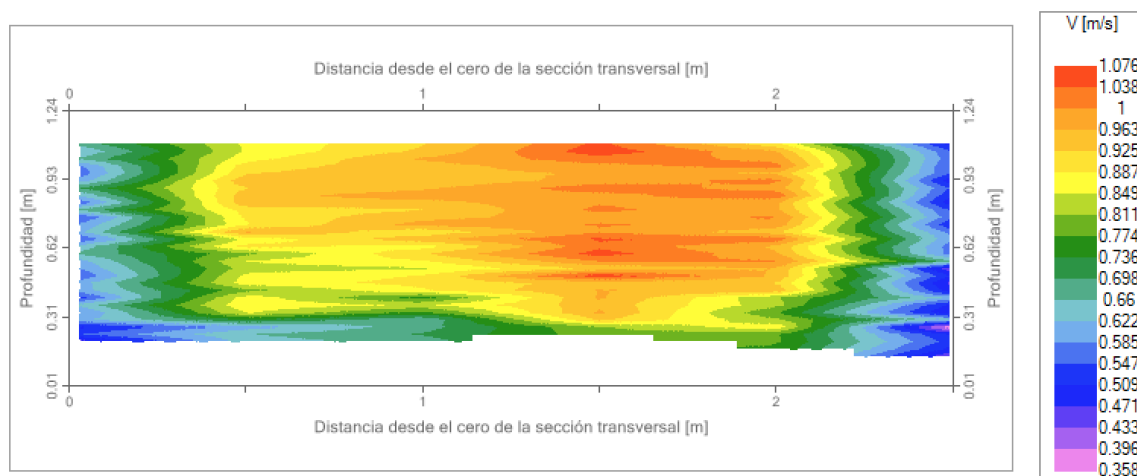


Figura 111. Perfil de velocidades correspondiente al aforo realizado en la progresiva 13+445 del canal, elaborado con el programa HydroVision.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

La tabla resumen nos muestra datos para cada vertical, la profundidad del agua, velocidad media, caudal superficial, caudal medio, caudal en el fondo y el caudal total.

Metodo de calculo / Metodo Transversal Central											
Nr.	Distancia [m]	Nivel [m]	Profundidad [m]	Ancho [m]	Area [m²]	Vel. Media [m/s]	Caudal superficial [m³/s]	Caudal medio [m³/s]	Caudal en fondo [m³/s]	Caudal Total [m³/s]	Caudal Total [%]
1	0.00	0.000	1.169	0.25	0.29	0.568	0.045	0.109	0.011	0.166	6.85 %
2	0.50	0.000	1.155	0.50	0.58	0.853	0.135	0.323	0.034	0.492	20.30 %
3	1.00	0.000	1.145	0.50	0.57	0.873	0.137	0.328	0.035	0.500	20.62 %
4	1.50	0.000	1.122	0.50	0.56	0.982	0.151	0.361	0.039	0.551	22.73 %
5	2.00	0.000	1.187	0.50	0.59	0.939	0.152	0.367	0.037	0.557	22.99 %
6	2.50	0.000	1.233	0.25	0.31	0.511	0.043	0.104	0.010	0.158	6.51 %
Total					2.905	0.834	27.35 %	65.75 %	6.90 %	2.424	

Total	
Area	2.905 m²
Vel. Media	0.834 m/s
Caudal Total	2.424 m³/s

Tabla 39. Tabla resumen del aforo realizado en la progresiva 13+445 del canal, elaborado con el programa HydroVision.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

7.4.3. Calculo de la eficiencia de conducción

Calcularemos la eficiencia del tramo Pañe-Bamputañe de longitud 5432.5 metros, que finaliza en la rápida de entrega al río Bamputañe.

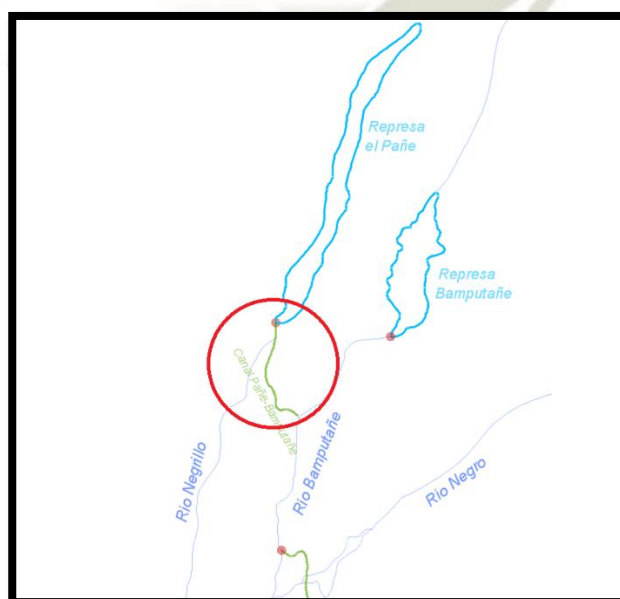


Figura 112. Vista en planta de la ubicación del tramo aforado.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

$$Ef_c = \frac{\text{Caudal al final del tramo a evaluar}}{\text{Caudal de agua al inicio del tramo a evaluar}} * 100\%$$

$$Ef_c = \frac{2.044}{2.609} * 100\%$$

$$Ef_c = 78.344 \%$$

7.4.4. Evaluación general de las condiciones y de las alternativas de solución del canal Pañe – Bamputañe

Desde 1986 se han ejecutado trabajos de rehabilitación más serios y sistemáticos. Así, el tramo Pañe-Bamputañe se ha revestido íntegramente en concreto armado (5.5 km)

Su trazo se desarrolla entre los 4400 – 4500 m.s.n.m. La zona en que se desarrolla el canal, por ser alto – andina el clima es seco y frío. Presenta cambios de temperaturas extremos entre el día y la noche. El promedio anual de temperaturas máximas alcanza los 11.20 °C y las mínimas -4.5 °C, siendo el rango de variación diaria de 15.7 °C. Esta diferencia diaria se acentúa en los meses de junio y julio y alcanza los 19 °C. La radiación solar guarda una estrecha relación con la temperatura en el día, siendo común que entre un día nublado y otro con sol haya una diferencia de temperatura de unos 5.6 °C. También los vientos son persistentes principalmente en las tardes y comúnmente adquieren características de ventarrones.

El canal fue construido en 1963. Desde su funcionamiento este canal ha presentado una serie de problemas en su revestimiento, los mismos que se manifiestan en importantes pérdidas del recurso hídrico que trasvasa.

La principal manifestación física de su deterioro se observa en la erosión y resquebrajamiento de las paredes del canal, que forman oquedades en el fondo del canal debido a la acción erosiva de la corriente de agua por el contenido de sedimentos en suspensión que arrastra.



*Figura 113. Detalle del deterioro del canal.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.*

El resultado final es que el canal presenta pérdidas por filtración, las causas que originan este problema en el deterioro del canal son de origen diverso, entre las cuales pueden enumerarse las siguientes:

- Extrema variabilidad de la temperatura del medio ambiente y fuertes condiciones intempéricas. El deterioro del revestimiento de concreto se debe a las condiciones de operación que el sistema Chili regulado impone, ya que en algunos meses del año no circula agua por el canal (generalmente octubre – diciembre) por que no se descarga agua de la represa el Pañe, dejando expuesto su fondo y paredes por mucho tiempo a las fuertes condiciones intempéricas de la zona.
Evidentemente, en un canal donde el agua circule permanentemente serviría como termorregulador impidiendo que el revestimiento este expuesto a temperaturas inferiores a 0 °C.
- La naturaleza de los agregados utilizados en su construcción, los agregados utilizados en la mezcla de concreto son de naturaleza volcánica (andesítica) que es susceptible a la reacción álcali-agregado, lo que desencadena en el envejecimiento prematuro del concreto.
- Procedimientos constructivos deficientes, evidentemente no se tomó en cuenta los cuidados constructivos para producir una adecuada fragua, por ejemplo la congelación del concreto húmedo ocasiona su destrucción y no fragua correctamente por lo que el concreto será de baja resistencia a los agentes abrasivos.

Las principales alternativas de solución tomadas en cuenta para mejorar la eficiencia de conducción son las siguientes:

- El uso de incorporadores de aire. Después de más de 40 años de trabajos de mantenimiento y reparaciones en el tramo Pañe-Bamputañe, de acuerdo al informe “Ordenamiento Del Sistema De Gestión De Los Recursos Hídricos Cuenca Quilca-Chili” del INRENA, una alternativa sería la de reemplazar por tramos el canal con una mezcla con incorporadores de aire, para garantizar una mejor durabilidad del concreto, ya que crea una reserva de volumen de vacíos, los cuales absorben y acomodan el agua congelada, evitando agrietamientos y fisuras en el concreto. La protección proporcionada con el aire incorporado es de forma permanente para ciclos repetidos de congelación y deshielo, algo propio de las regiones alto-andinas. Mas debe su uso ser limitado, pues se sabe que si su dosificación se excede tiende a disminuir la resistencia del concreto.
- La utilización de cementos Puzolánicos; de la misma forma que con los incorporadores de aire, reemplazar por tramos el canal; esto serviría para contrarrestar la reacción álcali – agregado y lograr un concreto de alta resistencia, inalterabilidad e impermeabilidad ante los agentes exteriores.
- Cuidados constructivos, es un aspecto muy importante para obtener concreto con resistencias altas y resistan las condiciones intempéricas de la zona.
- La utilización de geomembranas, es una de las mejores alternativas para reducir la pérdida de agua que transporta el canal, debe revestirse íntegramente todo el tramo del canal con geomembranas, para esto lo más recomendable es hacer un estudio para evaluar el tipo de geomembrana a usar ya que por la ubicación del canal debe tener una alta resistencia a los rayos UV, fuerzas externas como la caída de hielo y efectos mecánicos del viento; algo constante en esta zona.

CAPITULO. VIII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los recursos hídricos de la subcuenca son alimentados por las precipitaciones que ocurren entre los meses de octubre-abril. Los principales tributarios de la subcuenca Pañe son las quebradas Huilachanca, Japu, Sañuta y Catamayo. Los cauces de riachuelos fluyen principalmente en la época de lluvias, las que se desplazan por el fondo de las quebradas que desembocan en la represa El Pañe.

El embalse El Pañe se encuentra sobre el río Negrillo, tributario del río Colca, a una altitud media de 4,890.00 msnm. Regula los recursos hídricos propios de la laguna Pañe y de una cuenca húmeda de 195.91 Km².

La represa El Pañe no es causante del déficit hídrico de la cuenca debido a que de manera natural dicho déficit existe entre abril y octubre y es producto de la evaporación y ausencia de precipitación en la sub-cuenca. Sin embargo, sería conveniente no descargar totalmente el reservorio durante los meses de septiembre y octubre, así mismo mantener un volumen útil de por lo menos 20 Hm³ durante el mes de noviembre y principios de diciembre a fin de mitigar los impactos negativos de la generación de polvos por la acumulación de sedimentos en el cuerpo de la represa.

8.1. BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA

Se cuenta con el área de la sub-cuenca, también con la precipitación areal y los caudales afluentes promedio (1975 – 2018).

Área	195.91	km ²
Q	2.58	m ³ /s
Q	81.36	hm ³ /año
Precipitación	747.06	mm/año

Tabla 40. Tabla de resultados, área, caudal y precipitación.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

A partir de estos datos se calcula la escorrentía total en la sub-cuenca y la evapotranspiración.

R	415.31	mm/año
ET	331.75	mm/año

Tabla 41. Tabla de resultados, escorrentía y evapotranspiración.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

El caudal efluente es regulado por la represa El Pañe. A continuación, se muestra el caudal efluente promedio para el periodo 1975 – 2018.

Q	2.30	m ³ /s
Q	72.53	hm ³ /año

Tabla 42. Tabla de resultados, caudal efluente periodo 1975-2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

El modelo que mejor representa el comportamiento lluvia – escorrentía de la sub-cuenca es el modelo de Témez, sus parámetros nos indican:

- La humedad máxima “ H_{max} ”, indicador de la capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo, en la sub-cuenca es de 59.63 mm lo que indica una pobre vegetación y poca retención de agua en el suelo.
- El coeficiente reductor “ C ” es 0.1
- La infiltración máxima “ I_{max} ” en la sub-cuenca es de 427.78 mm, expresa la cantidad máxima de agua que puede infiltrarse en el terreno en un mes, no depende exclusivamente de las propiedades del suelo, sino también de la intensidad y concentración de las precipitaciones.
Como el valor de I_{max} excede a 400 mm se afirma que la subcuenca estudiada presenta un clima con lluvias persistentes.
- El coeficiente de curva de agotamiento “ α ” es 0.05 1/día que es la característica de la unidad hidrográfica que define su ley exponencial de agotamiento, de ésta se deduce las reservas subterráneas.

En resumen, en el modelo de Témez, sus 4 parámetros cumplen las siguientes funciones:

- H_{max} y C regulan el almacenamiento de agua en el suelo.
- I_{max} separa la escorrentía superficial de la subterránea.
- El parámetro α regula el drenaje subterráneo.

El modelo SWAT también representa de forma óptima el modelo de lluvia – escorrentía de la sub-cuenca estudiada, por eso se tomaron los resultados obtenidos en SwatCheck que nos ayudó a obtener una mejor visión general de la hidrología de nuestra sub-cuenca.

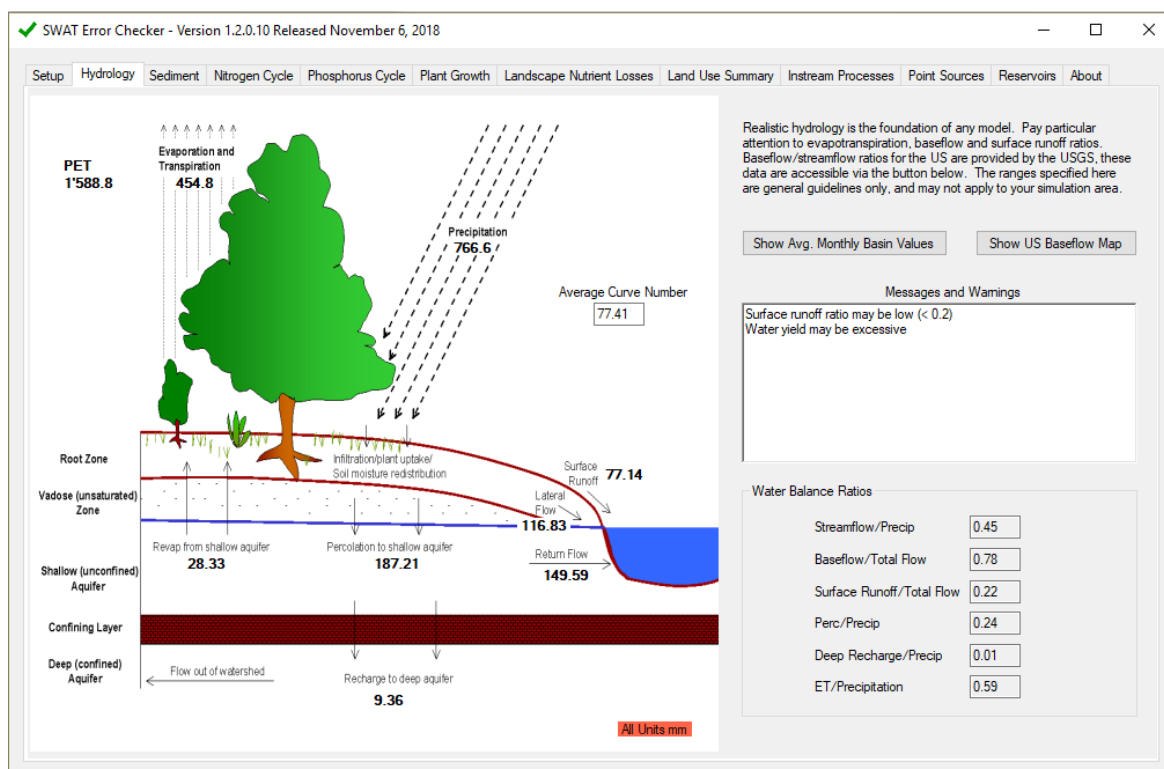


Figura 114. Captura de pantalla, herramienta SWATCheck, pestaña de hidrología.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Indicador	Valores anuales promedio	Unidades
Precipitación	766.60	mm
ET	454.80	mm
ETP	1588.80	mm
Numero de curva promedio	77.41	mm
Escorrentía superficial	77.14	mm
Flujo subterráneo lateral	116.83	mm
Flujo de retorno	149.59	mm
Agua evapotranspirada desde el acuífero	28.33	mm
Agua percolada al acuífero	187.21	mm
Recarga del acuífero	9.36	mm

Tabla 43. Tabla resumen, resultados de SWATCheck.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

Streamflow es el flujo total (escorrentía superficial, flujo subterráneo lateral y flujo de retorno) de la subcuenca, Baseflow es el flujo de agua subterráneo total (flujo subterráneo lateral y flujo de retorno) de la subcuenca.

Streamflow (Flujo total)	343.56
Baseflow (Flujo subterráneo total)	266.42

Tabla 44. Tabla de resultados SWATCheck, flujo total y flujo subterráneo total.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

Ratios del balance de agua de la subcuenca el Pañe:

Streamflow/P	0.45
Baseflow/Total flow	0.78
Surface runoff/Total flow	0.22
Perc/P	0.24
Deep recharge/P	0.01
ET/P	0.59

Tabla 45. Tabla de resultados de SWATCheck.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

8.2. DISPONIBILIDAD DE LA OFERTA HIDRICA

Como se explicó anteriormente, la subcuenca del Pañe se ubica en la cabecera de la cuenca Camaná – Majes – Colca y su recurso hídrico es regulado por la represa del mismo nombre y son trasvasadas a la cuenca Quilca-Chili mediante obras de regulación, captación y derivación del canal Pañe-Sumbay.

Dado que el Sistema Chili es un sistema regulado se descarga lo que se requiere para cubrir la demanda, es así que de la represa el Pañe se realizan descargas establecidas por el Grupo Técnico del Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas.

Para poder saber el volumen a fin de mes de las represas que conforman el sistema Chili regulado es necesario saber el volumen de descarga de la represa de Aguada Blanca, este volumen se halla a partir del caudal requerido para satisfacer la demanda hídrica de la cuenca Quilca – Chili.

Se hizo el análisis hídrico desde el año 2014 hasta el año 2018, a partir de la información del Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la Cuenca Quilca – Chili (PADH) del ANA.

2014

Usuario	Demanda de agua en el Sistema Chili Regulado mensualizada (Hm3)											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
JU Chili Regulado	11.31	10.52	10.17	10.52	12.27	12.43	12.27	11.87	12.28	11.68	10.55	11.68
JU Joya Antigua	6.06	5.64	5.46	5.64	6.58	6.67	6.58	6.37	6.58	6.27	5.66	6.27
JU Joya Nueva	8.32	7.74	7.48	7.74	9.03	9.15	9.03	8.73	9.03	8.60	7.76	8.60
SEDAPAR	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	4.74	5.25
CERRO VERDE	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	2.81	3.11
D. INDUSTRIAL	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15
POBLACIONAL LA JOYA	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.11	0.13
BASE AEREA	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13
Otros usos	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40	0.39	0.40	0.39	0.40	0.40	0.36	0.40
DEMANDA HÍDRICA TOTAL	34.56	33.06	31.99	33.06	37.05	37.13	37.05	35.85	37.06	35.72	32.25	35.72

Tabla 46. Demanda de agua en el sistema Chili Regulado, año 2014.

Fuente: PADH, 2014.

Demanda máxima	37.13	Hm3
Demanda mínima	31.99	Hm3
Demanda promedio	35.04	Hm3

Tabla 47. Demanda hídrica correspondiente al año 2014.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

OFERTA (Hm3)	Oferta de agua en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Manantial Charcani (0,5 m3/s)	1.30	1.34	1.30	1.34	1.34	1.30	1.34	1.30	1.34	1.34	1.21	1.34
Retorno agrícola (45% de la campiña)	5.09	4.73	4.58	4.73	5.52	5.60	5.52	5.34	5.52	5.26	4.75	5.26
Retorno Poblacional (80%SEDAPAR)	4.06	4.20	4.06	4.20	4.20	4.06	4.20	4.06	4.20	4.20	3.79	4.20
Oferta Aportes+ Retornos	10.45	10.27	9.94	10.27	11.06	10.96	11.06	10.70	11.06	10.80	9.75	10.80
Descarga Aguada Blanca	23.328	24.106	23.328	24.106	24.106	25.92	29.462	25.92	24.106	24.106	21.773	24.106
OFERTA HÍDRICA TOTAL	33.78	34.38	33.27	34.38	35.17	36.88	40.52	36.62	35.17	34.90	31.52	34.90

Tabla 48. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2014.

Fuente: PADH, 2014.

PARAMETRO	MESES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEMANDA (Hm3)	34.56	33.06	31.99	33.06	37.05	37.13	37.05	35.85	37.06	35.72	32.25	35.72
OFERTA (Hm3)	33.78	34.38	33.27	34.38	35.17	36.88	40.52	36.62	35.17	34.90	31.52	34.90
BALANCE (Hm3)	-0.78	1.32	1.28	1.32	-1.88	-0.26	3.47	0.77	-1.89	-0.82	-0.73	-0.82

Tabla 49. Tabla de oferta y demanda mensual, año 2014.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

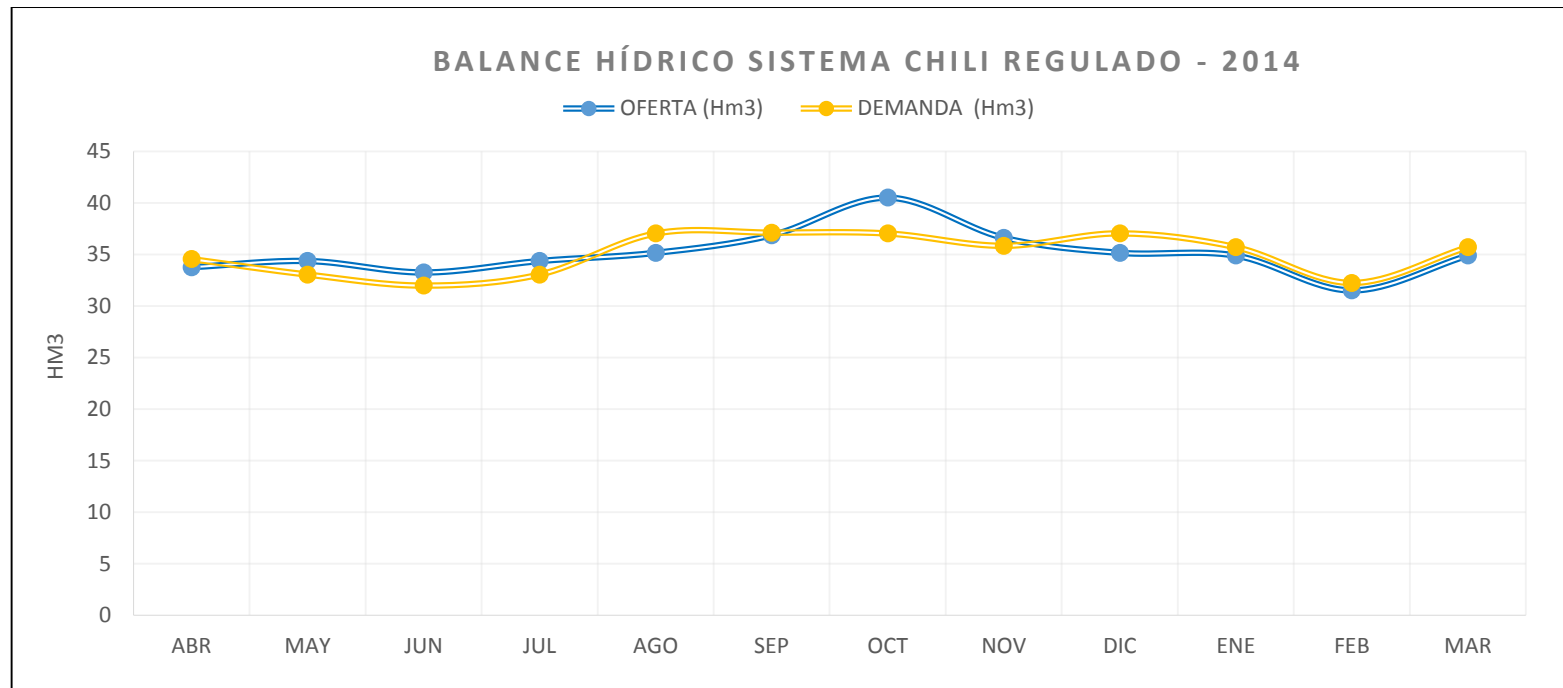


Figura 115. Balance hídrico del sistema Chili regulado - 2014.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Análisis de volúmenes de las represas – Sistema Chili Regulado 2014

OFERTA (Hm3)	Situación de volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Embalses (6 presas)	195.52	175.99	164.40	151.64	138.44	123.61	105.48	85.79	67.14	54.73	160.03	164.81
Embalse Bamputañe					4.02	5.18	5.36	2.59	2.56			
Embalses (6 presas) 2015										119.49	17.61	34.64
Aporte cuenca (3,7 m3/s)	12.91	12.51	10.58	10.90	10.04	8.63	10.74	10.26	12.80	9.91	8.95	9.91
Perdidas Trasvase Pañe-B					0.48	1.56	1.61	1.56	0.64			
Pérdidas Trasvase Bamputañe												
Evaporación	9.11				4.31	4.46	4.72	4.02	3.03			
Descarga Aguada Blanca	23.33	24.11	23.33	24.11	24.11	25.92	29.46	25.92	24.11	24.11	21.77	24.11
Volumen a fin de mes Sistema Represas	175.99	164.40	151.64	138.44	123.61	105.48	85.79	67.14	54.73	160.03	164.81	185.26

Tabla 50. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2014.

Fuente: PADH, 2014.

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen a fin de mes Pañe	51.50	47.10	46.30	45.59	43.03	39.90	39.50	38.71	40.49	48.41	63.37	72.51
% Vol. del Pañe a fin de mes en el Sistema de Represas	29.26%	28.65%	30.53%	32.93%	34.81%	37.83%	46.04%	57.65%	73.98%	30.25%	38.45%	39.14%
Volumen descargado Pañe	12.96	3.89	0.00	0.00	2.35	2.89	0.00	0.00	0.00	4.93	4.23	3.07

Tabla 51. Volúmenes de la represa El Pañe mensuales en 2014.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

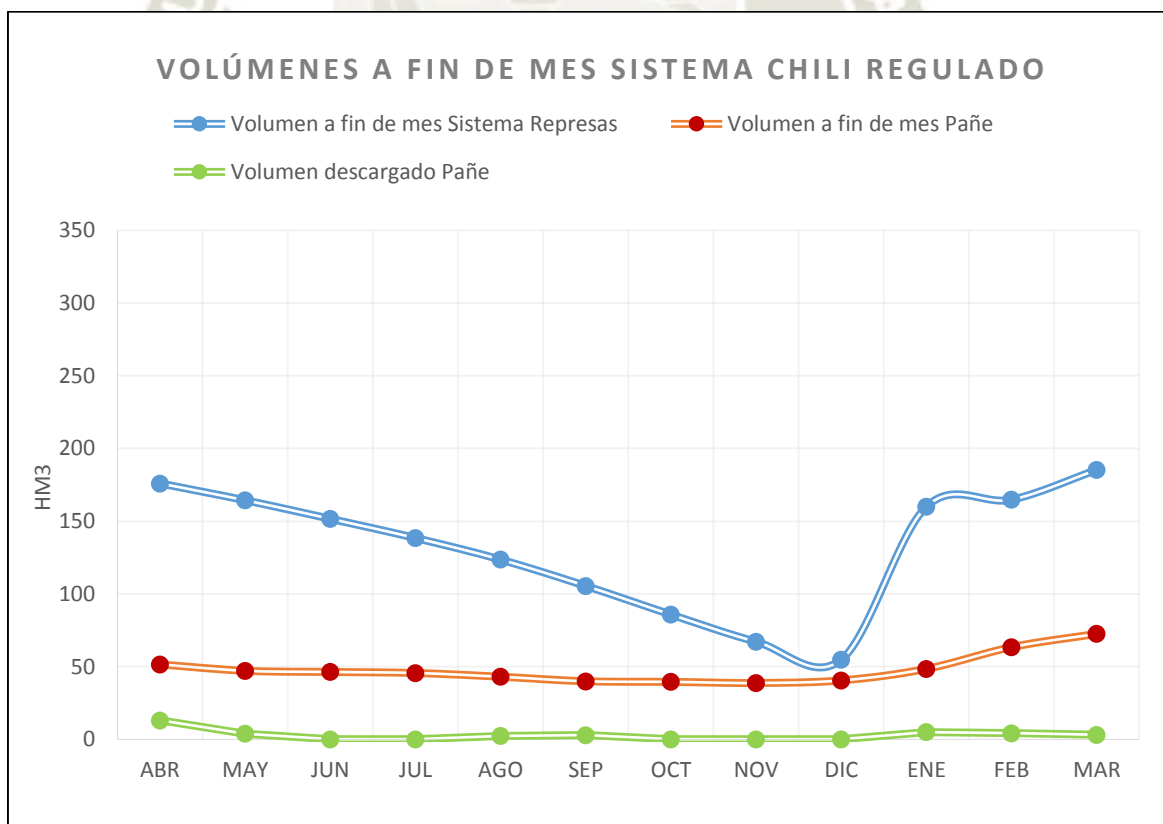


Figura 116. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2014.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

2015

Usuario	Demanda de agua en el Sistema Chili Regulado mensualizada (Hm3)											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
JU Chili Regulado	11.079	10.057	10.035	9.997	11.319	11.923	11.479	11.54	11.613	10.981	10.872	10.999
JU Joya Antigua	6.149	5.533	5.533	5.533	6.455	6.761	6.455	6.455	6.451	6.149	6.149	6.149
JU Joya Nueva	8.104	7.292	7.292	7.292	8.507	8.911	8.507	8.507	8.502	8.104	8.104	8.104
SEDAPAR	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	4.742	5.25
EGASA	0.065	0.067	0.065	0.067	0.067	0.065	0.067	0.065	0.067	0.067	0.06	0.067
CERRO VERDE	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	2.806	3.107
D. INDUSTRIAL	0.149	0.154	0.149	0.154	0.154	0.149	0.154	0.149	0.154	0.154	0.139	0.154
POBLACIONAL LA JOYA	0.122	0.126	0.122	0.126	0.126	0.122	0.126	0.122	0.126	0.126	0.114	0.126
BASE AEREA	0.13	0.134	0.13	0.134	0.134	0.13	0.134	0.13	0.134	0.134	0.121	0.134
GRANJAS LA JOYA	0.021	0.022	0.021	0.022	0.022	0.021	0.022	0.021	0.022	0.022	0.019	0.022
DEMANDA HÍDRICA TOTAL	33.9	31.74	31.43	31.68	35.14	36.17	35.3	35.07	35.43	34.09	33.13	34.11

Tabla 52. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2015.

Fuente: PADH, 2015

Demanda máxima	36.17	Hm3
Demanda mínima	31.43	Hm3
Demanda promedio	33.93	Hm3

Tabla 53. Demanda hídrica correspondiente al año 2015.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

OFERTA (Hm3)	Oferta de agua en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Retorno Agrícola (Campaña)	5.24	4.75	4.74	4.73	5.36	5.64	5.43	5.46	5.49	5.20	5.15	5.20
Retorno Poblacional (80%SEDAPAR)	3.11	3.21	3.11	3.21	3.21	3.11	3.21	3.11	3.21	3.21	2.90	3.21
Retorno Otros usos (energético)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Oferta Aportes+ Retornos	8.40	8.02	7.91	7.99	8.63	8.81	8.70	8.62	8.76	8.46	8.10	8.47
<i>Dado que es un sistema regulado se descarga del sistema lo que se requiere para cubrir la demanda, es así que Grupo Técnico del Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas se ha planteado mantener una descarga de 10 m3/s para Aguada Blanca ya que existe la incertidumbre por los caudales aportados por los retornos agrícolas y por uso poblacional. Una vez concluida las evaluaciones de caudales circulantes en el río Chili se ajustarán las descargas del sistema Chili Regulado en Aguada Blanca.</i>												
Descarga Aguada Blanca	25.92	26.78	25.92	26.78	26.78	25.92	26.78	25.92	26.78	26.78	24.19	26.78
OFERTA HÍDRICA TOTAL	34.32	34.80	33.83	34.77	35.41	34.73	35.48	34.54	35.54	35.24	32.29	35.25

Tabla 54. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2015.
Fuente: PADH, 2015

PARAMETRO	MESES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEMANDA (Hm3)	33.90	31.74	31.43	31.68	35.14	36.17	35.30	35.07	35.43	34.09	33.13	34.11
OFERTA (Hm3)	34.32	34.80	33.83	34.77	35.41	34.73	35.48	34.54	35.54	35.24	32.29	35.25
BALANCE (Hm3)	0.42	3.06	2.40	3.09	0.27	-1.44	0.18	-0.53	0.11	1.15	-0.84	1.14

Tabla 55. Tabla de oferta y demanda mensual, año 2015.
Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

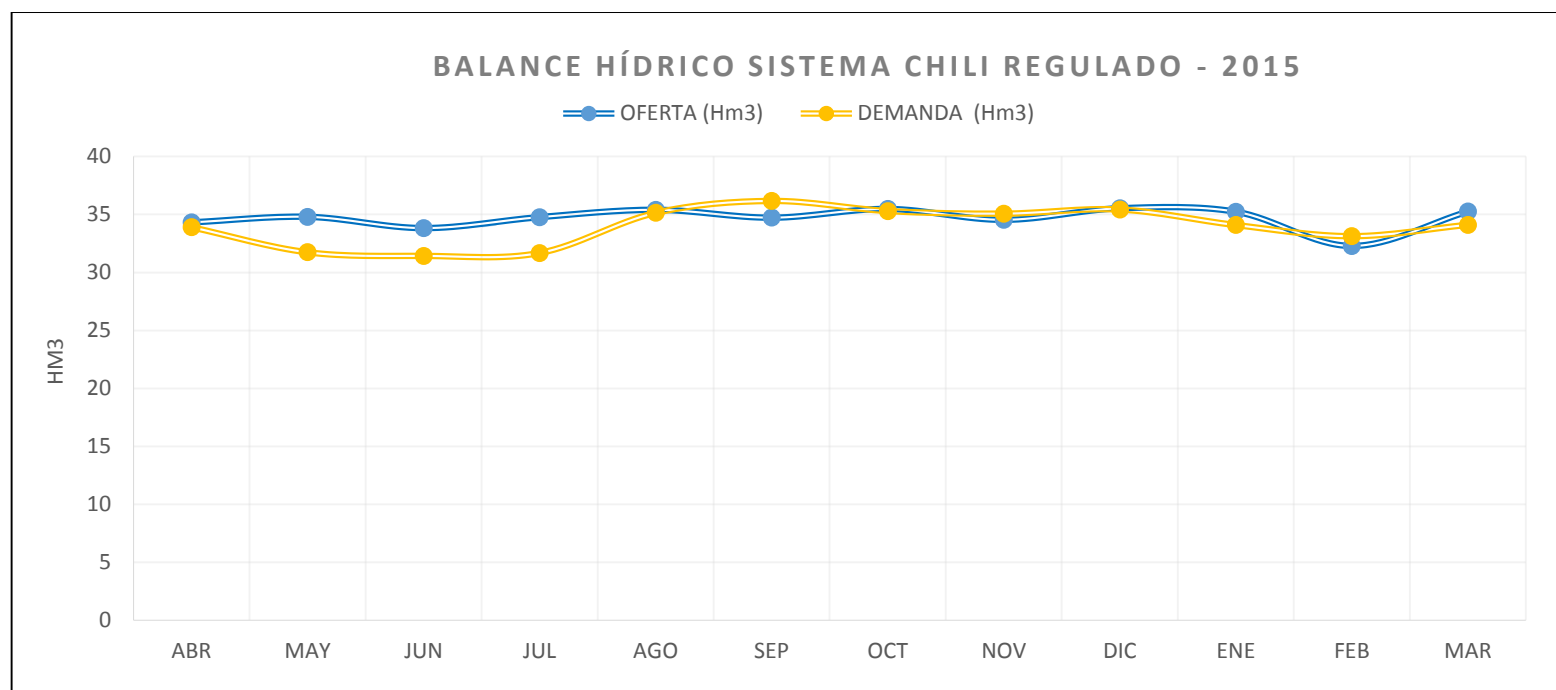


Figura 117. Balance hídrico sistema Chili regulado - 2015.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Análisis de volúmenes de las represas – Sistema Chili Regulado 2015

OFERTA (Hm3)	Situación de volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen almacenado en represas	269.64	300.57	273.58	256.29	239.54	220.39	200.29	178.99	159.13	147.03	165.30	204.06
Aporte cuenca	56.85	17.87	12.96	14.09	12.35	11.25	11.28	10.99	18.37	45.05	62.95	50.60
Pérdidas evaporación	0.00	5.04	4.33	4.05	4.72	5.43	5.80	4.93	3.69	0.00	0.00	0.00
Pérdidas Tránsito	0.00	13.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Descarga Aguada Blanca	25.92	26.78	25.92	26.78	26.78	25.92	26.78	25.92	26.78	26.78	24.19	26.78
Volumen a fin de mes Sistema Represas	300.57	273.58	256.29	239.54	220.39	200.29	178.99	159.13	147.03	165.30	204.06	227.88

Tabla 56. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2015.

Fuente: PADH, 2015

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen a fin de mes Pañe	85.03	87.77	85.21	75.51	64.09	53.44	46.34	37.36	29.12	21.48	51.22	58.38
% Vol. del Pañe a fin de mes en el Sistema de Represas	28.29%	32.08%	33.25%	31.52%	29.08%	26.68%	25.89%	23.48%	19.81%	12.99%	25.10%	25.62%
Volumen descargado Pañe	0.70	0.00	2.44	9.18	10.71	10.37	6.99	10.37	10.71	10.71	2.82	0.95

Tabla 57. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2015.

Fuente: PADH, 2015

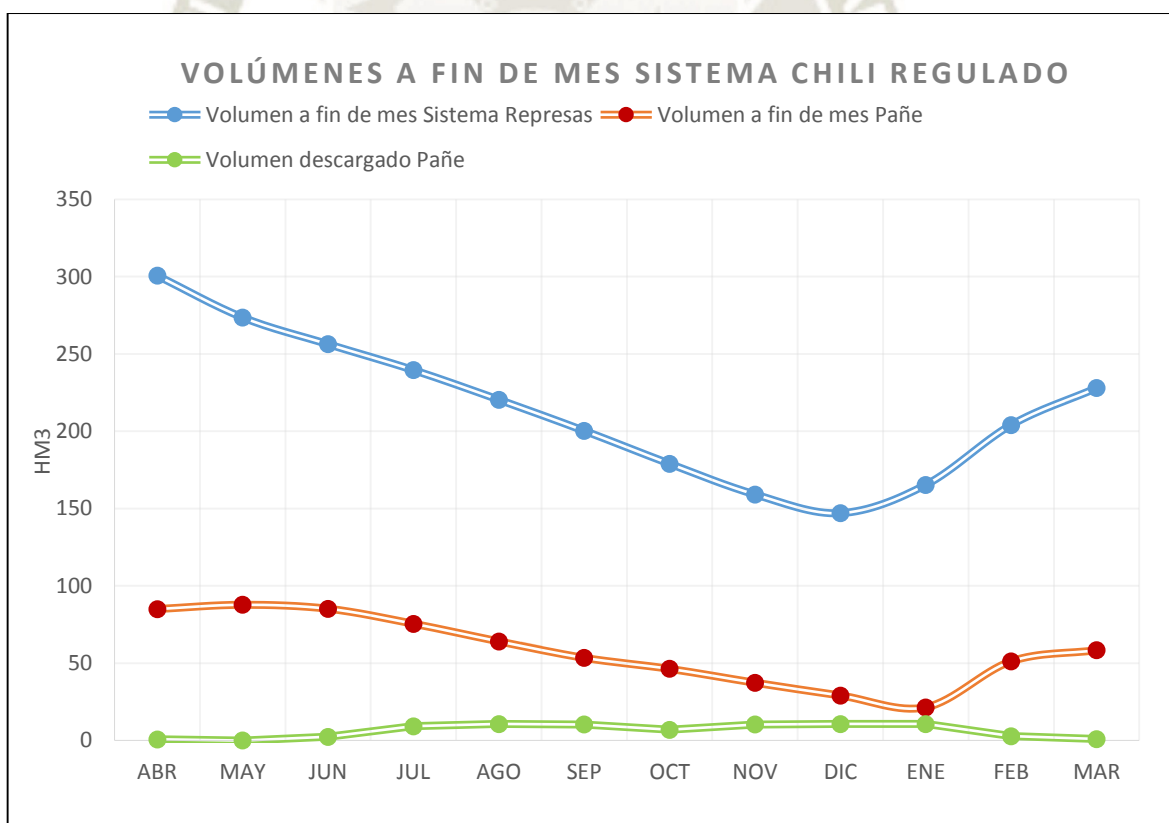


Figura 118. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2015.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

2016

Usuario	Demanda de agua en el Sistema Chili Regulado mensualizada (Hm3)											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
JU Chili Regulado	10.908	9.904	9.882	9.844	11.14	11.735	11.3	11.361	11.435	10.81	10.701	10.828
JU Joya Antigua	6.149	5.533	5.533	5.533	6.455	6.761	6.455	6.455	6.451	6.149	6.149	6.149
JU Joya Nueva	8.104	7.292	7.292	7.292	8.507	8.911	8.507	8.507	8.502	8.104	8.104	8.104
SEDAPAR	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	4.742	5.25
EGASA	0.052	0.054	0.052	0.054	0.054	0.052	0.054	0.052	0.054	0.054	0.048	0.054
CERRO VERDE	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	2.806	3.107
D. INDUSTRIAL	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.133	0.138	0.133	0.138	0.138	0.125	0.138
POBLACIONAL LA JOYA	0.137	0.141	0.137	0.141	0.141	0.137	0.141	0.137	0.141	0.141	0.128	0.141
BASE AEREA	0.13	0.134	0.13	0.134	0.134	0.13	0.134	0.13	0.134	0.134	0.121	0.134
GRANJAS LA JOYA	0.021	0.022	0.021	0.022	0.022	0.021	0.022	0.021	0.022	0.022	0.019	0.022
Otros usos campiña	0.233	0.241	0.233	0.241	0.241	0.233	0.241	0.233	0.241	0.241	0.218	0.241
DEMANDA HÍDRICA TOTAL	33.95	31.81	31.5	31.75	35.19	36.2	35.35	35.12	35.47	34.15	33.16	34.17

Tabla 58. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2016.

Fuente: PADH, 2016

Demanda máxima	36.20	Hm3
Demanda mínima	31.50	Hm3
Demanda promedio	33.99	Hm3

Tabla 59. Demanda hídrica correspondiente al año 2016.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

La disponibilidad hídrica considerándose los retornos agrícolas de la campiña de Arequipa y los retornos del uso poblacional de la ciudad de Arequipa. A1 de Abril se tiene un volumen almacenado en las represas de 286,40 hm3. Se presentan los aportes en el sector de la Campiña provenientes de los retornos agrícolas y otros usos.

OFERTA (Hm3)	Oferta de agua en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Retorno Agrícola (Campaña)	5.154	4.677	4.667	4.65	5.27	5.55	5.342	5.37	5.402	5.11	5.06	5.118
Retorno Aguas Tratadas (La Enlozada)	0.972	1.004	0.972	1.00	1.00	0.97	1.004	0.97	1.004	1.00	0.91	1.004
Retorno Otros usos (energético)	0.041	0.043	0.041	0.04	0.04	0.04	0.043	0.04	0.043	0.04	0.04	0.043
Otros usos campiña	0.093	0.096	0.093	0.10	0.10	0.09	0.096	0.09	0.096	0.10	0.09	0.096
Oferta Aportes+ Retornos	6.26	5.821	5.774	5.79	6.41	6.66	6.486	6.48	6.546	6.25	6.09	6.261
<i>Dado que es un sistema regulado se descarga del sistema lo que se requiere para cubrir la demanda, es así que Grupo Técnico del Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas se ha planteado mantener descargas entre 10 m3/s y 11 m3/s para Aguada Blanca ya que existe la incertidumbre por los caudales aportados por los retornos agrícolas y por uso poblacional. Una vez concluida las evaluaciones de caudales circulantes en el río Chili se ajustarán las descargas del sistema Chili Regulado en Aguada Blanca.</i>												
Descarga Aguada Blanca	25.92	26.78	25.92	26.78	29.46	28.51	29.46	28.51	28.12	26.78	24.19	26.78
OFERTA HÍDRICA TOTAL	32.18	32.60	31.69	32.57	35.87	35.17	35.95	34.99	34.67	33.03	30.28	33.04

Tabla 60. Oferta de agua en el sistema Chili regulado en 2016.

Fuente: PADH, 2016

A continuación, se muestra los resultados del análisis comparativo entre las demandas de los usuarios diversos y la disponibilidad en las fuentes de agua superficial, subterráneo y otros.

PARAMETRO	MESES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEMANDA (Hm3)	33.95	31.81	31.50	31.75	35.19	36.20	35.35	35.12	35.47	34.15	33.16	34.17
OFERTA (Hm3)	32.18	32.60	31.69	32.57	35.87	35.17	35.95	34.99	34.67	33.03	30.28	33.04
BALANCE (Hm3)	-1.77	0.79	0.19	0.82	0.68	-1.03	0.60	-0.13	-0.80	-1.12	-2.88	-1.13

Tabla 61. Tabla de oferta y demanda mensual en 2016.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

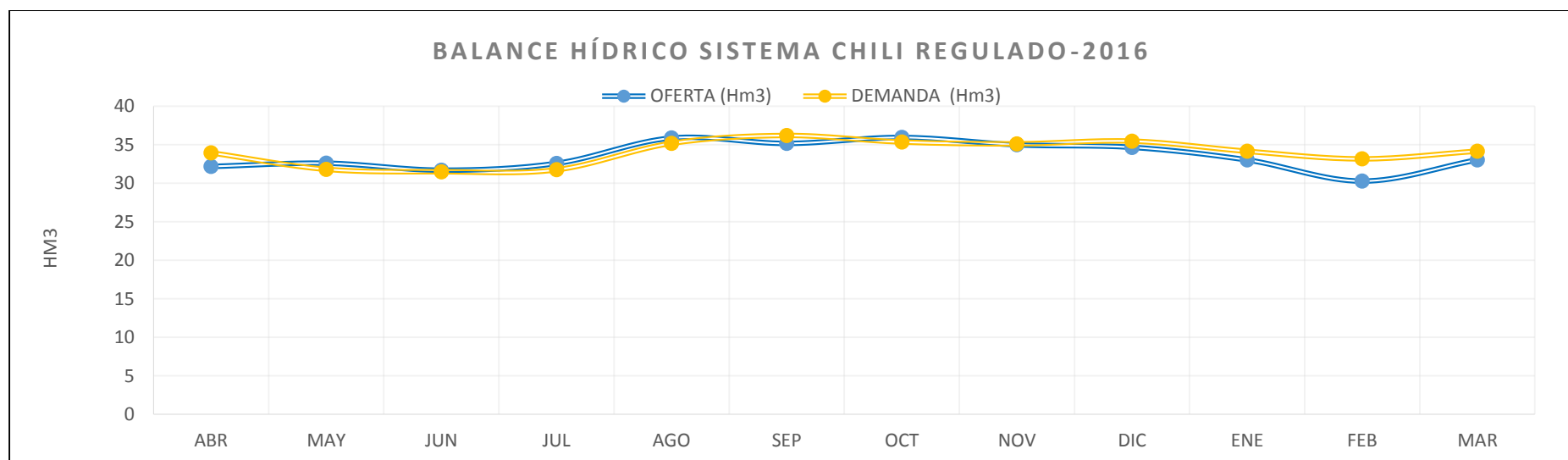


Figura 119. Balance hídrico del sistema Chili regulado - 2016.
Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Análisis de volúmenes de las represas – Sistema Chili Regulado 2016

OFERTA (Hm3)	Situación de volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen almacenado en represas	286.4	267.775	247.862	229.228	210.64	190.142	166.44	141.528	118.415	99.53	101.973	118.211
Aporte cuenca	21.099	10.97	10.809	11.49	10.124	9.228	9.267	9.409	12.24	29.227	40.43	47.372
Pérdidas evaporación	4.099	4.099	3.522	3.294	3.839	4.417	4.718	4.01	3.001	0	0	0
Pérdidas Trascvase	9.704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Descarga Aguada Blanca	25.92	26.784	25.92	26.784	26.784	28.512	29.462	28.512	28.123	26.784	24.192	26.784
Volumen a fin de mes Sistema Represas	267.78	247.86	229.23	210.64	190.14	166.44	141.53	118.42	99.53	101.97	118.21	138.80

Tabla 62. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2016.
Fuente: PADH, 2016

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen a fin de mes Pañe	54.56	41.22	28.4	15.1	13.14	7.23	1.08	1.34	1.49	25.16	36.68	78.58
% Vol. del Pañe a fin de mes en el Sistema de Represas	20.38%	16.63%	12.39%	7.17%	6.91%	4.34%	0.76%	1.13%	1.50%	24.67%	31.03%	56.61%
Volumen descargado Pañe	10.07	13.30	12.85	13.22	1.81	5.97	6.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 63. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2016.

Fuente: PADH, 2016

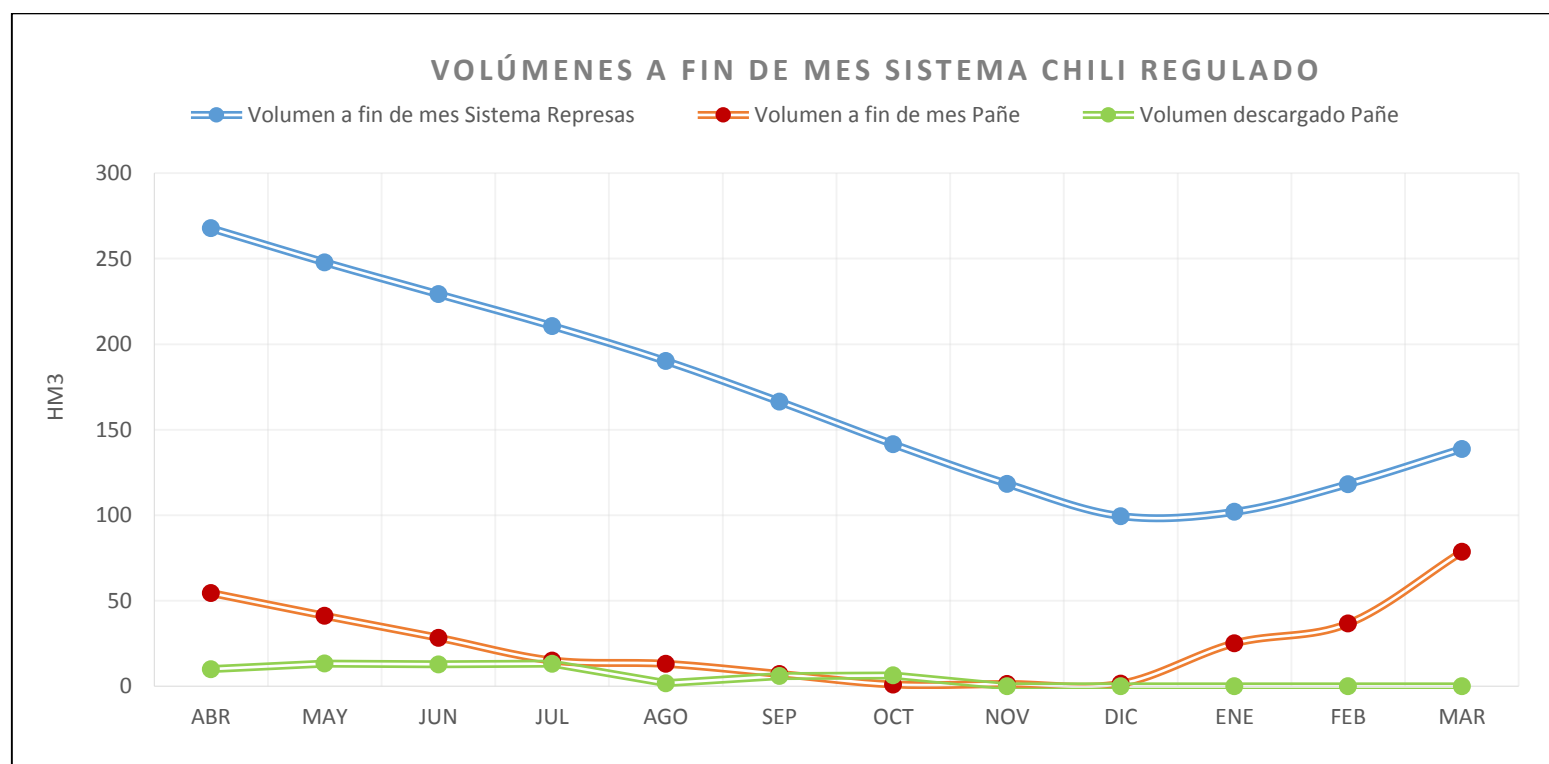


Figura 120. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2016.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

2017

Usuario	Demanda de agua en el Sistema Chili Regulado mensualizada (Hm3)											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
JU Chili Regulado	13.614	13.614	10.586	9.076	9.076	10.586	12.095	16.633	16.633	16.633	10.586	12.095
JU Joya Antigua	6.1488	5.5328	5.5328	5.5328	6.455	6.7611	6.455	6.455	6.4513	6.1488	6.1488	6.1488
JU Joya Nueva	8.231	7.407	7.407	7.407	8.641	9.051	8.641	8.641	8.637	8.231	8.231	8.231
SEDAPAR	5.08	6.962	6.737	6.962	6.962	6.737	6.962	6.737	6.962	6.962	6.288	6.962
EGASA	0.052	0.054	0.052	0.054	0.054	0.052	0.054	0.052	0.054	0.054	0.048	0.054
CERRO VERDE	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	3.007	3.107	3.007	3.107	3.107	2.806	3.107
D. INDUSTRIAL	0.194	0.201	0.194	0.201	0.201	0.194	0.201	0.194	0.201	0.201	0.181	0.201
POBLACIONAL LA JOYA	0.033	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.033	0.034	0.034	0.031	0.034
DEFENSA NACIONAL	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.012	0.013
GRANJAS LA JOYA	0.02	0.022	0.02	0.022	0.022	0.02	0.022	0.02	0.022	0.022	0.019	0.022
AGROINDUSTRIAS CAMARGO	0.098	0.102	0.098	0.102	0.102	0.098	0.102	0.098	0.102	0.102	0.092	0.102
RECREACIONAL CAMPIÑA	0.094	0.089	0.079	0.082	0.09	0.1	0.112	0.113	0.115	0.104	0.09	0.099
CAUDAL ECOLÓGICO	11.973	1.081	2.079	6.267	3.993	4.282	5.041	1.678	2.582	0	0	0
DEMANDA HÍDRICA TOTAL	48.559	38.218	35.838	38.859	38.75	40.935	42.839	43.675	44.913	41.611	34.534	37.068

Tabla 64. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2017.

Fuente: PADH, 2017

En reunión del subgrupo de trabajo de fecha 02/05/2017, se acordó considerar el caudal ecológico para el tramo Charcani y en lo posible para el tramo aguas debajo de la Bocatoma de Socosani, cuyo valor estimado según las descargas planteadas, se indica en el anterior cuadro.

Demanda máxima	48.56	Hm3
Demanda mínima	34.53	Hm3
Demanda promedio	40.48	Hm3

Tabla 65. Demanda hídrica correspondiente al año 2017.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

OFERTA (Hm3)	Oferta de agua en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Manantial Charcani (0,5 m3/s)	1.296	1.339	1.296	1.34	1.34	1.30	1.339	1.30	1.339	1.34	1.21	1.339
Retorno agrícola (Campiña)	6.33	6.339	4.987	4.30	4.19	4.90	5.603	7.64	7.677	7.62	4.89	5.62
Retorno Aguas Tratadas (La Enlozada)	0.972	1.004	0.972	1.00	1.00	0.97	1.004	0.97	1.004	1.00	0.91	1.004
Retorno Otros usos (energético)	0.041	0.043	0.041	0.04	0.04	0.04	0.043	0.04	0.043	0.04	0.04	0.043
Otros usos campiña	0.029	0.03	0.029	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Oferta Aportes+ Retornos	8.668	8.756	7.326	6.72	6.61	7.24	8.019	9.98	10.093	10.04	7.08	8.037
<i>Dado que es un sistema regulado se descarga del sistema lo que se requiere para cubrir la demanda, es así que Grupo Técnico del Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas se ha planteado mantener descargas de 11m3/s y 13 m3/s hasta diciembre para Aguada Blanca ya que existe la incertidumbre por los caudales aportados por los retornos agrícolas y por uso poblacional. Una vez concluida las evaluaciones de caudales circulantes en el río Chili se ajustarán las descargas del sistema Chili Regulado en Aguada Blanca.</i>												
Descarga Aguada Blanca	39.89	29.46	28.51	32.14	32.14	33.7	34.82	33.7	34.82	31.58	27.46	29.03
OFERTA HÍDRICA TOTAL	48.56	38.22	35.84	38.86	38.75	40.94	42.84	43.68	44.91	41.62	34.54	37.07

Tabla 66. Oferta de agua en el sistema Chili regulado, año 2017.

Fuente: PADH, 2017

PARAMETRO	MESES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEMANDA (Hm3)	48.56	38.22	35.84	38.86	38.75	40.94	42.84	43.68	44.91	41.61	34.53	37.07
OFERTA (Hm3)	48.56	38.22	35.84	38.86	38.75	40.94	42.84	43.68	44.91	41.62	34.54	37.07
BALANCE (Hm3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00

Tabla 67. Tabla de oferta y demanda mensual en 2017.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

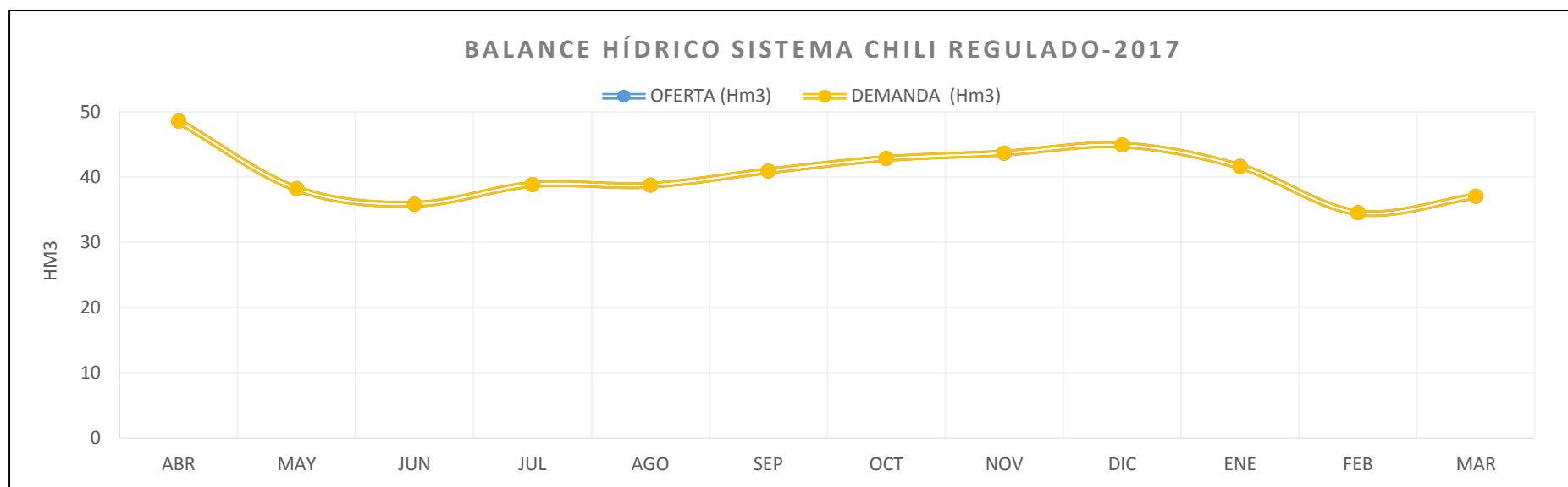


Figura 121. Balance hídrico del sistema Chili Regulado - 2017.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

Análisis de volúmenes de las represas – Sistema Chili Regulado 2017

OFERTA (Hm3)	Situación de volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen almacenado en represas	382.69	389.69	358.85	340.69	319.852	296.782	271.552	243.505	218.024	201.523	199.172	212.144
Aporte cuenca	46.122	16.579	13.874	14.597	12.91	12.883	11.49	12.225	21.32	29.227	40.43	47.372
Pérdidas evaporación	4.099	4.099	3.522	3.294	3.839	4.417	4.718	4.01	3.001	0	0	0
Pérdidas Trasvase	0	13.858	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Descarga Aguada Blanca	39.891	29.462	28.512	32.141	32.141	33.696	34.819	33.696	34.819	31.578	27.458	29.034
Volumen a fin de mes Sistema Represas	384.82	358.85	340.69	319.85	296.78	271.55	243.51	218.02	201.52	199.17	212.14	230.48

Tabla 68. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado en 2017.

Fuente: PADH, 2017

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen a fin de mes Pañe	91.06	93.33	84.62	71.2	57.12	53.24	52.67	52.65	56.73	76.95	100.6	103.38
% Vol. del Pañe a fin de mes en el Sistema de Represas	23.66%	26.01%	24.84%	22.26%	19.25%	19.61%	21.63%	24.15%	28.15%	38.63%	47.42%	44.85%
Volumen descargado Pañe	0.00	0.00	9.60	13.39	13.39	3.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 69. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2017.

Fuente: PADH, 2017

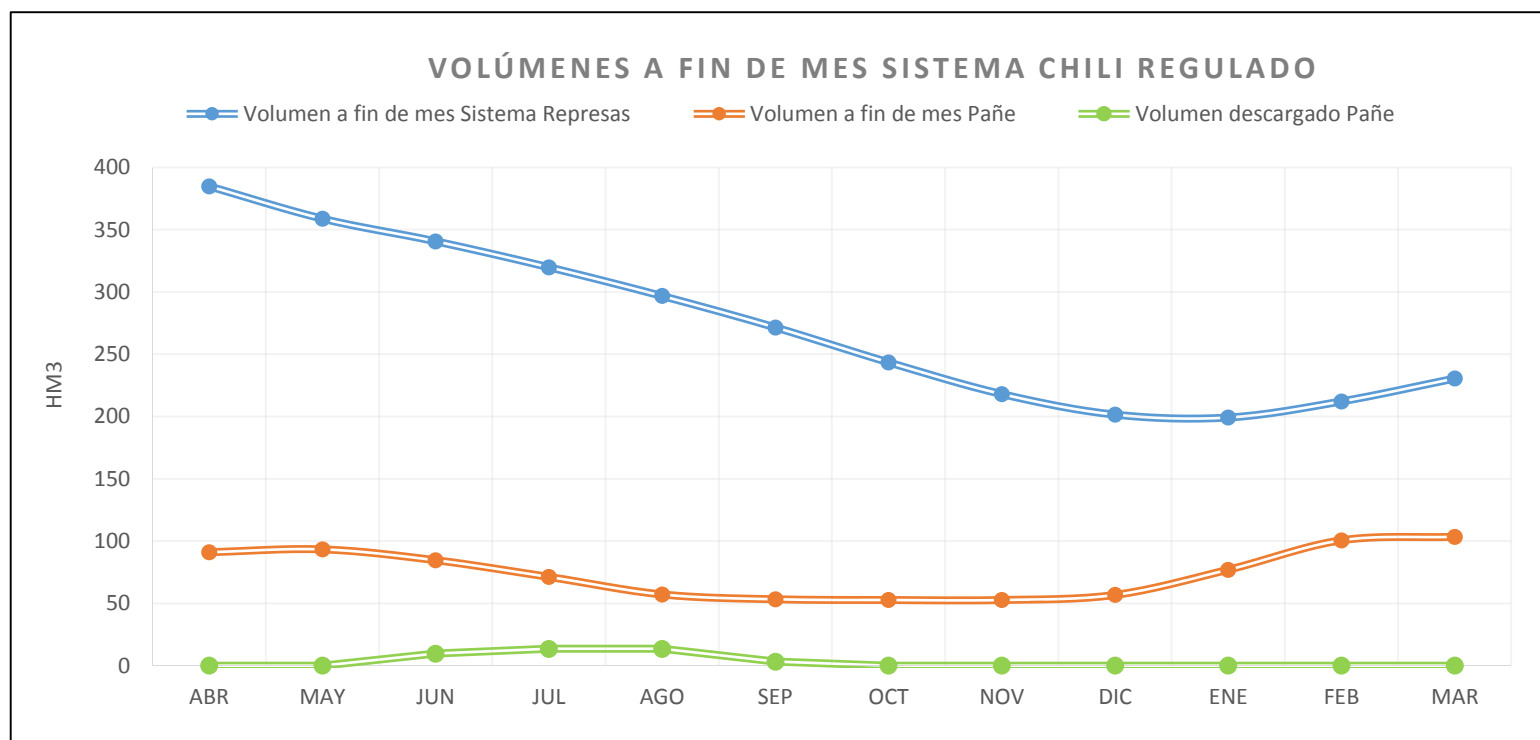


Figura 122. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado, año 2017.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

2018

Usuario	Demanda de agua en el Sistema Chili Regulado mensualizada (Hm3)											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
JU Chili Regulado *	13.35	13.35	10.38	8.90	8.90	10.38	11.86	16.31	16.31	16.31	10.38	11.86
JU Joya Antigua*	5.40	5.54	5.54	5.53	6.45	6.71	6.80	6.80	6.80	6.80	5.70	5.70
JU Joya Nueva*	6.22	5.41	4.01	4.11	6.91	9.65	11.59	12.10	11.81	10.81	9.09	7.11
SEDAPAR	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	5.08	5.25	5.08	5.25	5.25	4.74	5.25
EGASA (industrial)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
CERRO VERDE	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	3.01	3.11	3.01	3.11	3.11	2.81	3.11
D. INDUSTRIAL	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15
POBLACIONAL LA JOYA	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23	0.23	0.21	0.23
DEFENSA NACIONAL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
GRANJAS LA JOYA	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
AGROINDUSTRIAS CAMARGO**	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10
OTROS USOS CAMPIÑA	0.16	0.16	0.14	0.15	0.17	0.18	0.20	0.20	0.20	0.19	0.16	0.17
CAUDAL ECOLÓGICO***	2.57	4.78	7.09	11.18	7.35	2.58	2.67	2.58	2.67			
DEMANDA HÍDRICA TOTAL	36.39	38.22	35.85	38.85	38.75	38.19	42.09	46.67	46.77	43.09	33.43	33.83

Tabla 70. Demanda de agua en el sistema Chili regulado, año 2018.

Fuente: PADH, 2018

*Distribución mensualizada conforme a lo solicitado por los operadores menores y respetando el volumen anual otorgado según derechos. **Por acta de ejecución de medida anticipada. ***Debido a la oferta hídrica y teniendo en consideración la demanda de los usos energéticos y lo indicado en el art. 153º del RLRH, para la presente propuesta del PADH 2018 - 2019 nos ha permitido considerar un volumen para el caudal ecológico.

Demanda máxima	46.77	Hm3
Demanda mínima	33.43	Hm3
Demanda promedio	39.34	Hm3

Tabla 71. Demanda hídrica correspondiente al año 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

OFERTA (Hm3)	Oferta de agua en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Manantial Charcani (0,5 m3/s)	1.30	1.34	1.30	1.34	1.34	1.30	1.34	1.30	1.34	1.34	1.21	1.34
Retorno Agrícola (Campaña)	6.33	6.34	4.99	4.30	4.19	4.90	5.60	7.64	7.68	7.62	4.89	5.62
Vertimiento PTAR Enlozada (SEDAPAR)	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00	0.97	1.00	0.97	1.00	1.00	0.91	1.00
Retorno Otros usos (energético)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Otros Usos Campiña	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Oferta Aportes+ Retornos	8.67	8.76	7.33	6.72	6.61	7.24	8.02	9.98	10.09	10.04	7.08	8.04
<i>Dado que es un sistema regulado se descarga del sistema lo que se requiere para cubrir la demanda, es así que Grupo Técnico del Plan de Aprovechamiento de las Disponibilidades Hídricas se ha propuesto un plan de descarga de caudales entre 11.00 y 14.42 m3/s hasta diciembre para Aguada Blanca, debiendo continuarse las evaluaciones de caudales circulantes en el río Chili se ajustarán las descargas del sistema Chili Regulado en Aguada Blanca.</i>												
Descarga Aguada Blanca	37.38	29.46	28.51	32.14	32.14	31.10	34.82	36.81	36.69	33.21	26.37	25.98
OFERTA HÍDRICA TOTAL	46.05	38.22	35.84	38.86	38.75	38.34	42.84	46.79	46.79	43.25	33.45	34.02

Tabla 72. Oferta de agua en el sistema Chili regulado, año 2018.

Fuente: PADH, 2018

Este año considerando que las represas han llegado a la totalidad de su capacidad, se ha propuesto hacer una descarga mayor a la demanda de los usos consuntivos, pero no mayor al derecho no consuntivo de EGASA; dicho caudal adicional deberá ser utilizado por EGASA por encontrarse dentro de su derecho, así como para garantizar el caudal ecológico del río Chili, en los tramos de Charcani y Bocatoma Socosani.

PARAMETRO	MESES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEMANDA (Hm3)	36.39	38.22	35.85	38.85	38.75	38.19	42.09	46.67	46.77	43.09	33.43	33.83
OFERTA (Hm3)	46.05	38.22	35.84	38.86	38.75	38.34	42.84	46.79	46.79	43.25	33.45	34.02
BALANCE (Hm3)	9.66	0.00	-0.01	0.01	0.00	0.15	0.75	0.11	0.02	0.17	0.01	0.19

Tabla 73. Tabla de oferta y demanda mensual en 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

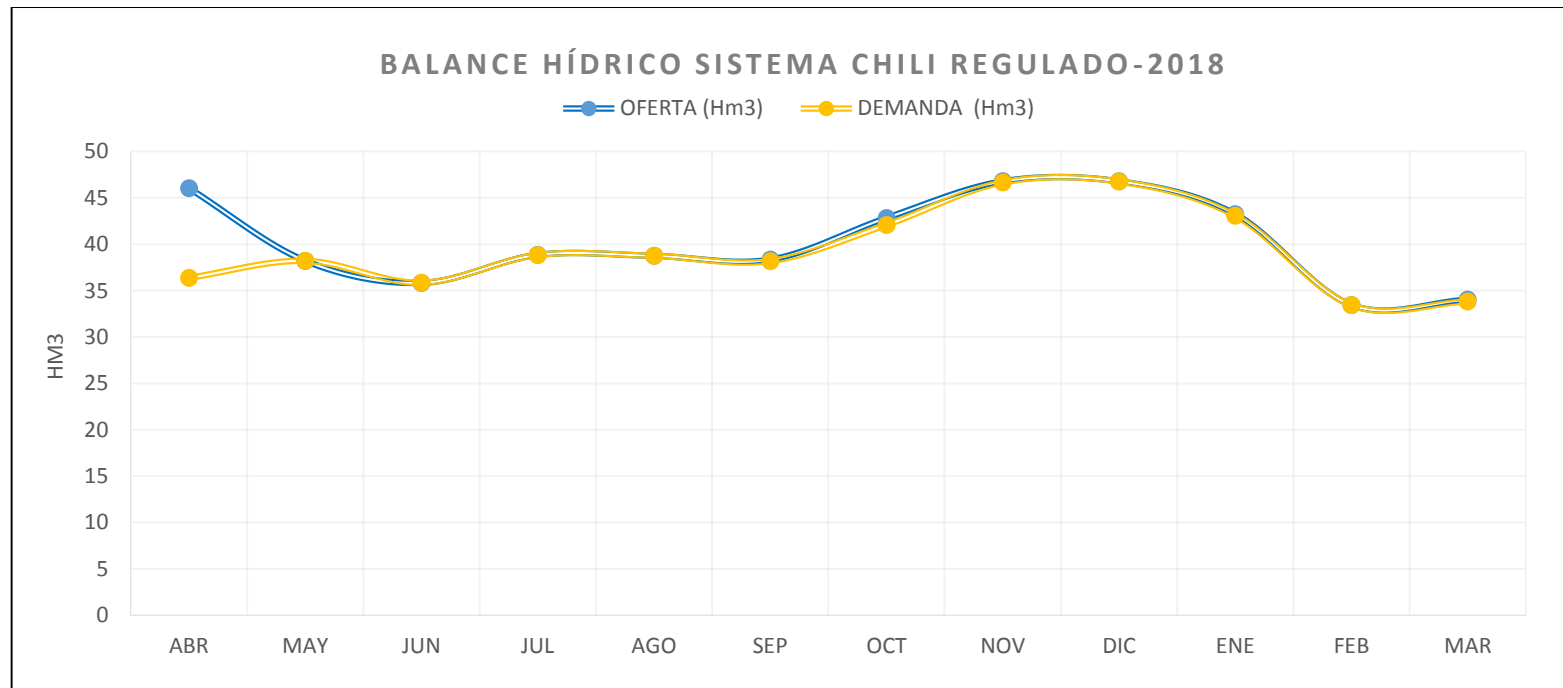


Figura 123. Balance hídrico, sistema Chili regulado, año 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

De acuerdo a la descarga propuesta para Aguada Blanca se presenta el siguiente análisis de fin de mes de las represas del sistema Chili Regulado que contempla los volúmenes almacenados a Abril y con el plan de descarga de caudales entre 11,00 y 14,42 m³/s hasta diciembre, se tendría un volumen almacenado en el sistema de represas de 212,83 hm³ aproximadamente, lo que está supeditado a las variaciones de los aportes aguas arriba de las represas, la evaporación, pérdidas por conducción en trasvase y precipitaciones (liquidas y solidas).

Análisis de volúmenes de las represas – Sistema Chili Regulado 2018

OFERTA (Hm3)	Situación de volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen almacenado en represas	417.62	400.63	382.04	362.33	339.88	315.20	291.01	261.36	231.21	212.84	209.33	223.69
Aporte cuenca	24.49	16.58	13.87	14.60	12.91	12.88	11.49	12.23	21.32	29.71	40.73	45.32
Pérdidas evaporación	4.10	4.10	3.52	3.29	3.84	4.42	4.72	4.01	3.00	0.00	0.00	0.00
Pérdidas Trasvase	0.00	1.61	1.56	1.61	1.61	1.56	1.61	1.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Descarga Aguada Blanca	37.38	29.46	28.51	32.14	32.14	31.10	34.82	36.81	36.69	33.21	26.37	25.98
Volumen a fin de mes Sistema Represas	400.63	382.04	362.33	339.88	315.20	291.01	261.36	231.21	212.84	209.33	223.69	243.03

Tabla 74. Volúmenes de las represas en el sistema Chili regulado, año 2018.

Fuente: PADH, 2018.

MES	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Volumen a fin de mes Pañe	100.51	98.71	98.21	97.64	96.81	91.88	81.05	69.67	63.64	70.75	102.61	102.56
% Vol. del Pañe a fin de mes en el Sistema de Represas	25.09%	25.84%	27.11%	28.73%	30.71%	31.57%	31.01%	30.13%	29.90%	33.80%	45.87%	42.20%
Volumen descargado Pañe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	10.71	10.37	6.38	7.96	4.84	5.70

Tabla 75. Volúmenes de la represa El Pañe, mensuales en 2018.

Fuente: Tabla elaborada por el autor, 2019.

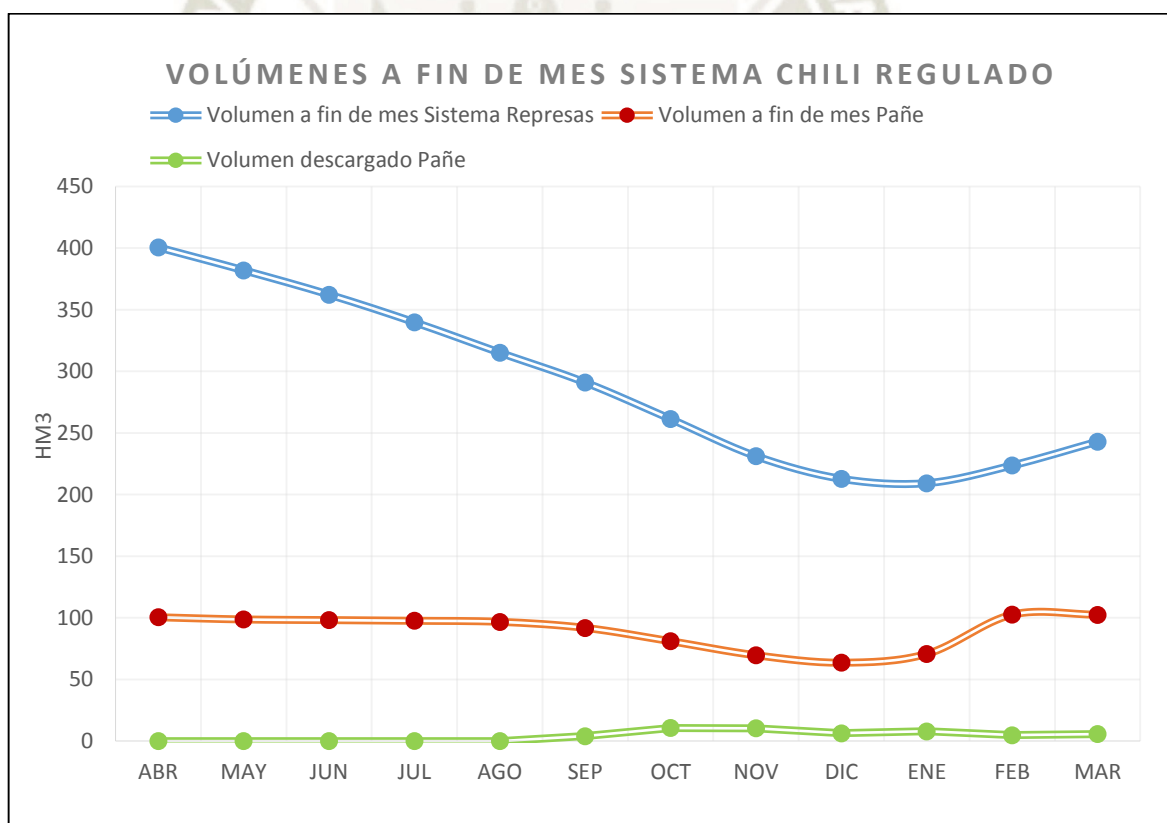


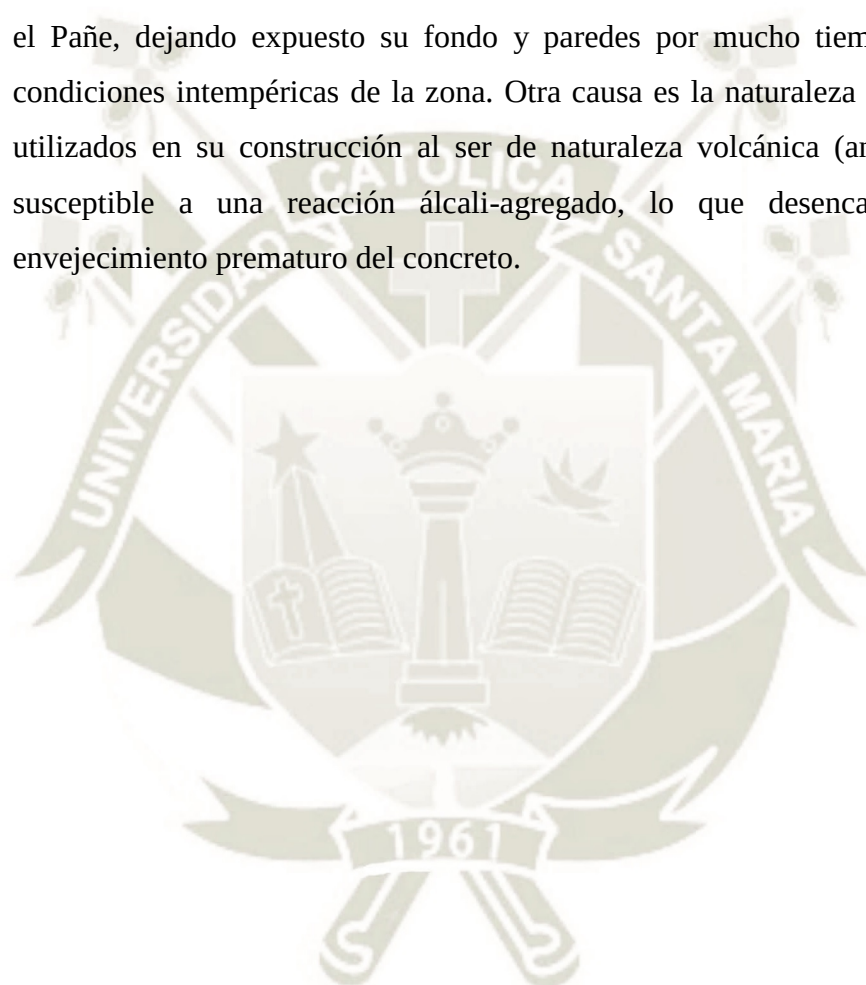
Figura 124. Volúmenes a fin de mes, sistema Chili regulado - 2018.

Fuente: Figura elaborada por el autor, 2019.

CAPITULO. IX. CONCLUSIONES

- El modelo Lutz Scholz sobreestima los caudales en el periodo húmedo, especialmente en los meses de enero y febrero; mientras que en el periodo seco tiende a subestimarlos.
- Para el modelo de Lutz Scholz; en el periodo de calibración (1975 – 2003), se obtuvo un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.41 el cual califica como “Bueno” en la tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe. En el periodo de validación (2004 – 2018) se obtuvo un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.60, calificando como “Muy bueno” el ajuste de este modelo según la tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe.
- El modelo SWAT subestima los caudales en el periodo húmedo, especialmente en los meses de enero y febrero; en cambio sobreestima los caudales en los primeros meses del periodo seco.
- De SWATCheck, herramienta de SWAT la cual nos brinda un mejor entendimiento del comportamiento del ciclo hidrológico de la sub-cuenca, se interpretó que el aporte de agua por flujo subterráneo representa un 77.5% del flujo total de agua en la subcuenca, que incluye la escorrentía superficial, flujo subterráneo lateral y flujo de retorno. La escorrentía superficial en la subcuenca representa un 22.5% y de toda el agua precipitada en la subcuenca, solo un 45% fluye como escorrentía, flujo subterráneo lateral y de retorno; el resto es evapotranspirada.
- Para el modelo SWAT, el coeficiente de eficiencia de Nash es de 0.75 para el periodo de validación (2004 - 2018), lo que indica que este modelo tiene un ajuste “Muy bueno” según la tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe.
- El modelo de Témez representa mejor los caudales en el periodo húmedo, en cambio para el periodo seco tiende a subestimarlos al igual que el modelo de Lutz Scholz.
- El modelo de Témez se calibró haciendo uso del algoritmo genético, obteniéndose un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.70 para el periodo de calibración (1975 – 2003), el cual califica como “Muy Bueno” según la tabla de eficiencia de Nash-Sutcliffe. y para el periodo de validación (2004 – 2018) se obtuvo un coeficiente de eficiencia de Nash de 0.83 lo que indica que este modelo tiene un ajuste “Excelente”.
- Los resultados obtenidos de la aplicación de los 3 modelos hidrológicos en la subcuenca de la represa el Pañe, indican que el modelo de Témez es el que mejor simula el proceso de lluvia – escorrentía.

- La eficiencia de conducción del canal Pañe – Bamputañe, primer tramo del canal Pañe-Sumbay, es de 78.34% y el caudal de agua que se pierde es de 0.565 m³/s. Debe darse obligatoriamente mantenimiento continuo a este tramo, ya que en visita a campo se observó que las paredes y fondo del canal están deterioradas además que en el tramo final (rápida de entrega) el revestimiento de concreto en el fondo es inexistente; una de las causas son las condiciones de operación ya que en algunos meses del año no circula agua por el canal por que no se descarga agua de la represa el Pañe, dejando expuesto su fondo y paredes por mucho tiempo a las fuertes condiciones intempéricas de la zona. Otra causa es la naturaleza de los agregados utilizados en su construcción al ser de naturaleza volcánica (andesítica) que es susceptible a una reacción álcali-agregado, lo que desencadena en el envejecimiento prematuro del concreto.



CAPITULO. X. RECOMENDACIONES

- Dado que hubo limitaciones en el desarrollo de los modelos hidrológicos por la ausencia de registros de caudales, precipitaciones, temperaturas y evaporación, se tuvo que realizar completación de datos, por lo cual, se recomienda colocar más estaciones pluviométricas, meteorológicas e hidrométricas, con monitoreo constante, con la finalidad de contar con una base de datos más amplia para aplicar con mayor precisión los modelos hidrológicos existentes.
- Debe repararse o reemplazarse el anemómetro de la estación meteorológica del Pañe, ésta se encuentra inoperativa. Por lo que se tuvo que trabajar con una base de datos generada para la calibración del modelo SWAT, esta base de datos fue desarrollada por un equipo de ingenieros de la Universidad de PURDUE de EE.UU. adaptando la base de datos de SWAT para las regiones alto-andinas del sur del país.
- Es necesario elaborar mapas con el uso de suelo actualizado, tanto en la Región Arequipa como Cusco. Se elaboró un mapa con el uso de suelo a partir de imágenes satelitales pero no pudo aplicarse en la calibración de SWAT porque no cubría el porcentaje de área de traslape requerido por el programa, entonces se trabajó con el mapa de la FAO el cual contiene información a nivel continental, lo que dificultó el proceso de calibración.
- La tabla Cota-Área-Volumen de la represa El Pañe data del año 1972, por lo cual debe ser actualizada, con el fin de tener más certeza de los caudales afluentes en la sub-cuenca.
- Es recomendable extender la aplicación de estos modelos hidrológicos a más regiones del país, para una mejor calibración de los parámetros en los modelos de Témez, Lutz Scholz y SWAT.
- La recomendación más importante para el canal Pañe - Bamputañe es que se requiere mantenimiento permanente, así se disminuirán las pérdidas de agua.
- Después de más de 40 años de trabajos de mantenimiento y reparaciones en el tramo Pañe-Bamputañe, de acuerdo al informe “Ordenamiento Del Sistema De Gestión De Los Recursos Hídricos Cuenca Quilca-Chili” del INRENA, se recomienda reemplazar por tramos el canal con una mezcla con incorporadores de aire, para garantizar una mejor durabilidad del concreto. Es el método más adecuado, ya que crea una reserva de volumen de vacíos, los cuales absorben y acomodan el agua congelada, evitando agrietamientos y fisuras en el concreto. La protección

proporcionada con el aire incorporado es de forma permanente para ciclos repetidos de congelación y deshielo, algo propio de las regiones alto-andinas.

- Otra solución para mejorar la eficiencia de conducción del tramo Pañe – Bamputañe es la de revestir íntegramente todo el tramo del canal con geomembranas, se recomienda hacer un estudio para evaluar el tipo de geomembrana a usar ya que por la ubicación del canal debe tener una alta resistencia a los rayos UV, fuerzas externas como la caída de hielo y efectos mecánicos del viento; algo constante en esta zona.



BIBLIOGRAFÍA

- ANA. (2015) Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Camaná-Majes-Colca
- AUTODEMA. (2011) Programa de Adecuación y Manejo Ambiental de la represa el Pañe
- ANA. (2015) Plan de Gestión de los Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili
- ANA. (2017) Compendio Delimitación de los Ámbitos Territoriales de las Administraciones Locales del agua.
- INRENA (1997) Ordenamiento del Sistema de Gestión de los Recursos Hídricos cuenca Quilca-Chili
- ANA (2009) Evaluación de la Eficiencia del uso del Agua en la cuenca del rio Chili
- Plan de Mejoramiento de Riego en la Sierra y Selva. (1980) Generación de Caudales mensuales en la Sierra Peruana MERISS II
- Grupo de Ingeniería de Recursos Hídricos. (2017) Herramienta EvalHid para la evaluación de recursos hídricos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Estrela, T. (1992) Modelos Matemáticos para la Evaluación de Recursos Hídricos, Madrid, España: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas
- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México D.F.: Limusa.
- ANA, Consejo de Recursos Hídricos de cuenca Quilca-Chili. (2014) Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili.
- ANA, Consejo de Recursos Hídricos de cuenca Quilca-Chili. (2015) Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili.
- ANA, Consejo de Recursos Hídricos de cuenca Quilca-Chili. (2016) Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili.

ANA, Consejo de Recursos Hídricos de cuenca Quilca-Chili. (2017) Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili.

ANA, Consejo de Recursos Hídricos de cuenca Quilca-Chili. (2018) Plan de Aprovechamiento de la Disponibilidad Hídrica en el Ámbito del Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Quilca-Chili.

Carmona, A., J. Ayuso, J.L. Ayuso. (1990) Estudio de algunos modelos determinísticos lluvia-escorrentía. Aplicación a una cuenca real. Ingeniería Civil, España.

Ordoñez, J, J. (2011) Cartilla técnica “Contribuyendo al desarrollo de una cultura del Agua y la Gestión Integral del Recurso Hídrico”. ¿Qué es una cuenca hidrológica?, Lima, Perú: SENAHEMI.

Villón Béjar, M. (2005). Hidrología Estadística. Lima: Villón.

Llamas, J. (1993) Hidrología General, Principios y Aplicaciones. España. Servicio Editorial Universidad del País Vasco.

Balfagón Soler, R., Fernández Tobar, P. (2009) Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de la cuenca del río Ter, en el embalse de Sau, (Proyecto de fin de master), Madrid, España: Fundación EOI.

Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. Barcelona.

Linsley, R., M. Kohler, J. Paulhus. (1977) Hidrología para Ingenieros. Colombia: McGraw-Hill.

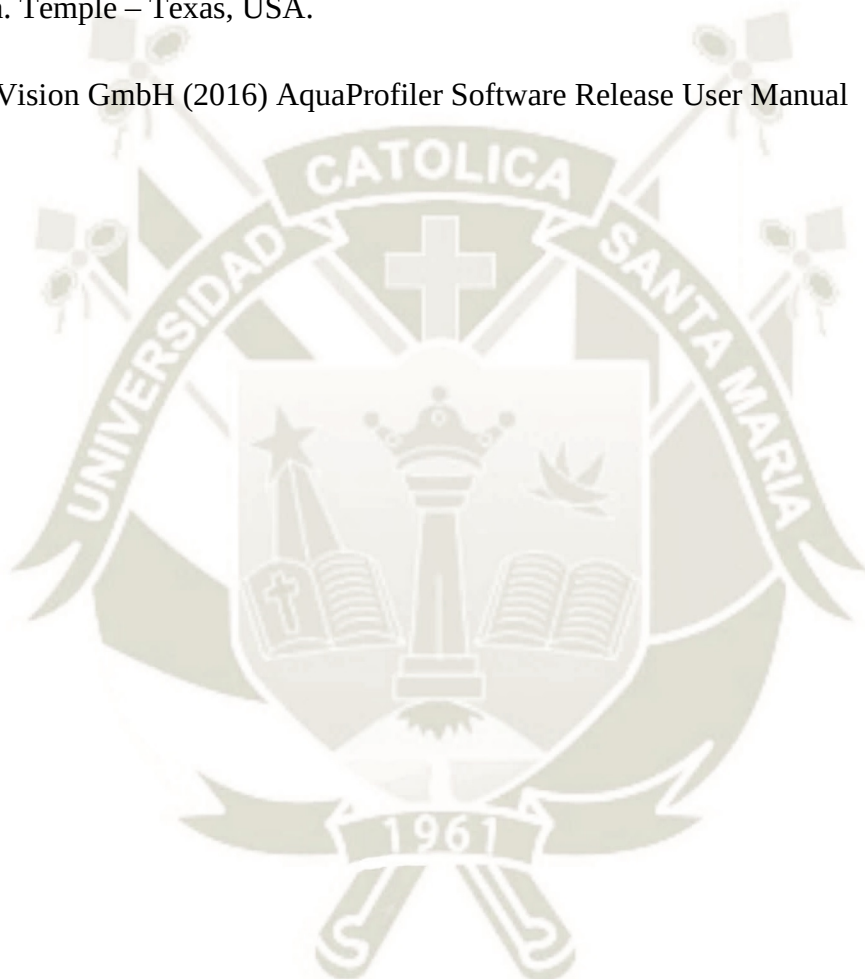
Mejía Medina, G. (2017) Influencia del Cambio Climático en los Caudales mensuales de la cuenca rio Verde (Tesis para optar por el título de ingeniero. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú)

Pizarro, R., Soto, M., Farías, 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, Universidad de Talca.

Carranza Córdova, G. (2017) Cálculo de la Eficiencia de Conducción y Distribución en el Sector Hidráulico Menor clase B del Río Chonta y Cajamarquino en el Canal de Riego La Victoria, Yanamarca, Rumicucho – Cajamarca.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. (2005) Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation. Grassland, Soil and Water Research Laboratory – Agricultural Research Service. Blackland Research Center – Texas Agricultural Experiment Station. Temple – Texas, USA.

HydroVision GmbH (2016) AquaProfiler Software Release User Manual



ANEXOS

ANEXO 1. INFORMACIÓN HISTÓRICA CLIMATOLÓGICA, PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA A ESCALA MENSUAL

APÉNDICE 1. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL HISTÓRICA (°C) Estación Pañe. Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	2.00	0.00	0.00	3.00	4.00	4.00	4.00	2.92
2	1976	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00	3.00
3	1977	5.00	5.00	5.00	4.00	2.00	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.42
4	1978	4.00	6.00	5.00	5.00	3.00	2.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	3.33
5	1979	4.00	5.00	5.00	4.00	2.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	4.00	3.58
6	1980	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00	4.00	3.75
7	1981	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	4.00	5.00	6.00	3.50
8	1982	6.00	5.00	5.00	4.00	2.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	3.58
9	1983	5.00	6.00	6.00	6.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	4.00
10	1984	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	1.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	3.25
11	1985	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	2.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.25
12	1986	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	2.00	0.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	2.92
13	1987	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	3.75
14	1988	6.00	5.00	5.00	4.00	4.00	1.00	1.00	3.00	4.00	5.00	5.00	4.00	3.92
15	1989	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	1.00	2.00	3.00	5.00	5.00	4.00	3.42
16	1990	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	1.00	0.00	2.00	2.00	4.00	5.00	5.00	3.17
17	1991	5.00	5.00	4.00	4.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.33
18	1992	4.00	5.00	5.00	5.00	4.00	2.00	-0.35	-0.70	1.35	4.00	2.85	3.55	2.98
19	1993	2.75	3.55	3.40	3.05	2.50	0.85	0.65	1.45	2.95	4.50	5.30	5.50	3.04
20	1994	4.75	4.40	4.85	4.30	4.05	3.45	2.05	2.60	2.90	4.60	4.00	5.00	3.91
21	1995	5.60	5.46	4.98	5.09	4.34	2.22	2.44	3.78	4.06	4.97	4.97	4.32	4.35
22	1996	5.00	5.07	5.17	4.64	3.28	1.45	0.61	1.80	3.10	3.76	3.82	3.82	3.46
23	1997	4.03	3.52	3.69	2.74	2.09	1.04	1.48	1.59	3.52	4.82	4.80	5.45	3.23
24	1998	6.16	6.36	6.40	5.49	3.24	2.50	1.97	2.65	3.62	4.45	4.26	5.01	4.34
25	1999	4.83	4.10	4.00	3.69	3.13	1.70	1.61	1.75	2.28	3.15	3.82	4.30	3.20
26	2000	4.07	4.07	4.22	4.10	3.12	0.62	0.01	1.41	3.11	2.89	4.18	4.05	2.99
27	2001	3.75	4.29	3.85	3.41	2.58	1.63	0.80	1.19	3.06	4.12	5.26	4.97	3.24
28	2002	4.56	4.45	4.60	3.67	2.72	2.37	0.17	1.23	2.66	3.62	4.53	5.01	3.30
29	2003	5.37	5.16	4.28	3.83	2.95	1.69	1.28	1.24	2.12	3.87	4.19	5.19	3.43
30	2004	4.30	4.87	4.78	4.19	2.16	0.97	0.95	1.79	3.55	4.24	4.69	5.47	3.50
31	2005	4.69	4.58	5.16	4.56	2.92	1.07	1.80	1.30	2.66	3.95	4.62	4.64	3.50
32	2006	4.36	4.99	4.89	4.32	2.64	1.59	0.66	1.89	2.35	3.97	4.13	4.89	3.39
33	2007	5.06	4.26	4.10	4.18	3.10	2.66	1.31	2.53	2.92	4.58	4.59	4.42	3.64
34	2008	4.29	4.43	4.19	3.76	2.01	1.73	0.97	1.80	2.23	3.92	5.15	4.51	3.25
35	2009	4.35	4.79	4.16	4.28	2.71	0.66	0.86	1.27	3.04	4.10	4.99	5.59	3.40
36	2010	6.00	6.63	6.18	5.87	4.24	3.71	2.31	3.31	4.02	4.84	5.12	5.38	4.80
37	2011	5.65	5.17	4.76	5.05	3.95	2.51	2.06	3.03	3.63	4.44	5.89	5.13	4.27
38	2012	4.39	4.57	4.81	4.49	3.54	2.76	2.19	2.49	3.79	5.05	5.61	5.26	4.08
39	2013	5.16	5.62	5.72	4.78	4.03	2.38	2.17	2.36	3.66	4.69	5.57	5.32	4.29
40	2014	4.66	4.74	4.41	4.01	3.19	2.88	1.58	2.63	3.47	4.13	4.85	5.26	3.82
41	2015	3.80	4.36	4.62	3.78	3.40	3.20	1.90	2.49	3.78	3.92	5.48	5.02	3.81
42	2016	5.89	5.56	6.42	4.67	3.19	1.85	2.10	2.39	3.14	3.85	4.49	5.24	4.07
43	2017	4.99	5.58	4.79	4.31	3.52	2.74	2.44	2.52	3.63	4.08	5.30	5.14	4.09
44	2018	4.30	5.26	4.55	4.14	2.86	1.83	1.73	2.06	3.21	4.45	5.55	4.94	3.74
Promedio		4.63	4.79	4.68	4.24	3.01	1.93	1.22	1.91	2.95	4.09	4.66	4.76	3.57
DesvStd		0.78	0.71	0.71	0.67	0.64	0.88	0.76	0.79	0.65	0.54	0.63	0.63	0.70
Min		2.75	3.52	3.40	2.74	2.00	0.62	-0.35	-0.70	1.35	2.89	2.85	3.55	2.05
Max		6.16	6.63	6.42	6.00	4.34	4.00	2.44	3.78	4.06	5.05	5.89	6.00	5.06

APÉNDICE 2. TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL HISTÓRICA (°C) Estación Pañe. Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
2	1976	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
3	1977	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
4	1978	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
5	1979	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
6	1980	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
7	1981	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
8	1982	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
9	1983	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
10	1984	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
11	1985	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
12	1986	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
13	1987	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
14	1988	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
15	1989	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
16	1990	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
17	1991	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
18	1992	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	8.20	7.60	10.60	S/I	10.90	10.80	S/I
19	1993	8.20	9.60	8.10	8.20	9.70	9.80	9.20	8.90	11.50	12.20	11.60	11.20	9.80
20	1994	9.60	8.80	9.90	10.00	11.10	11.80	10.60	11.60	11.30	13.90	9.70	11.20	10.80
21	1995	11.70	11.91	10.23	12.07	12.69	11.35	12.24	13.78	12.63	14.77	13.09	11.87	12.36
22	1996	10.74	10.04	11.30	9.93	9.62	8.99	8.92	8.94	11.17	11.92	10.90	9.15	10.14
23	1997	8.89	8.10	8.70	8.21	8.26	8.99	9.42	7.80	10.12	12.60	11.62	12.27	9.58
24	1998	11.07	11.52	12.14	11.92	11.34	9.79	10.58	11.26	12.64	12.25	11.95	12.02	11.54
25	1999	10.45	8.15	7.72	8.00	9.44	9.48	9.39	9.49	9.54	8.46	11.86	10.63	9.39
26	2000	7.76	7.87	8.75	9.82	9.52	7.83	7.60	8.61	11.55	8.99	12.46	9.70	9.21
27	2001	7.44	7.95	7.60	8.06	8.08	7.69	7.28	7.88	9.95	11.55	13.11	12.22	9.07
28	2002	10.41	8.38	8.76	7.77	8.21	8.33	4.91	7.47	9.19	9.40	10.93	10.72	8.71
29	2003	10.77	9.71	8.49	8.88	9.00	9.78	8.48	8.95	9.39	12.84	12.08	11.67	10.00
30	2004	8.56	9.95	9.51	9.86	9.29	8.23	7.83	7.95	10.60	12.70	13.03	13.58	10.09
31	2005	10.14	8.81	10.16	10.09	10.48	9.99	10.68	11.34	10.27	11.96	12.61	10.39	10.58
32	2006	8.67	9.97	9.66	9.54	9.98	9.10	9.00	9.59	10.61	11.35	9.85	11.04	9.86
33	2007	10.03	8.70	7.70	8.90	8.95	9.62	8.12	10.90	9.18	12.18	12.27	12.20	9.90
34	2008	8.27	9.35	9.28	10.63	10.00	9.94	9.95	11.46	11.75	11.70	13.10	10.14	10.46
35	2009	9.26	9.30	8.91	9.84	9.32	8.81	8.06	9.93	10.65	12.02	11.24	11.44	9.90
36	2010	11.15	11.74	11.68	12.13	11.26	11.48	11.87	13.00	13.37	13.14	14.79	10.93	12.21
37	2011	11.58	9.60	9.57	10.92	10.89	10.29	9.48	11.53	11.72	13.33	14.62	11.47	11.25
38	2012	9.50	9.00	9.97	9.58	10.58	10.52	10.52	11.55	12.20	13.22	13.32	10.55	10.88
39	2013	10.29	10.50	11.49	12.26	11.18	9.46	9.24	10.81	12.94	12.65	13.20	11.15	11.26
40	2014	9.80	10.76	9.45	8.75	10.33	11.09	9.11	10.42	9.65	10.30	12.36	11.35	10.28
41	2015	8.48	8.76	9.01	7.70	9.49	10.73	10.03	9.95	10.79	10.89	12.67	10.90	9.95
42	2016	12.43	10.28	12.71	9.94	10.67	9.98	9.61	10.61	11.82	11.33	12.89	11.50	11.15
43	2017	9.53	11.09	9.31	9.42	9.08	9.60	10.29	11.53	10.50	11.77	12.78	11.66	10.55
44	2018	8.75	9.68	9.15	9.93	10.04	7.53	7.51	8.54	11.76	10.86	13.34	11.89	9.91
Promedio		9.75	9.60	9.59	9.70	9.94	9.62	9.19	10.05	11.01	11.86	12.31	11.25	10.32
DesvStd		1.29	1.16	1.36	1.36	1.09	1.15	1.52	1.69	1.17	1.45	1.22	0.89	1.28
Min		7.44	7.87	7.60	7.70	8.08	7.53	4.91	7.47	9.18	8.46	9.70	9.15	7.92
Max		12.43	11.91	12.71	12.26	12.69	11.80	12.24	13.78	13.37	14.77	14.79	13.58	13.03

S/I Sin información

APÉNDICE 3. TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL HISTÓRICA (°C) Estación Pañe. Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
2	1976	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
3	1977	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
4	1978	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
5	1979	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
6	1980	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
7	1981	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
8	1982	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
9	1983	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
10	1984	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
11	1985	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
12	1986	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
13	1987	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
14	1988	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
15	1989	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
16	1990	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
17	1991	-1.10	S/I	S/I	S/I	-4.60	-6.50	S/I	S/I	S/I	-4.80	-3.40	-3.20	S/I
18	1992	-1.70	-2.20	-2.60	-3.60	-6.10	-7.30	-8.90	-9.00	-7.90	S/I	-5.20	-3.70	S/I
19	1993	-2.70	-2.50	-1.30	-2.10	-4.70	-8.10	-7.90	-6.00	-5.60	-3.20	-1.00	-0.20	-3.80
20	1994	-0.10	0.00	-0.20	-1.40	-3.00	-4.90	-6.50	-6.40	-5.50	-4.70	-1.70	-1.20	-3.00
21	1995	-0.50	-0.99	-0.28	-1.90	-4.00	-6.92	-7.36	-6.22	-4.52	-4.83	-3.14	-3.23	-3.66
22	1996	-0.74	0.10	-0.96	-0.65	-3.06	-6.09	-7.69	-5.35	-4.96	-4.39	-3.27	-1.52	-3.22
23	1997	-0.84	-1.06	-1.31	-2.73	-4.08	-6.91	-6.45	-4.61	-3.07	-2.96	-2.03	-1.38	-3.12
24	1998	1.25	1.19	0.66	-0.93	-4.86	-4.79	-6.64	-5.96	-5.40	-3.34	-3.44	-2.00	-2.85
25	1999	-0.79	0.05	0.28	-0.62	-3.18	-6.07	-6.18	-5.99	-4.98	-2.16	-4.23	-2.04	-2.99
26	2000	0.38	0.27	-0.32	-1.62	-3.27	-6.33	-7.57	-5.79	-5.33	-3.22	-4.10	-1.60	-3.21
27	2001	0.06	0.66	0.09	-1.22	-2.72	-4.42	-5.69	-5.50	-3.83	-3.31	-2.59	-2.29	-2.56
28	2002	-1.28	0.62	0.44	-0.44	-2.76	-3.59	-4.69	-4.99	-3.87	-2.16	-1.87	-0.71	-2.11
29	2003	-0.03	0.60	0.07	-1.22	-3.10	-6.41	-5.92	-6.48	-5.16	-5.09	-3.70	-1.29	-3.14
30	2004	0.04	-0.21	0.05	-1.48	-4.96	-6.30	-5.93	-4.37	-3.51	-4.22	-3.66	-2.65	-3.10
31	2005	-0.77	0.34	0.16	-0.97	-4.64	-7.84	-7.09	-8.73	-4.95	-4.06	-3.37	-1.11	-3.58
32	2006	0.05	0.01	0.11	-0.90	-4.71	-5.92	-7.68	-5.81	-5.91	-3.41	-1.59	-1.25	-3.08
33	2007	0.10	-0.19	0.51	-0.55	-2.74	-4.30	-5.50	-5.85	-3.33	-3.02	-3.08	-3.36	-2.61
34	2008	0.32	-0.49	-0.91	-3.11	-5.98	-6.48	-8.00	-7.87	-7.29	-3.86	-2.80	-1.11	-3.97
35	2009	-0.57	0.28	-0.59	-1.28	-3.89	-7.49	-6.35	-7.39	-4.57	-3.82	-0.97	-0.26	-3.08
36	2010	0.85	1.51	0.69	-0.39	-2.78	-4.07	-7.26	-6.38	-5.33	-3.46	-4.55	-0.16	-2.61
37	2011	-0.28	0.74	-0.05	-0.82	-2.99	-5.27	-5.35	-5.48	-4.47	-4.46	-2.84	-1.21	-2.71
38	2012	-0.72	0.13	-0.35	-0.61	-3.51	-5.01	-6.14	-6.57	-4.61	-3.12	-2.10	-0.03	-2.72
39	2013	0.03	0.74	-0.04	-2.70	-3.12	-4.70	-4.90	-6.10	-5.62	-3.27	-2.07	-0.51	-2.69
40	2014	-0.48	-1.29	-0.63	-0.73	-3.95	-5.34	-5.94	-5.16	-2.70	-2.04	-2.66	-0.84	-2.65
41	2015	-0.87	-0.05	0.22	-0.15	-2.69	-4.33	-6.23	-4.98	-3.22	-3.05	-1.72	-0.86	-2.33
42	2016	-0.66	0.85	0.14	-0.60	-4.29	-6.28	-5.40	-5.84	-5.53	-3.64	-3.91	-1.01	-3.01
43	2017	0.46	0.06	0.27	-0.80	-2.05	-4.13	-5.42	-6.48	-3.23	-3.62	-2.18	-1.39	-2.37
44	2018	-0.15	0.84	-0.04	-1.65	-4.32	-3.87	-4.05	-4.41	-5.33	-1.97	-2.24	-2.01	-2.43
Promedio		-0.38	0.00	-0.22	-1.30	-3.79	-5.70	-6.40	-6.06	-4.81	-3.52	-2.84	-1.50	-36.52
DesvStd		0.79	0.94	0.72	0.89	1.03	1.28	1.14	1.14	1.22	0.87	1.06	1.01	1.01
Min		-2.70	-2.50	-2.60	-3.60	-6.10	-8.10	-8.90	-9.00	-7.90	-5.09	-5.20	-3.70	-5.45
Max		1.25	1.51	0.69	-0.15	-2.05	-3.59	-4.05	-4.37	-2.70	-1.97	-0.97	-0.03	-1.37

S/I Sin información

APÉNDICE 4. EVAPORACIÓN MENSUAL HISTÓRICA (mm) Estación Pañe. Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	110.80	85.20	79.40	102.10	102.80	104.50	94.90	116.70	119.20	149.80	150.30	86.80	1302.50
2	1976	69.70	54.90	157.30	118.40	89.50	79.50	87.80	114.40	91.10	97.00	118.50	111.60	1189.70
3	1977	138.60	70.40	90.50	105.00	108.80	93.10	104.60	149.70	124.60	128.60	105.50	127.20	1346.60
4	1978	85.20	121.00	131.90	107.40	132.20	94.00	108.30	139.60	139.20	133.20	105.20	95.60	1392.80
5	1979	168.00	93.90	102.20	97.10	102.00	115.60	102.50	140.00	140.00	130.00	110.00	100.00	1401.30
6	1980	131.80	99.70	73.00	153.40	105.00	113.90	112.70	132.40	132.50	112.90	141.70	130.50	1439.50
7	1981	89.20	108.50	109.00	104.70	108.00	105.70	108.10	104.40	101.70	143.20	131.40	120.40	1334.30
8	1982	84.10	107.60	87.20	123.00	143.20	106.20	126.80	116.40	109.10	140.10	103.00	161.20	1407.90
9	1983	153.80	138.10	159.40	110.50	114.00	91.50	122.10	125.10	125.00	169.70	150.00	130.30	1589.50
10	1984	67.50	86.70	104.00	107.20	141.10	92.90	110.00	112.90	149.20	130.00	107.50	127.70	1336.70
11	1985	121.40	69.00	96.30	98.60	86.80	60.40	123.30	110.90	114.00	160.00	109.30	117.40	1267.40
12	1986	116.50	91.50	111.20	107.20	111.90	121.60	98.70	102.40	107.90	171.70	161.30	110.70	1412.60
13	1987	91.50	127.50	131.90	118.50	125.30	124.40	99.70	141.20	157.70	163.60	128.00	175.90	1585.20
14	1988	91.40	115.30	83.00	88.00	103.70	119.70	122.40	158.60	150.70	164.50	176.20	115.90	1489.40
15	1989	63.40	56.00	59.40	92.30	129.60	88.60	99.50	105.10	145.10	158.60	138.50	164.10	1300.20
16	1990	90.70	97.00	90.00	90.00	90.00	91.00	99.00	148.50	136.30	101.60	114.60	103.00	1251.70
17	1991	97.00	73.80	76.90	90.10	129.40	83.00	107.60	125.10	113.20	106.50	100.60	139.70	1242.90
18	1992	108.60	91.20	98.90	110.30	154.30	136.90	114.00	105.70	147.60	103.10	120.90	134.90	1426.40
19	1993	106.00	93.40	107.70	79.70	121.50	118.70	93.50	129.80	152.20	137.60	129.10	152.50	1421.70
20	1994	98.00	82.00	96.90	89.20	117.20	113.90	114.90	141.20	181.00	190.90	101.60	121.00	1447.80
21	1995	123.20	109.80	105.20	112.60	120.50	100.60	125.90	140.70	143.70	185.70	163.30	148.40	1579.60
22	1996	118.40	100.60	120.30	108.60	100.40	117.40	124.80	118.80	155.40	168.00	140.50	96.20	1469.40
23	1997	76.70	78.60	91.80	87.10	104.00	113.50	125.20	112.20	125.00	160.50	141.00	141.50	1357.10
24	1998	127.00	111.50	122.00	129.60	143.60	101.20	130.50	135.80	157.60	158.20	141.60	140.40	1599.00
25	1999	113.00	75.40	92.20	84.50	104.74	99.70	107.10	123.00	117.90	117.00	158.20	128.30	1321.04
26	2000	69.00	91.10	90.70	106.60	104.30	79.90	100.30	111.00	156.10	103.30	170.90	99.90	1283.10
27	2001	65.50	80.40	100.23	87.90	89.80	84.00	92.60	99.60	122.00	146.10	142.90	132.80	1243.83
28	2002	131.80	81.10	89.60	87.40	94.10	89.40	87.70	110.67	118.40	130.72	149.60	128.60	1299.09
29	2003	141.20	98.20	99.10	96.80	107.00	99.50	120.60	125.20	131.70	172.30	165.60	128.00	1485.20
30	2004	87.30	105.90	95.20	102.70	124.00	100.50	101.00	124.04	130.60	167.20	165.70	153.50	1457.64
31	2005	121.50	94.30	109.30	111.00	124.30	107.50	126.20	134.20	146.60	163.60	152.90	121.40	1512.80
32	2006	89.40	108.90	114.40	95.20	115.00	105.30	114.10	123.80	144.10	152.80	97.70	122.60	1383.30
33	2007	108.00	91.90	88.90	92.60	102.70	97.70	102.30	138.50	118.50	177.30	174.60	177.30	1470.30
34	2008	83.50	100.50	113.30	116.90	114.70	103.10	108.60	114.60	153.20	163.40	176.40	143.30	1491.50
35	2009	109.20	94.20	94.80	98.20	109.20	102.20	97.10	123.60	133.90	170.10	110.00	118.80	1361.30
36	2010	91.20	84.70	96.60	121.10	124.50	105.40	114.60	136.50	150.20	167.10	195.30	112.70	1499.90
37	2011	100.20	72.10	85.70	91.50	115.40	101.00	106.90	137.70	134.50	170.70	179.30	128.00	1423.00
38	2012	82.20	66.20	87.30	80.40	100.40	102.20	100.10	130.30	137.20	145.90	140.20	95.40	1267.80
39	2013	103.80	88.90	128.60	114.20	117.40	90.80	91.50	108.30	130.00	166.80	177.10	111.00	1428.40
40	2014	96.40	109.80	103.00	91.40	118.20	117.80	114.40	120.70	106.60	124.40	151.70	120.10	1374.50
41	2015	84.20	79.90	84.40	74.00	101.70	100.70	108.90	123.50	123.20	122.70	116.90	120.30	1240.40
42	2016	136.10	81.80	127.00	96.90	111.00	105.80	105.50	120.20	138.10	124.50	140.50	124.50	1411.90
43	2017	76.90	84.20	82.80	73.00	89.90	104.40	101.20	121.00	107.90	146.60	139.80	140.50	1268.20
44	2018	81.00	65.40	74.80	97.50	103.20	82.60	102.00	102.00	132.00	118.90	135.30	127.00	1221.70
Promedio		102.27	91.32	100.98	101.15	112.64	101.53	108.17	124.00	132.99	145.83	139.32	126.98	1387.18
DesvStd		24.64	18.09	20.51	15.51	15.65	14.17	11.41	14.29	18.31	24.87	25.86	20.72	224.02
Min		63.40	54.90	59.40	73.00	86.80	60.40	87.70	99.60	91.10	97.00	97.70	86.80	957.80
Max		168.00	138.10	159.40	153.40	154.30	136.90	130.50	158.60	181.00	190.90	195.30	177.30	1943.70

APÉNDICE 5. REGISTRO HISTÓRICO DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL (mm) – Estación Pañe.
Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	215.16	185.66	155.80	22.00	0.74	0.37	0.00	0.10	17.06	21.74	30.91	222.95	872.49
2	1976	251.85	130.29	141.41	35.79	18.19	1.21	3.99	30.85	39.10	10.00	15.81	105.09	783.58
3	1977	38.27	176.76	166.52	28.03	3.14	0.18	0.60	4.19	6.65	27.37	80.14	108.60	640.45
4	1978	264.95	39.15	93.99	29.21	1.32	2.45	0.00	0.01	7.10	25.04	81.08	89.71	634.01
5	1979	73.33	159.65	147.05	29.12	0.17	0.17	0.37	5.38	0.12	51.21	73.26	89.78	629.61
6	1980	27.27	77.89	143.71	24.62	0.41	0.09	5.59	15.57	8.97	41.90	40.08	82.09	468.19
7	1981	264.96	177.39	91.40	48.15	4.22	1.94	0.00	1.59	9.19	9.32	41.89	125.80	775.85
8	1982	148.30	104.54	142.75	56.26	0.39	0.22	0.05	0.00	38.94	47.75	78.40	66.13	683.73
9	1983	5.56	79.84	46.18	50.52	0.69	1.80	0.00	1.27	31.49	13.33	10.42	82.47	323.57
10	1984	143.72	242.98	138.93	31.76	3.64	0.01	0.12	3.56	1.56	58.35	71.12	125.40	821.15
11	1985	34.29	202.48	172.49	161.62	14.69	0.00	0.17	2.04	13.73	7.81	66.37	140.24	815.93
12	1986	250.26	180.07	158.65	71.20	31.50	0.09	5.98	21.23	4.81	12.73	38.29	107.53	882.34
13	1987	212.45	80.94	22.29	23.37	21.33	5.91	3.04	1.95	4.15	27.52	50.03	86.17	539.15
14	1988	207.79	96.49	122.40	69.63	7.91	0.29	0.00	0.17	21.79	17.60	11.39	129.70	685.16
15	1989	195.00	162.73	164.63	75.40	4.87	0.29	5.20	1.88	0.79	12.37	54.18	59.96	737.30
16	1990	49.39	95.18	90.78	41.21	28.85	0.00	0.00	3.04	0.16	25.85	89.65	137.49	561.60
17	1991	178.50	172.10	153.10	24.00	20.40	0.03	3.00	0.00	5.70	18.10	29.90	122.70	727.53
18	1992	62.60	100.10	12.30	22.20	1.50	0.00	0.00	50.80	0.00	28.60	47.20	97.80	423.10
19	1993	249.10	45.30	96.60	35.90	7.70	1.00	0.00	14.30	4.90	68.80	65.80	195.70	785.10
20	1994	331.30	181.10	89.20	95.20	26.60	0.00	0.00	0.00	4.10	21.00	57.00	127.30	932.80
21	1995	141.70	199.70	167.80	38.10	0.40	0.00	0.00	3.50	19.80	17.00	40.50	100.30	728.80
22	1996	225.20	175.00	118.80	72.60	36.90	0.00	0.30	23.20	10.30	7.30	51.90	155.00	876.50
23	1997	227.20	211.10	83.70	47.60	26.40	0.00	0.00	23.00	52.10	0.80	76.00	128.90	876.80
24	1998	306.90	164.90	94.90	39.80	0.00	0.30	0.00	0.40	0.00	20.50	75.50	122.30	825.50
25	1999	162.30	242.70	229.90	104.50	4.50	0.30	0.00	0.10	17.70	65.20	20.10	77.70	925.00
26	2000	239.90	189.50	147.10	15.60	7.50	3.70	1.20	5.40	0.00	73.70	9.00	136.50	829.10
27	2001	173.70	205.20	192.30	80.30	34.40	0.50	16.50	16.80	7.90	7.50	30.60	49.80	815.50
28	2002	151.10	237.90	150.80	61.20	27.50	2.00	14.10	3.10	4.00	51.30	97.50	147.30	947.80
29	2003	182.00	216.90	192.40	29.00	7.90	0.80	0.00	1.70	18.90	5.20	24.20	133.20	812.20
30	2004	226.30	214.20	149.40	63.70	0.00	3.50	4.90	6.00	21.70	4.10	19.60	76.50	789.90
31	2005	161.10	217.10	103.72	78.70	0.00	0.00	0.20	3.30	14.70	6.30	50.10	162.80	798.02
32	2006	215.50	192.10	213.60	32.50	0.00	1.10	0.00	5.10	19.40	27.40	101.20	127.60	935.50
33	2007	165.30	168.80	213.10	74.30	23.70	0.90	6.00	0.00	29.20	26.80	15.60	26.80	750.50
34	2008	244.20	154.40	74.20	6.60	7.40	0.80	1.30	0.30	0.00	26.00	31.60	184.90	731.70
35	2009	102.10	182.50	101.70	56.60	1.00	0.00	9.80	1.20	14.20	15.00	86.70	83.90	654.70
36	2010	245.80	235.10	75.10	27.20	5.10	0.40	0.20	1.20	2.20	9.20	2.30	176.60	780.40
37	2011	211.20	226.80	194.50	68.00	0.50	0.20	10.10	0.80	1.00	13.60	22.10	132.01	880.81
38	2012	238.30	260.30	129.10	92.20	7.50	0.40	0.90	1.10	8.70	30.10	34.70	202.20	1005.50
39	2013	151.50	176.80	66.00	4.10	7.20	7.60	9.00	2.50	0.00	35.00	33.35	152.60	645.65
40	2014	214.40	34.60	106.20	44.70	0.90	0.00	1.40	1.80	42.80	23.80	22.30	97.70	590.60
41	2015	155.50	120.50	111.20	115.60	6.61	0.00	0.20	4.30	17.60	15.90	37.80	89.60	674.81
42	2016	80.90	323.70	44.60	84.00	1.10	10.70	1.60	5.10	1.80	50.60	19.80	70.60	694.50
43	2017	208.50	159.70	230.90	44.10	30.70	1.80	10.30	0.00	14.80	13.20	25.50	126.30	865.80
44	2018	155.00	135.40	210.00	28.80	2.10	12.90	20.10	4.30	6.10	57.00	5.20	67.90	704.80
Promedio		177.04	166.72	130.71	51.93	9.94	1.45	3.10	6.18	12.39	26.11	44.68	116.63	746.89
DesvStd		77.47	62.58	53.96	31.46	11.48	2.79	4.91	10.10	12.92	18.99	27.11	41.89	29.64
Min		5.56	34.60	12.30	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.30	26.80	7.21
Max		331.30	323.70	230.90	161.62	36.90	12.90	20.10	50.80	52.10	73.70	101.20	222.95	134.85

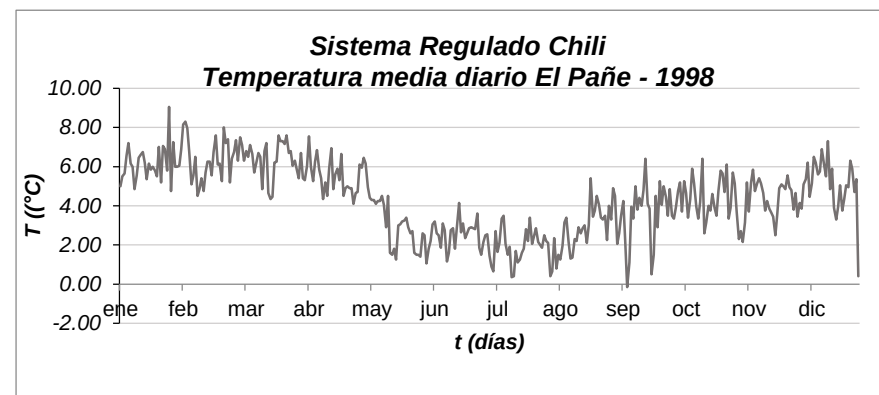
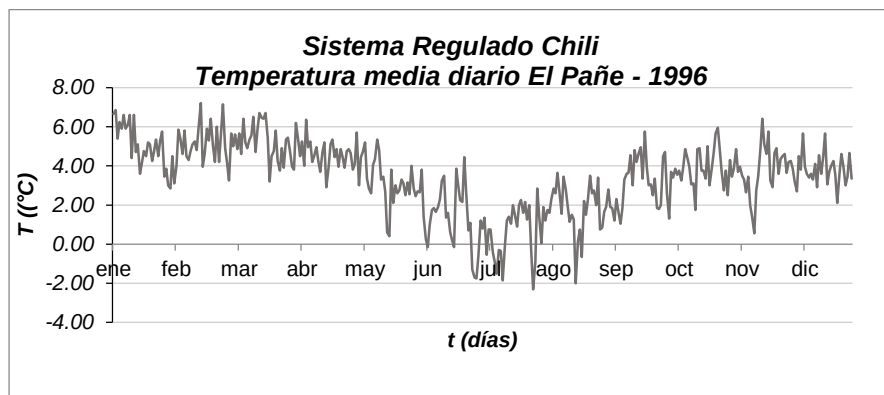
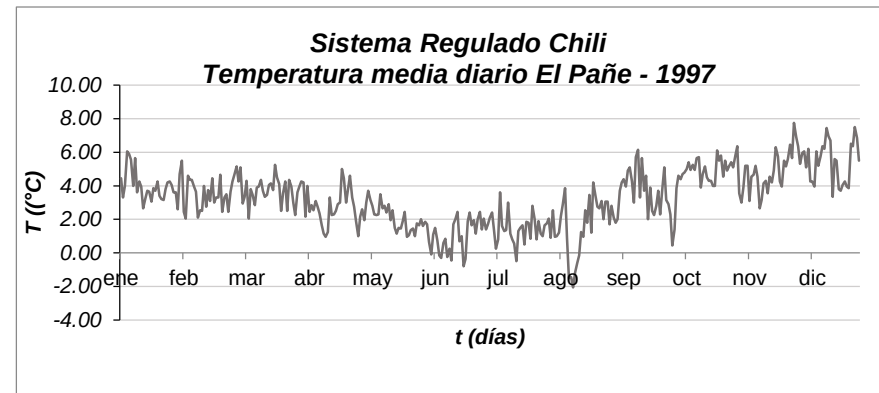
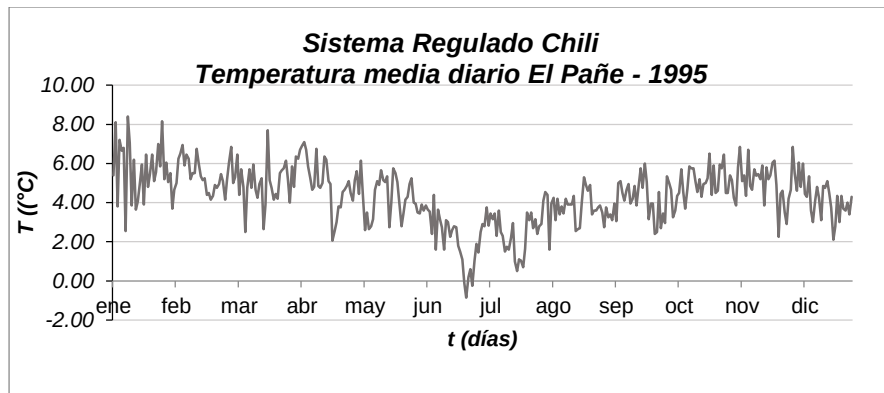
APÉNDICE 6. REGISTRO HISTÓRICO DE DESCARGAS TOTAL MENSUAL (m³/s) – Estación salida represa
Pañe. Periodo 1975 – 2018

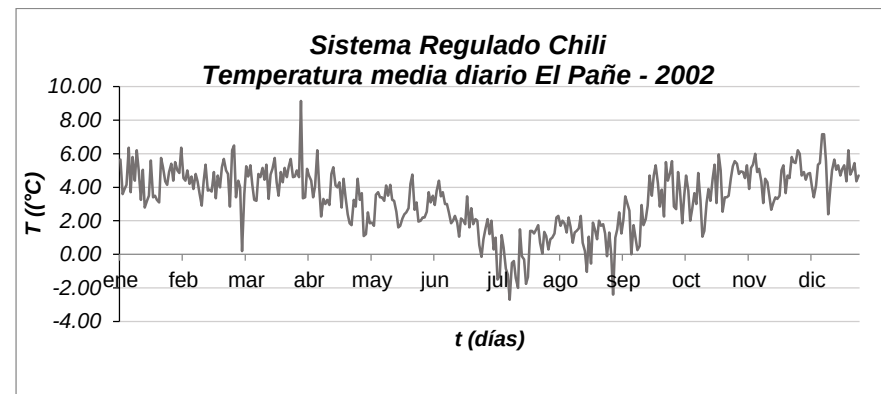
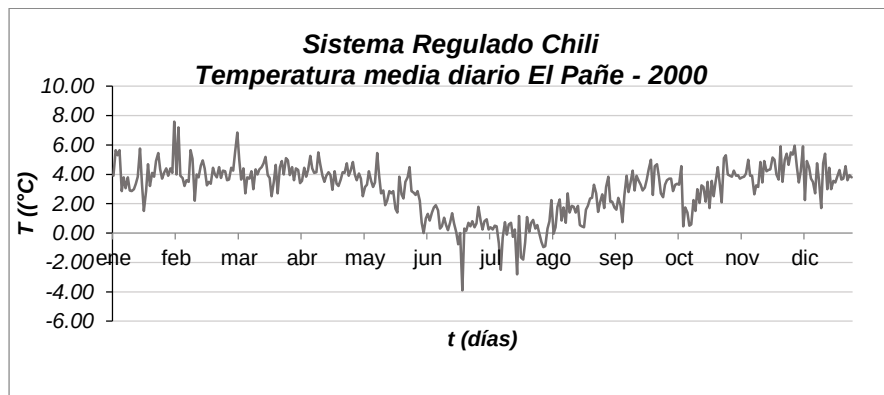
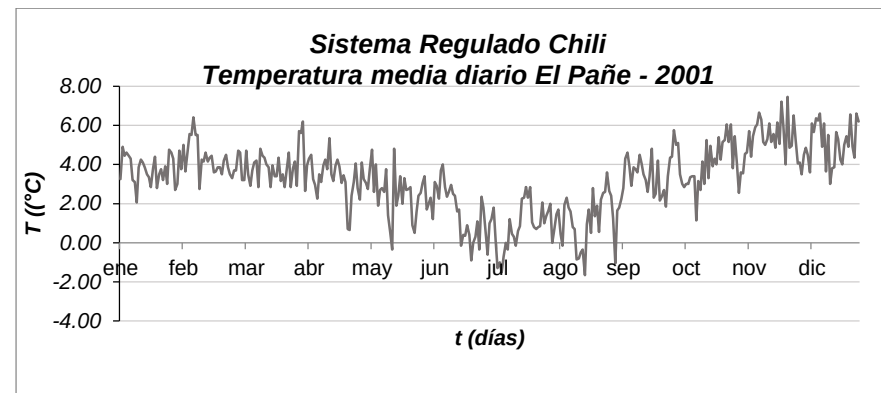
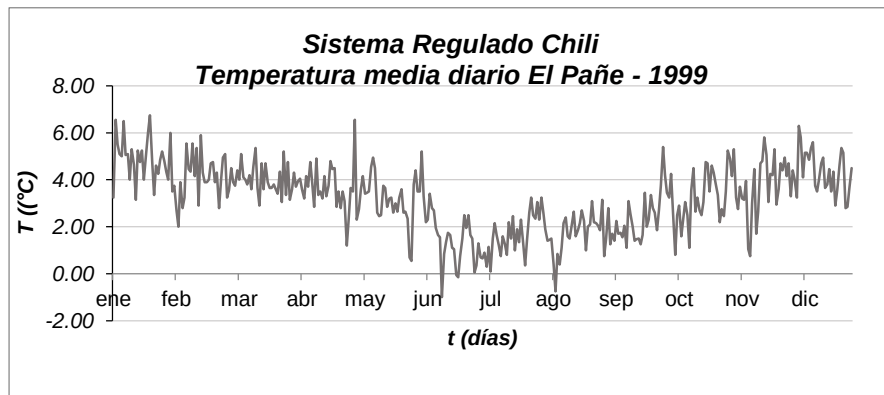
Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	2.61	S/I	S/I	S/I	4.42	4.40	3.87	1.55	S/I	S/I	3.60	4.68	S/I
2	1976	1.55	0.76	0.13	4.78	3.00	5.87	6.01	6.00	4.20	S/I	1.72	5.35	S/I
3	1977	2.80	0.73	S/I	0.47	0.77	S/I	S/I	S/I	0.85	5.00	5.64	5.60	S/I
4	1978	0.12	S/I	S/I	0.68	1.36	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	4.54	3.82	S/I
5	1979	0.89	3.61	5.98	0.58	S/I	S/I	S/I	S/I	3.76	5.98	4.50	3.64	S/I
6	1980	4.21	3.60	5.05	0.54	S/I	S/I	S/I	1.79	2.24	2.86	3.04	4.86	S/I
7	1981	1.35	S/I	S/I	S/I	S/I	5.07	5.01	5.27	4.95	5.31	5.41	4.69	S/I
8	1982	0.14	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	4.52	5.36	5.01	3.48	3.88	S/I
9	1983	5.23	3.91	4.31	1.48	1.43	0.27	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
10	1984	S/I	S/I	1.29	5.39	5.06	5.10	5.13	5.16	4.89	0.34	S/I	S/I	S/I
11	1985	0.38	0.40	S/I	0.93	2.98	0.46	4.72	4.93	5.54	6.06	5.94	4.66	S/I
12	1986	S/I	S/I	4.44	3.83	5.34	5.31	5.37	5.22	5.32	1.55	0.66	1.51	S/I
13	1987	0.69	S/I	1.10	5.38	1.71	2.15	4.61	0.31	S/I	S/I	S/I	4.55	S/I
14	1988	2.31	S/I	S/I	1.29	5.44	1.25	2.09	6.10	S/I	5.44	5.49	1.71	S/I
15	1989	3.26	4.12	0.13	S/I	0.84	3.30	5.07	5.38	5.43	2.60	4.29	3.91	S/I
16	1990	0.26	1.84	0.95	0.01	0.33	2.51	2.19	0.69	0.12	S/I	S/I	S/I	S/I
17	1991	S/I	S/I	S/I	S/I	2.91	3.73	4.60	3.12	3.57	3.40	3.47	0.76	S/I
18	1992	1.84	1.81	2.01	0.76	S/I	1.79	1.40	0.64	0.46	S/I	S/I	S/I	S/I
19	1993	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	2.24	2.75	3.04	3.29	1.71	0.67	S/I
20	1994	0.20	S/I	S/I	2.43	2.60	2.80	3.55	5.63	5.55	3.24	3.31	2.25	S/I
21	1995	0.30	S/I	0.13	0.01	4.51	5.13	5.47	5.08	5.11	4.98	1.44	S/I	S/I
22	1996	0.97	S/I	S/I	0.51	S/I	3.92	4.87	5.02	4.83	4.77	0.51	S/I	S/I
23	1997	0.30	S/I	S/I	0.26	S/I	4.45	5.22	4.95	4.74	2.49	2.77	3.15	S/I
24	1998	0.90	S/I	0.03	2.51	0.28	S/I	S/I	4.83	5.38	5.66	5.85	5.72	S/I
25	1999	4.80	S/I	S/I	2.98	2.05	S/I	S/I	S/I	1.35	4.42	5.15	4.42	S/I
26	2000	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
27	2001	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
28	2002	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
29	2003	2.58	1.45	1.87	4.26	5.12	5.08	5.07	5.06	5.08	1.49	0.00	0.61	3.14
30	2004	1.62	0.67	0.00	4.40	5.88	5.81	5.92	6.04	6.01	2.07	0.00	0.00	3.20
31	2005	2.95	0.99	0.00	0.00	3.35	5.06	5.12	4.76	0.36	0.00	0.00	0.00	1.88
32	2006	0.00	0.00	0.00	0.53	1.01	2.81	4.62	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89
33	2007	2.12	1.20	3.71	4.63	5.02	5.48	5.51	4.60	4.30	0.00	3.00	4.92	3.71
34	2008	0.30	0.00	0.00	4.40	5.00	5.00	5.00	5.00	4.78	1.05	0.00	0.00	2.54
35	2009	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	3.25	3.25	4.12	2.55	0.00	0.00	0.00	1.33
36	2010	0.00	0.00	0.10	2.24	5.50	5.50	5.50	5.50	2.20	0.00	0.00	0.00	2.21
37	2011	1.41	0.00	0.00	3.50	3.19	5.28	5.49	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
38	2012	0.00	14.82	11.29	8.85	3.38	5.00	5.00	5.00	2.00	0.00	0.00	0.00	4.61
39	2013	2.99	2.63	6.25	4.00	0.68	4.50	5.00	5.00	2.51	0.00	0.00	0.00	2.80
40	2014	1.85	0.68	4.01	5.00	1.45	0.00	0.00	0.88	1.11	0.00	0.00	0.00	1.25
41	2015	1.84	1.75	1.15	0.27	0.00	0.94	3.43	4.00	4.00	2.61	4.00	4.00	2.33
42	2016	4.00	1.16	0.35	3.88	4.97	4.96	4.94	0.68	2.30	2.37	0.00	0.00	2.47
43	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	5.00	5.00	1.22	0.00	0.00	0.00	1.24
44	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	4.00	4.00	2.38	1.00
Promedio		1.53	1.85	1.94	2.31	2.80	3.63	4.25	3.86	3.24	2.53	2.32	2.33	2.72
DesvStd		1.48	3.01	2.75	2.22	1.94	1.85	1.59	1.90	1.94	2.17	2.19	2.15	2.10
Min		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max		5.23	14.82	11.29	8.85	5.88	5.87	6.01	6.10	6.01	6.06	5.94	5.72	7.31

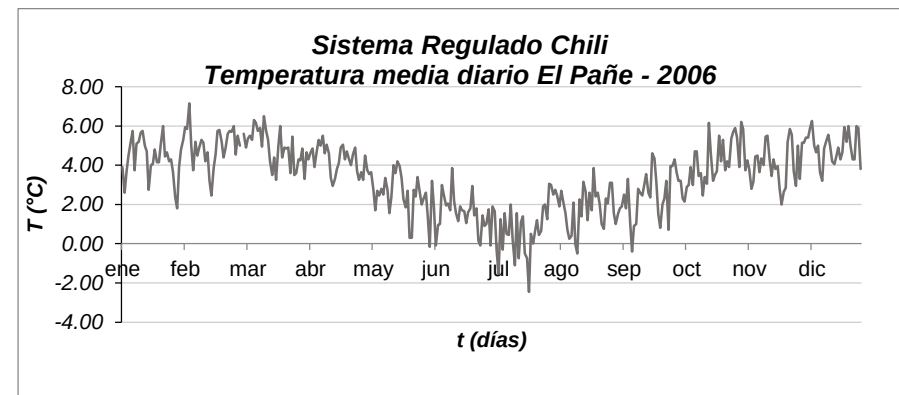
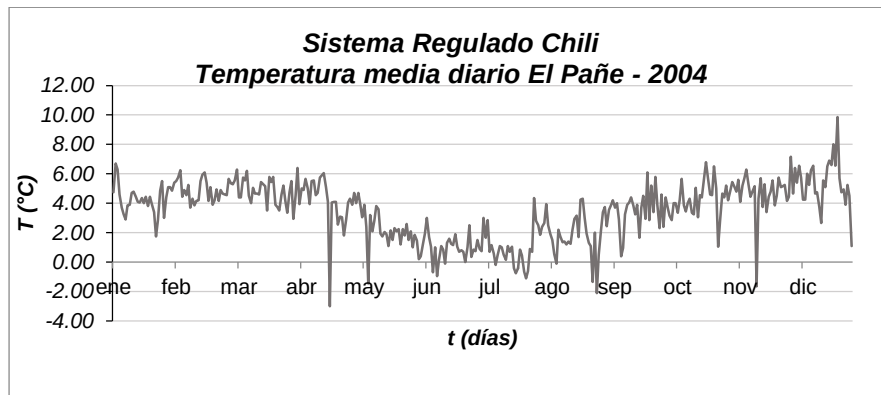
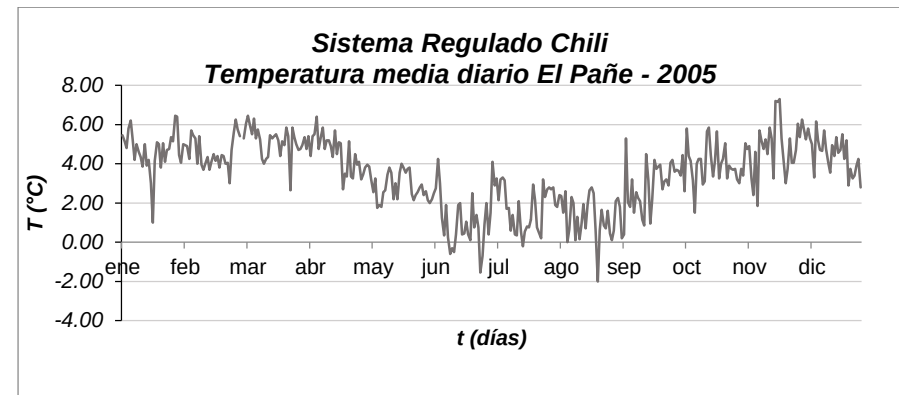
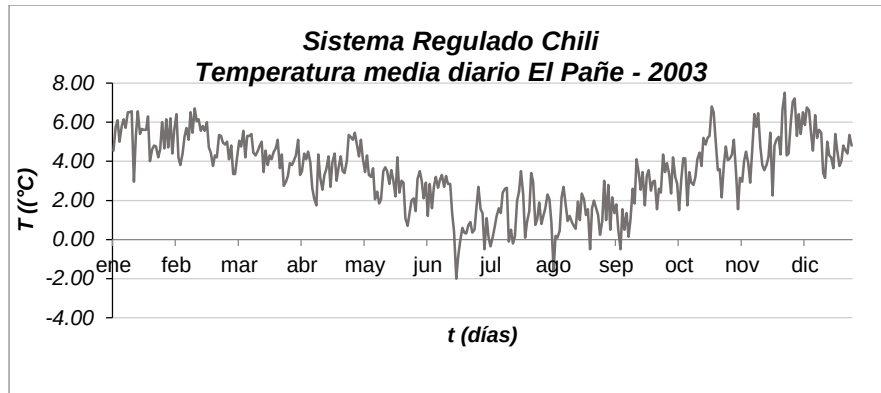
S/I Sin información

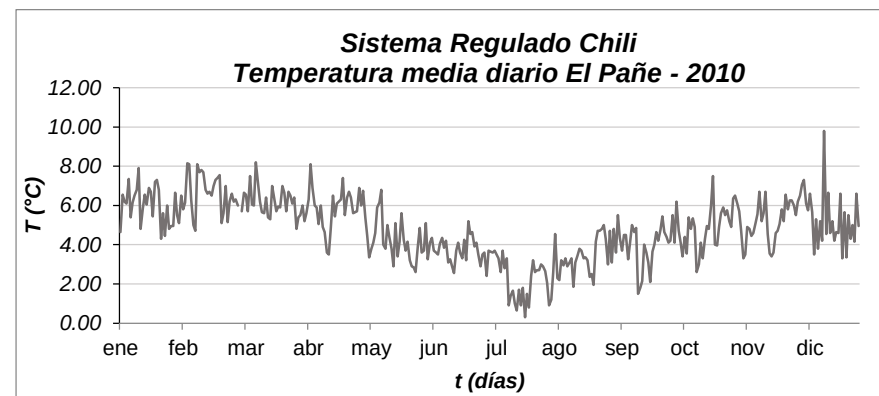
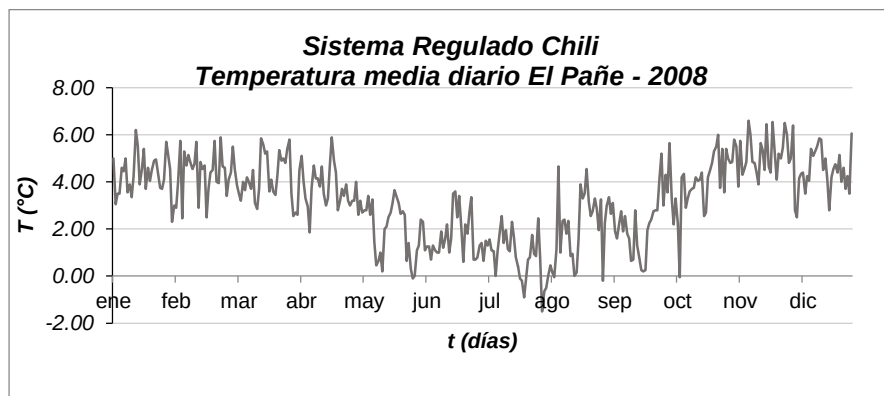
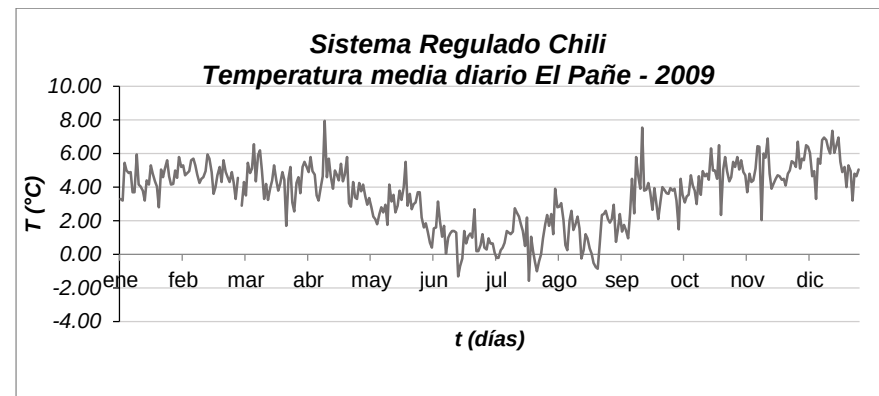
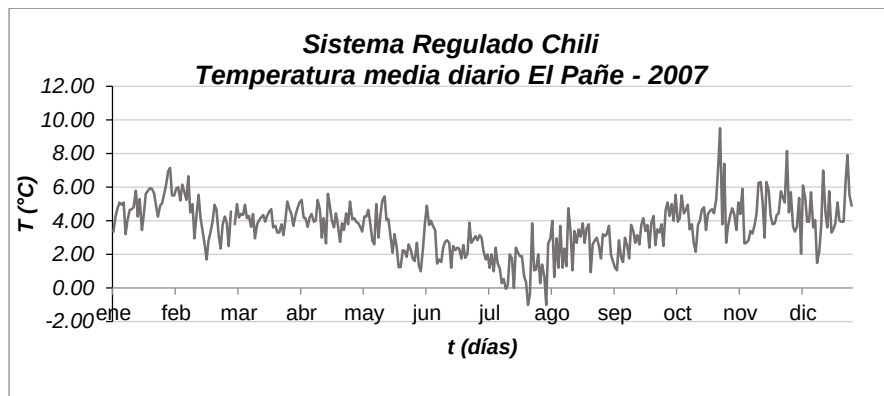
**ANEXO 2. INFORMACIÓN HISTÓRICA
CLIMATOLÓGICA, PLUVIOMÉTRICA E
HIDROMÉTRICA A ESCALA DIARIA**

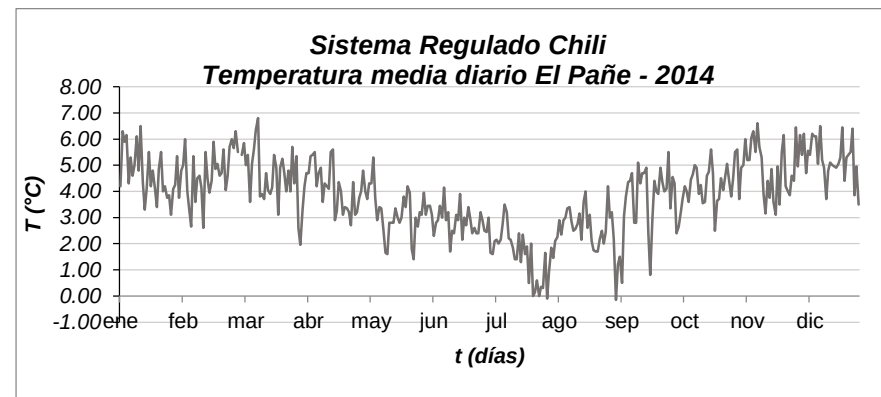
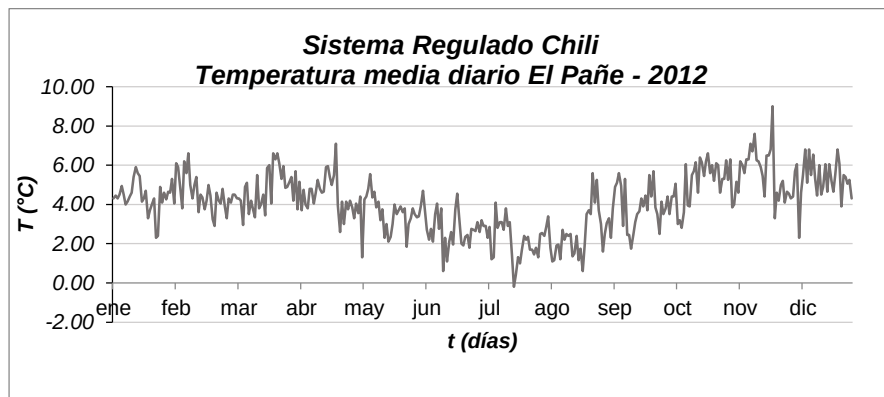
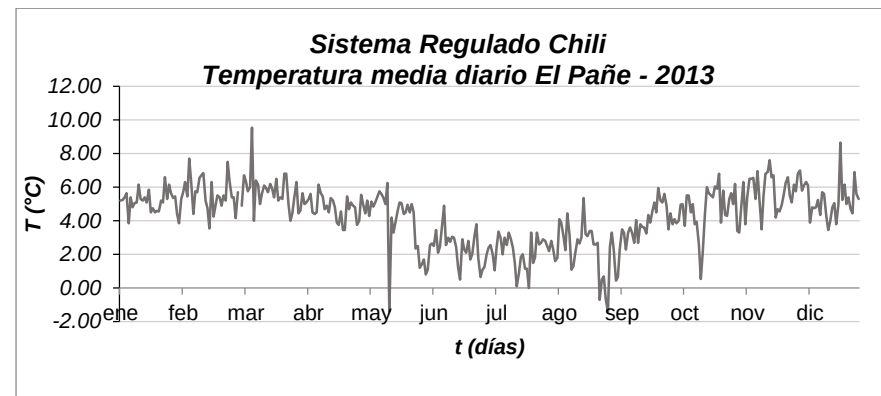
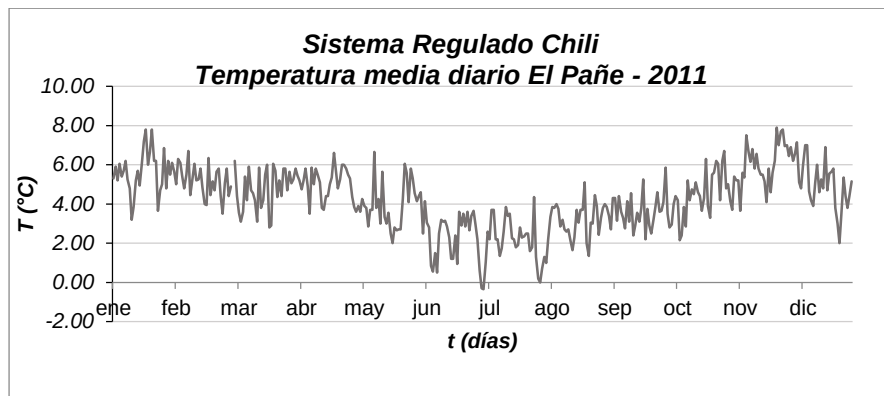
APÉNDICE 1. TEMPERATURA MEDIA DIARIA HISTÓRICA (°C) Estación Pañe.
Periodo 1995 – 2018

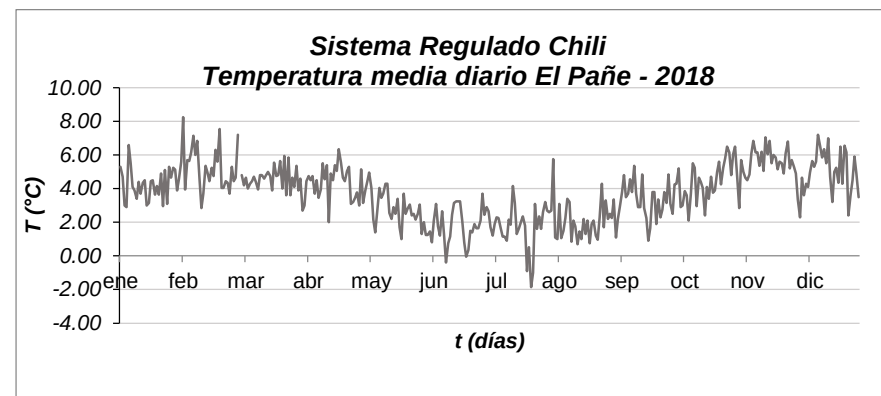
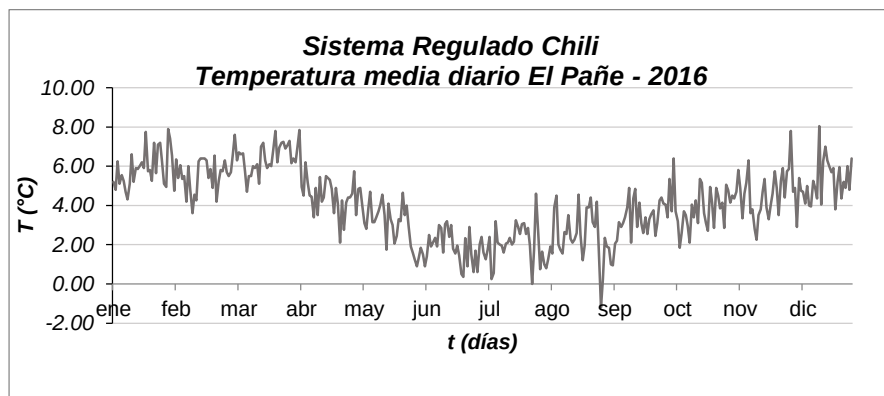
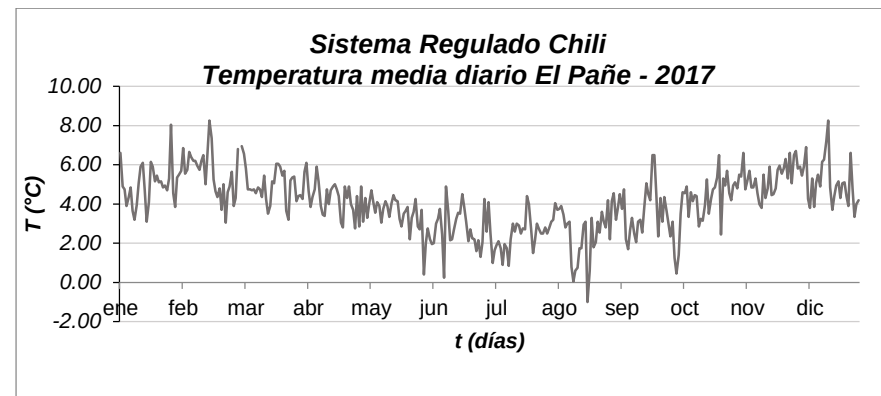
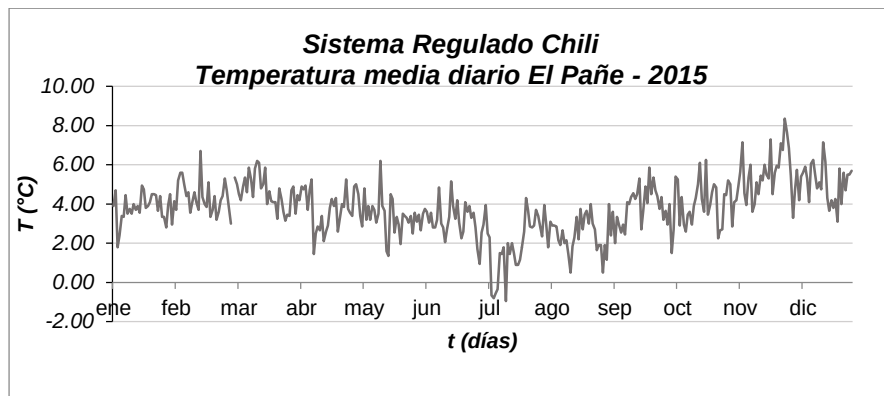




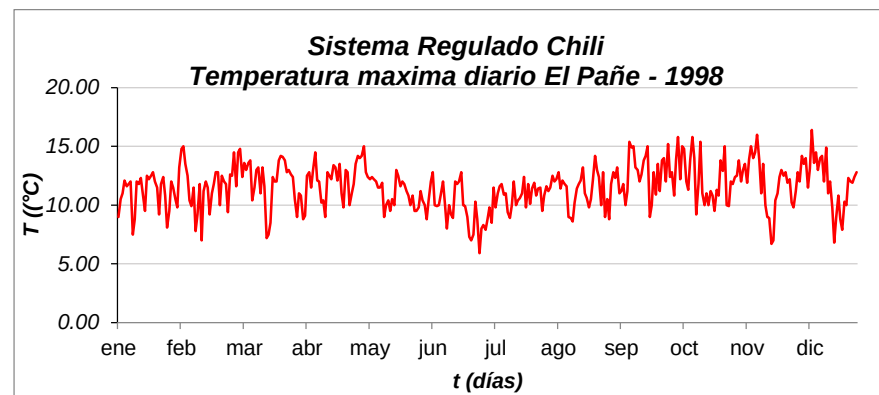
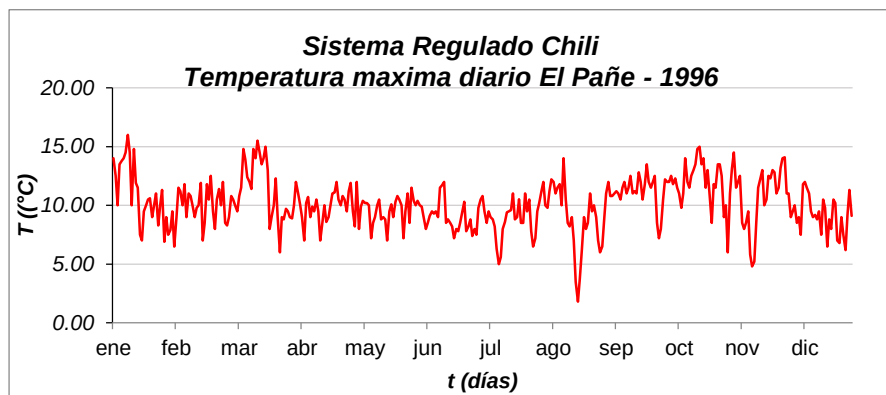
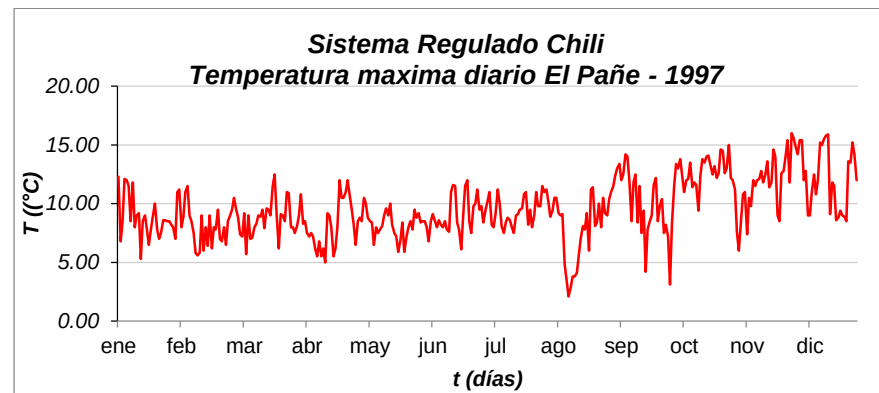
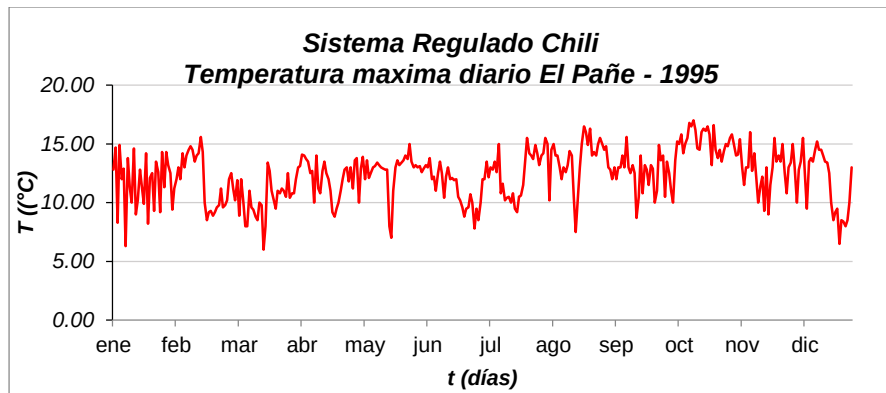


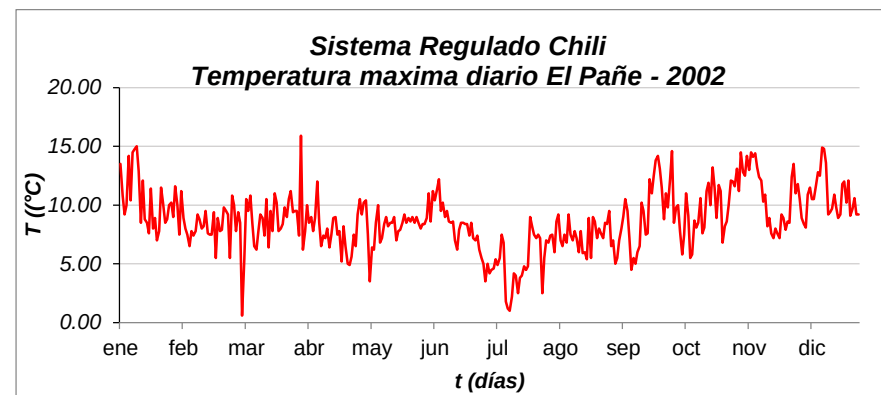
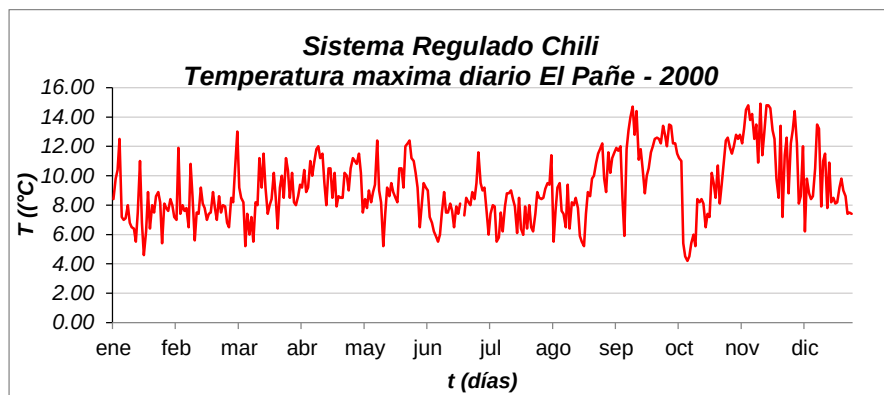
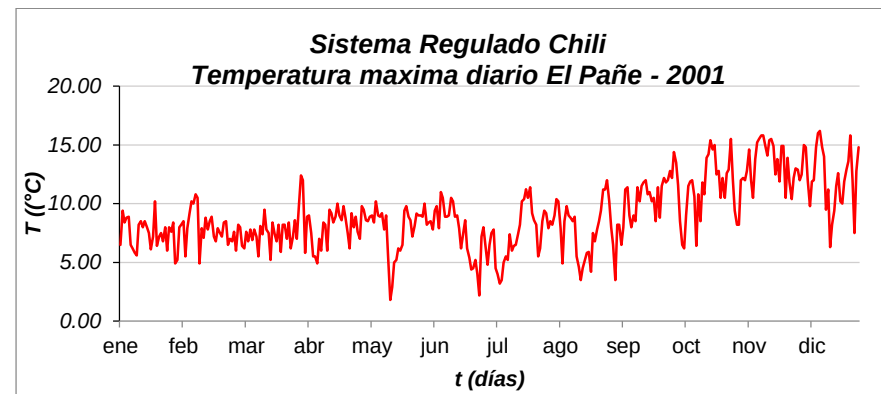
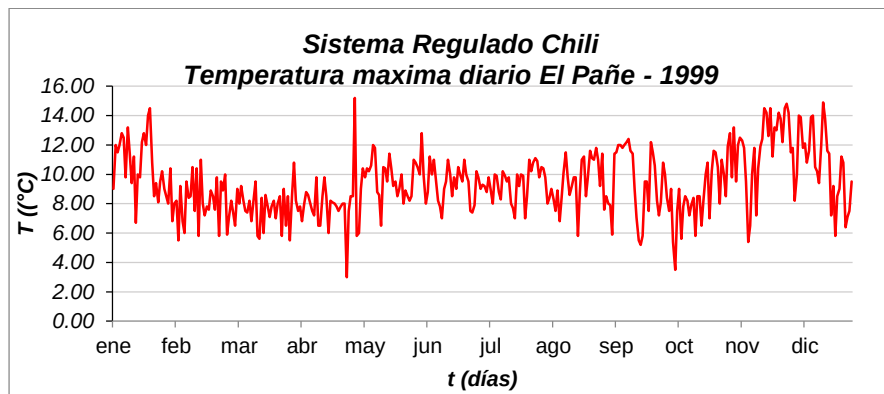


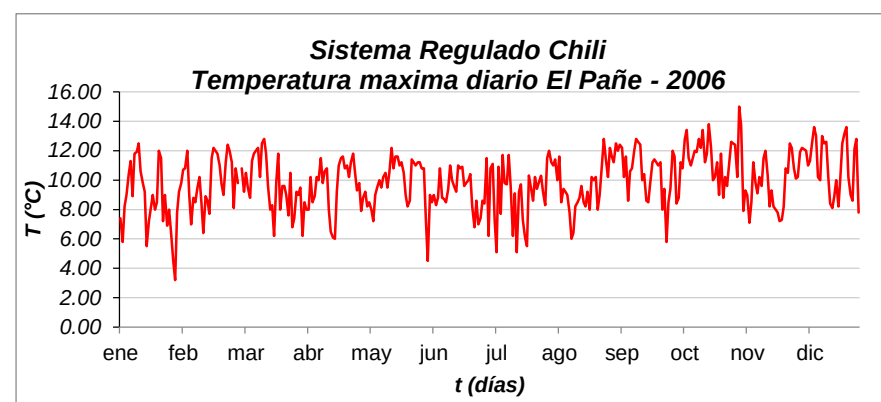
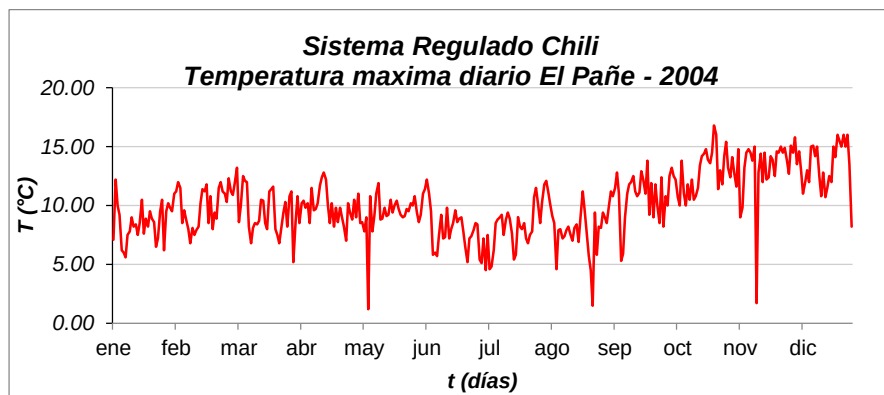
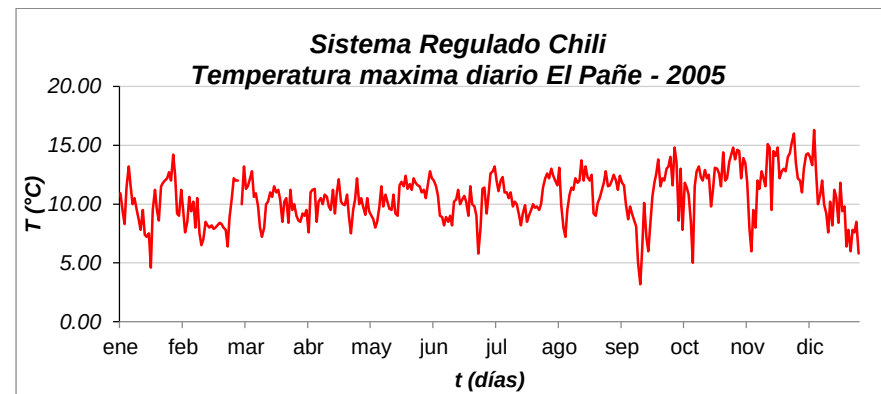
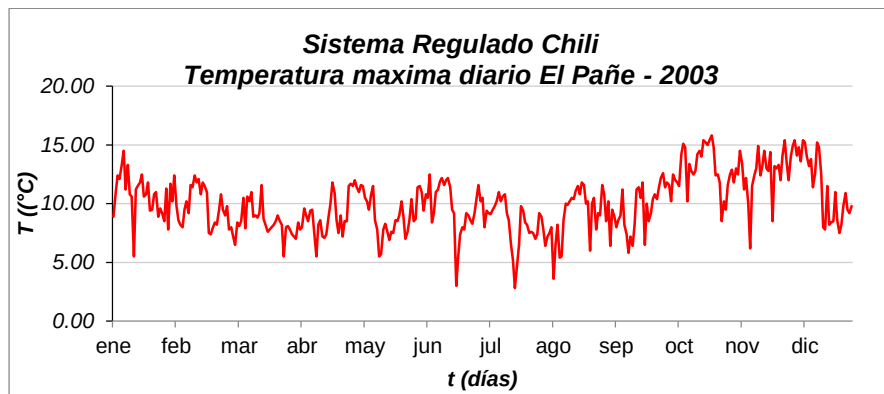


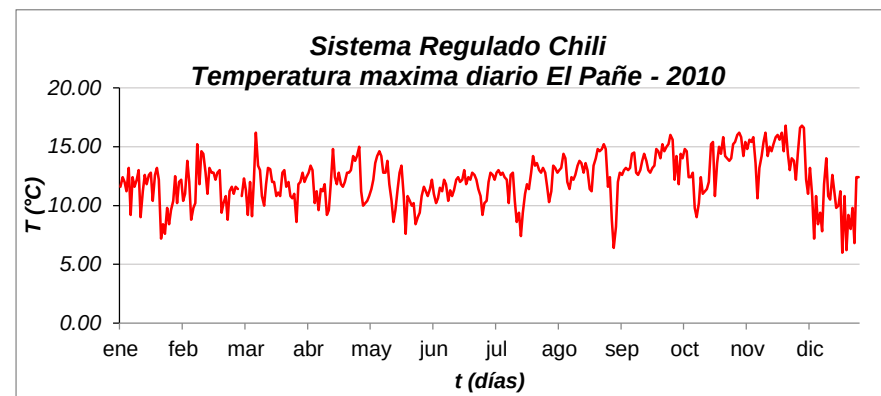
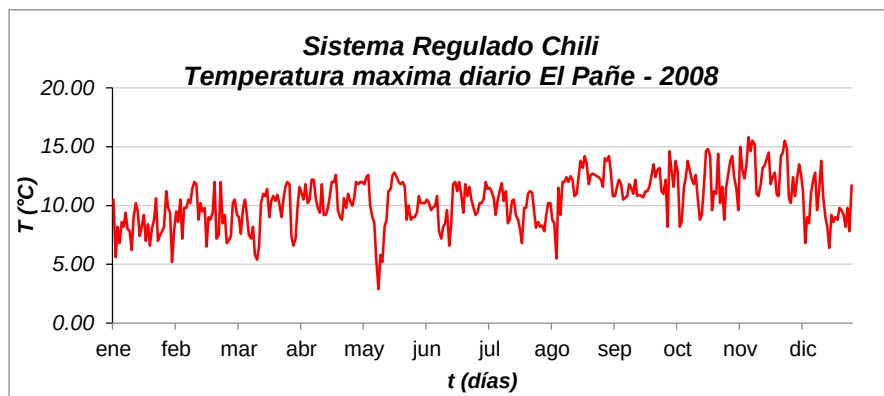
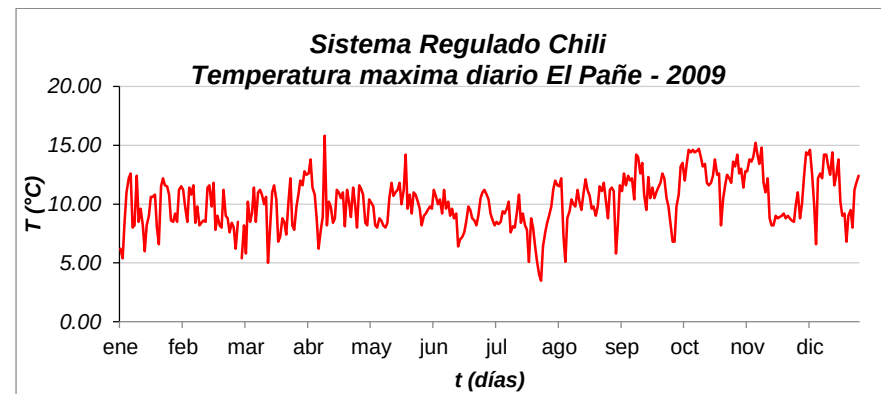
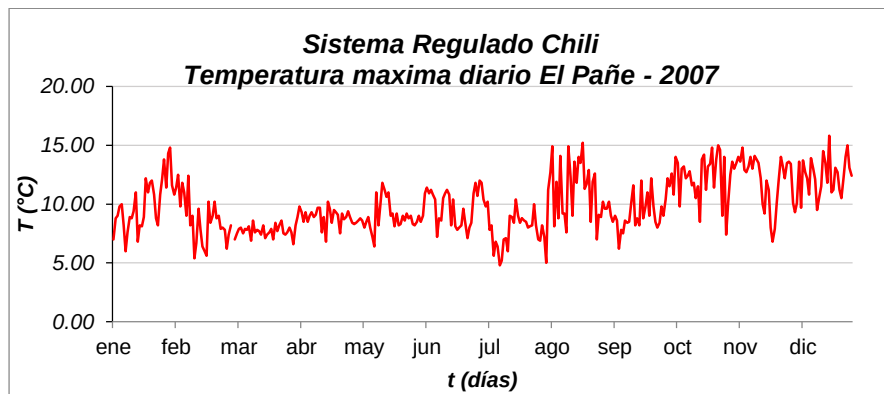


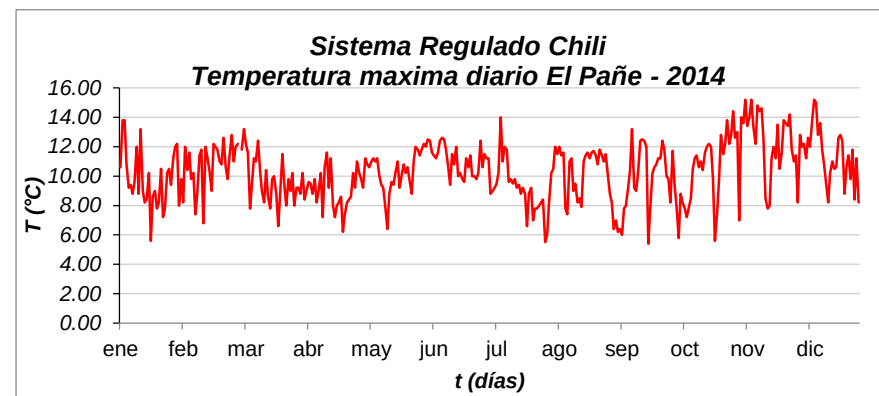
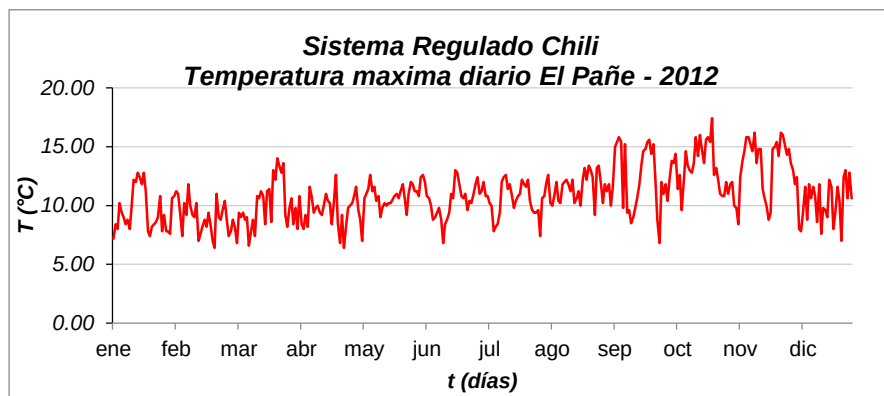
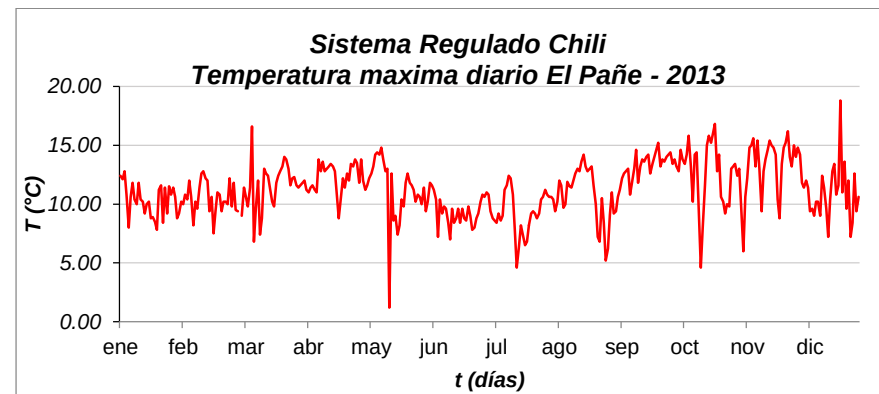
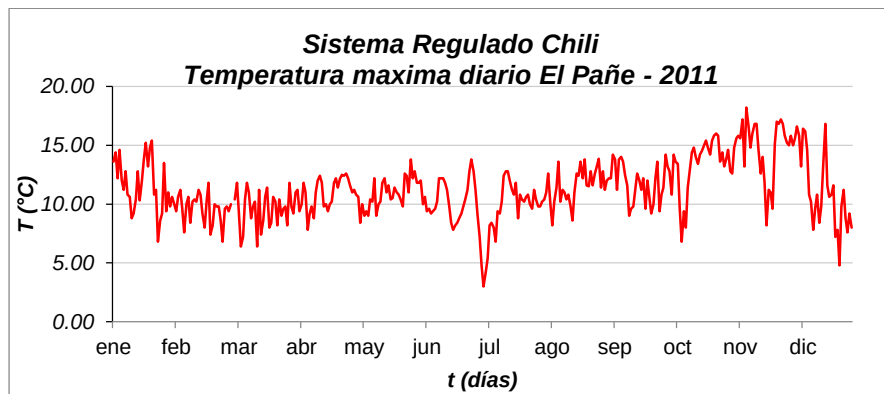
APÉNDICE 2. TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA HISTÓRICA (°C) Estación Pañe. Periodo 1995 – 2018

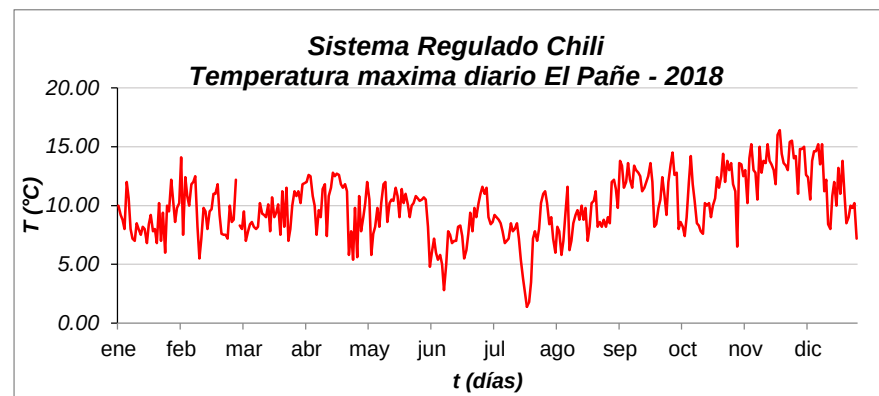
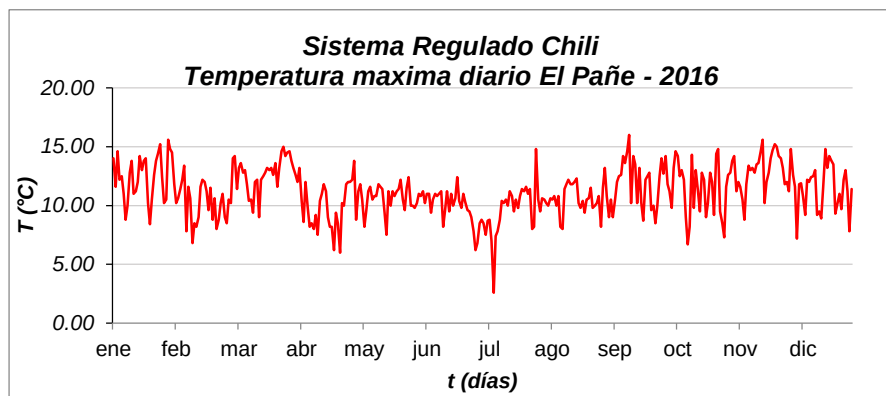
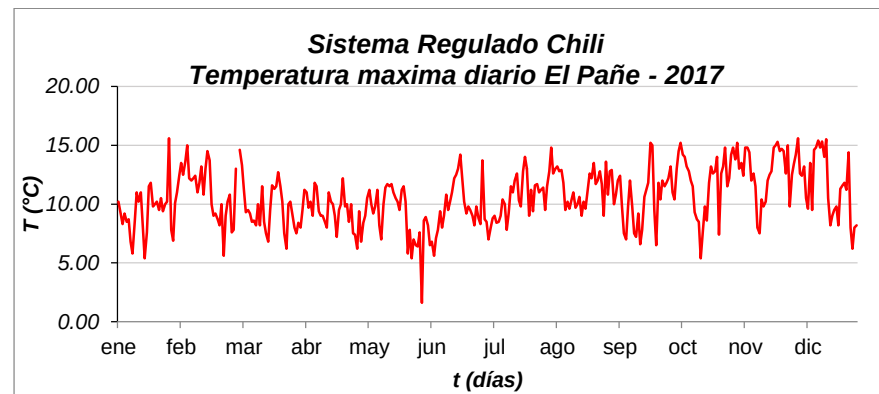
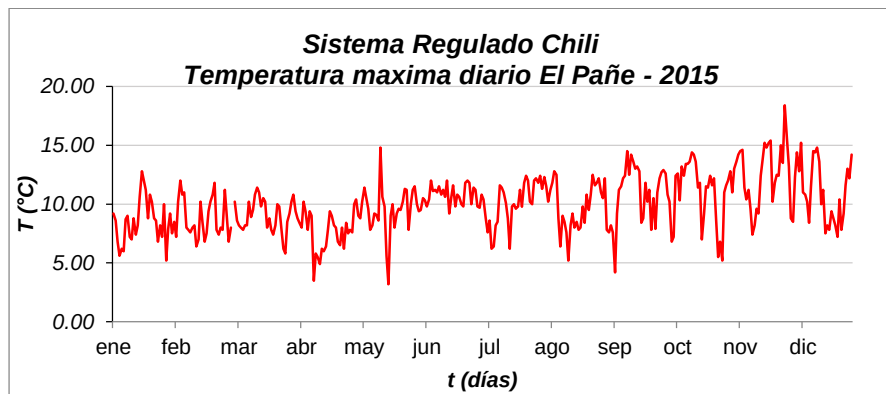




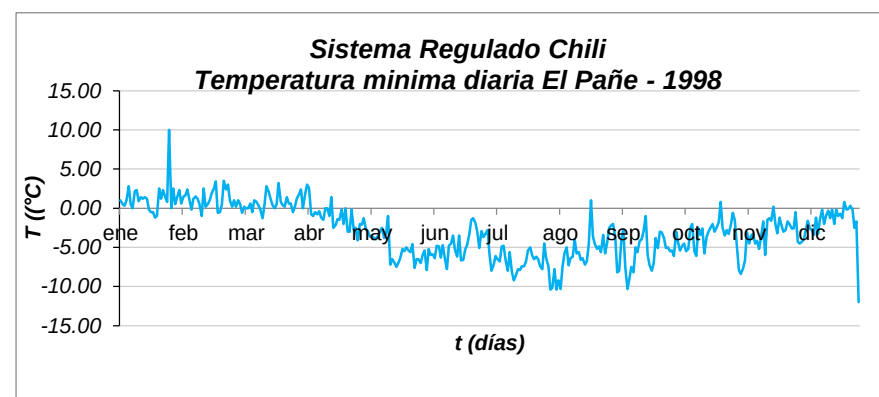
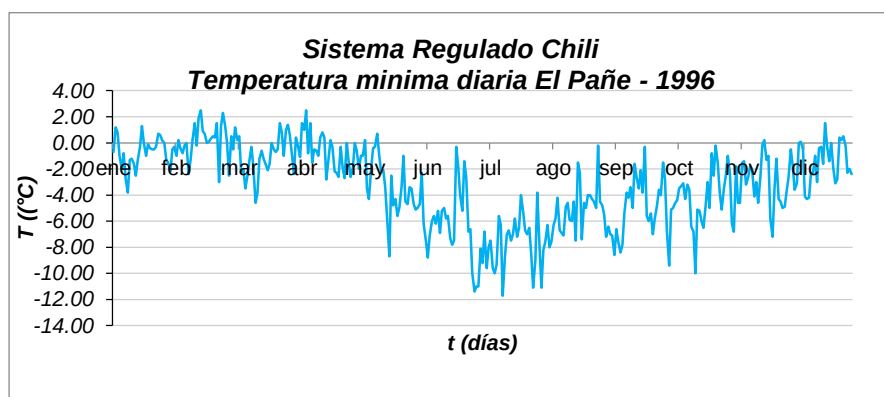
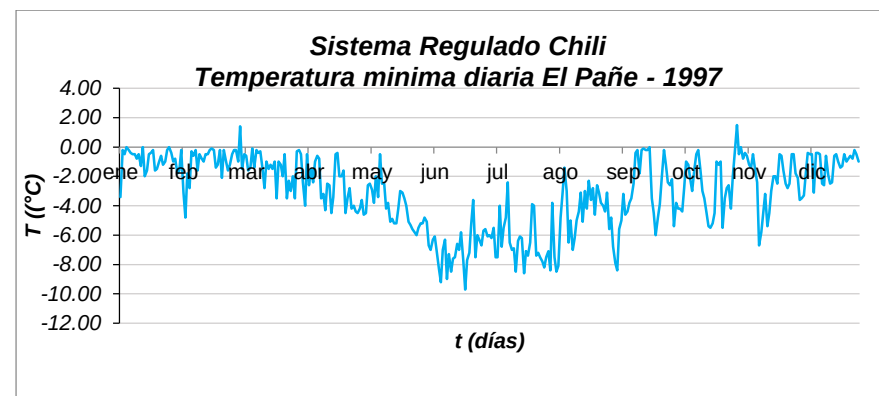
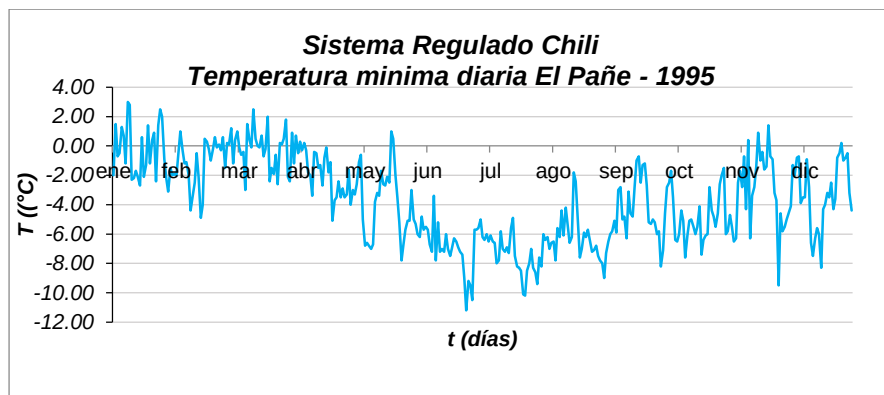


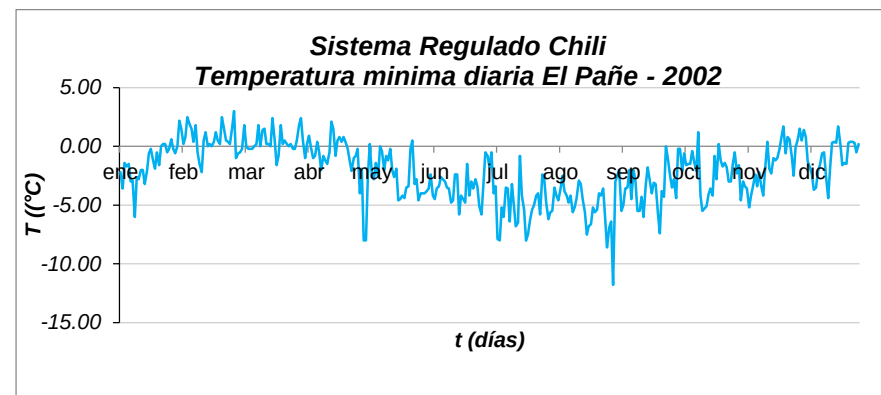
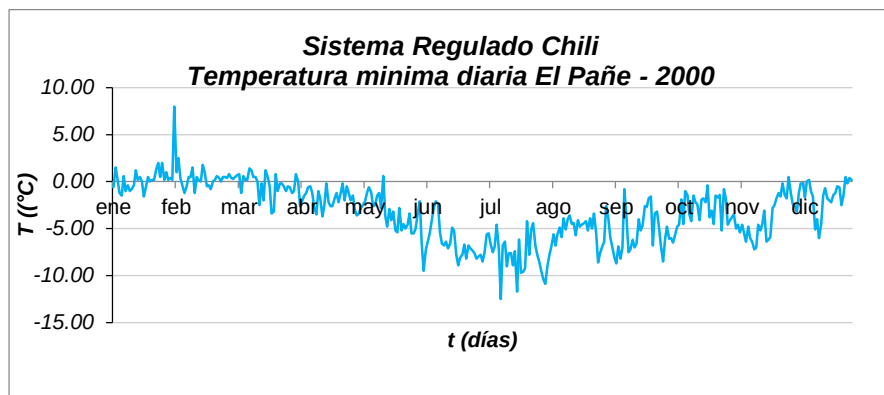
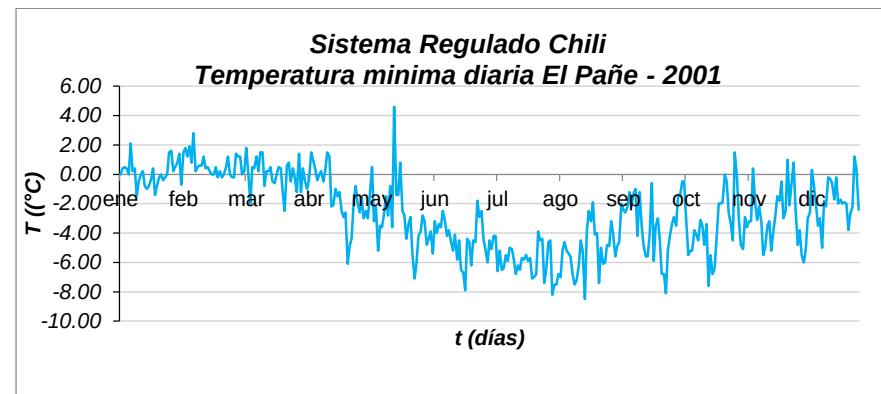
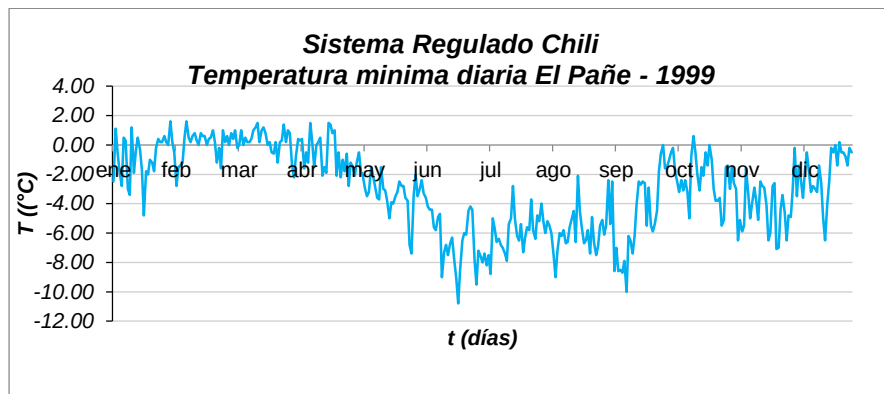


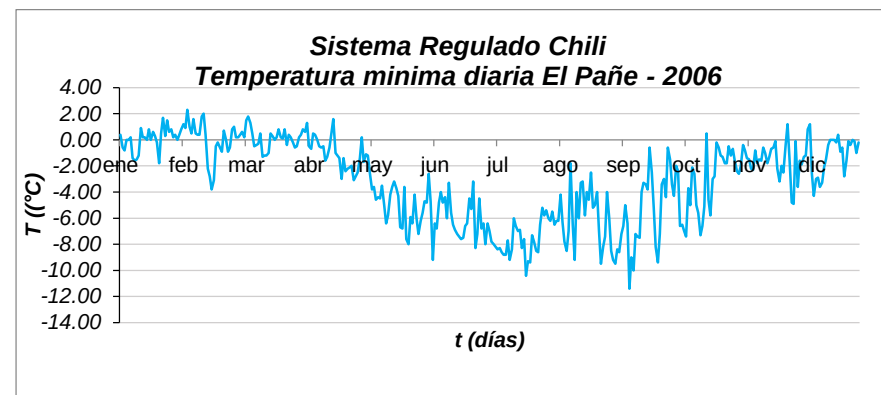
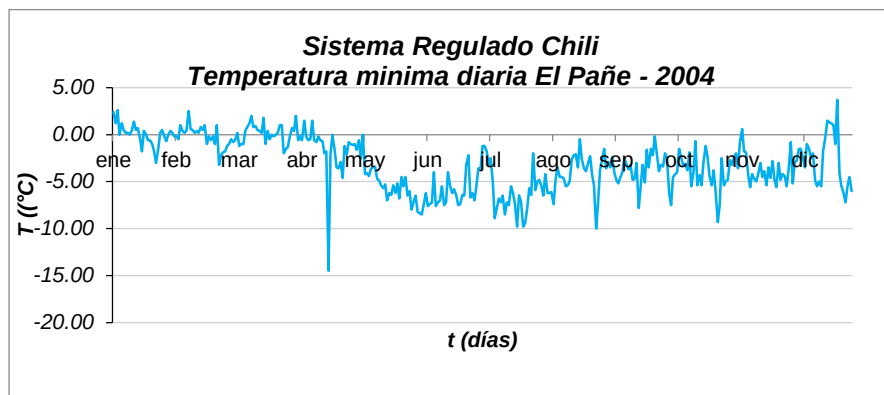
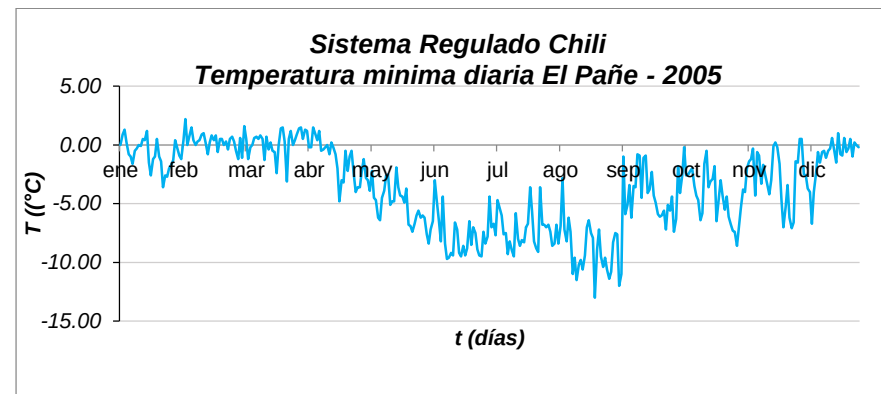
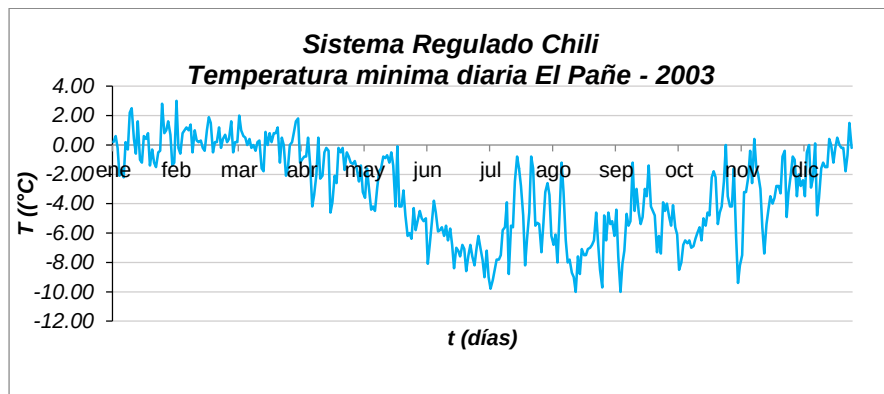


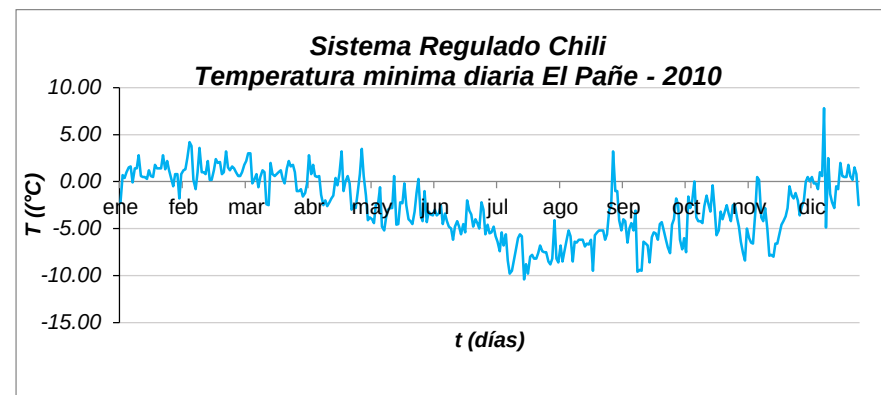
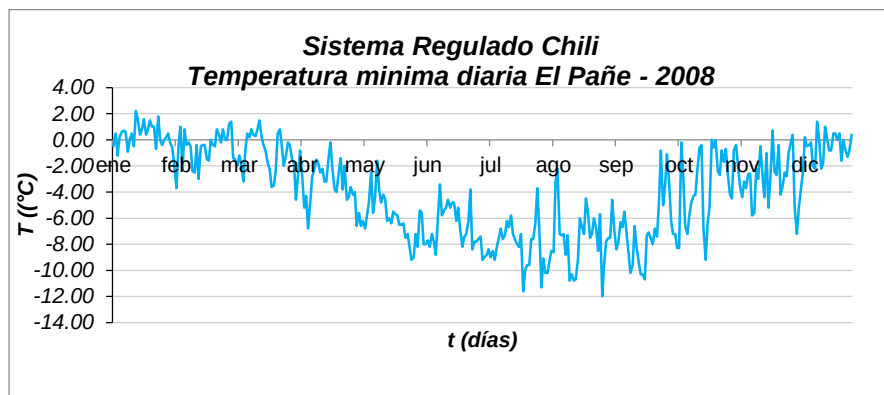
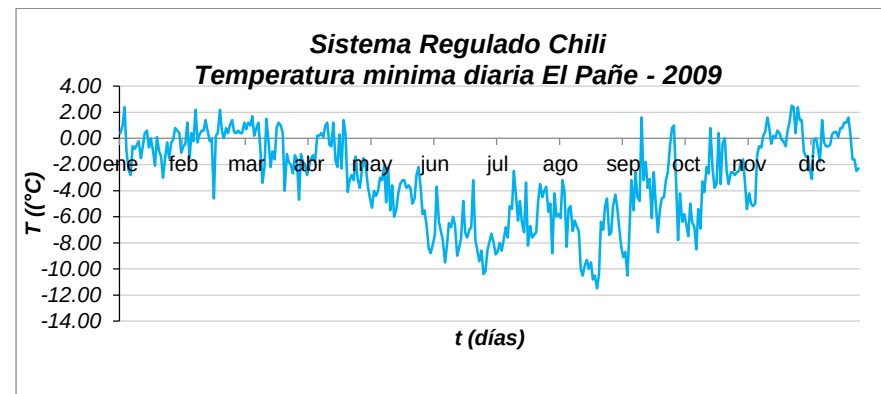
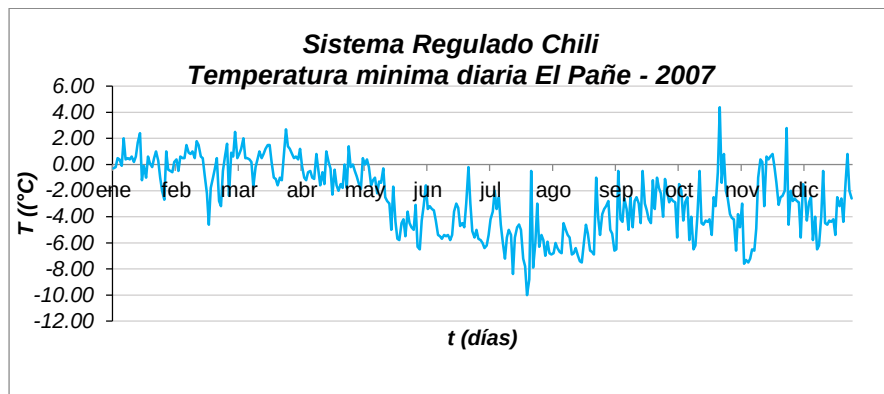


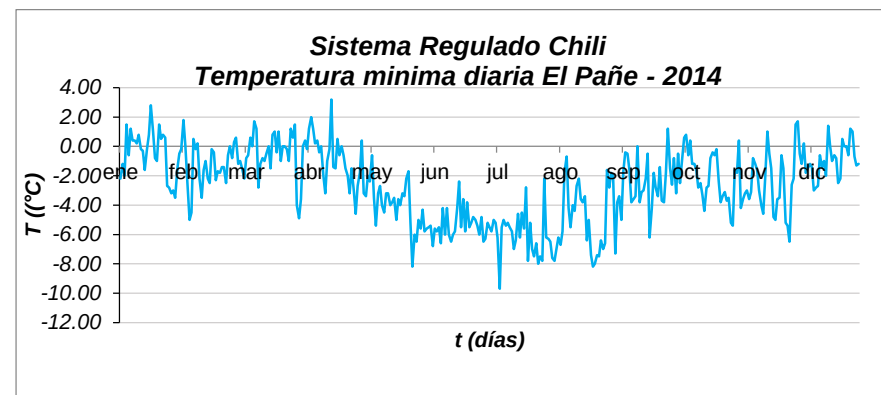
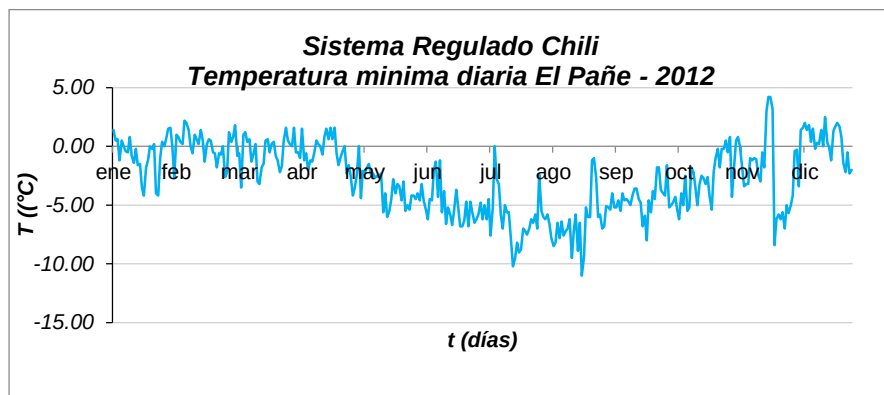
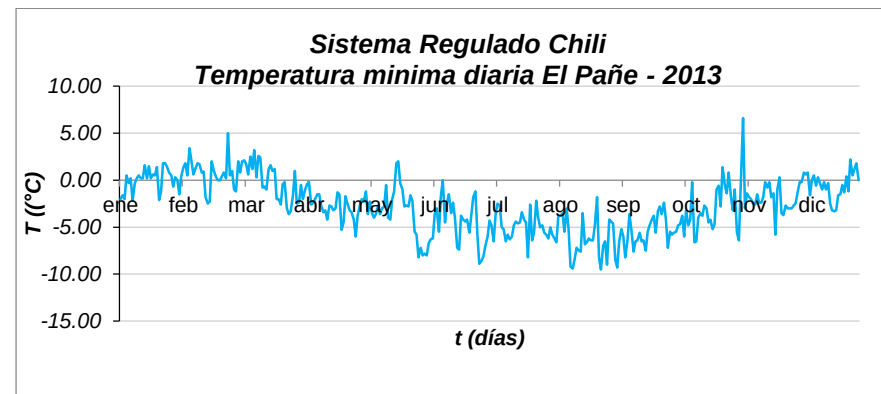
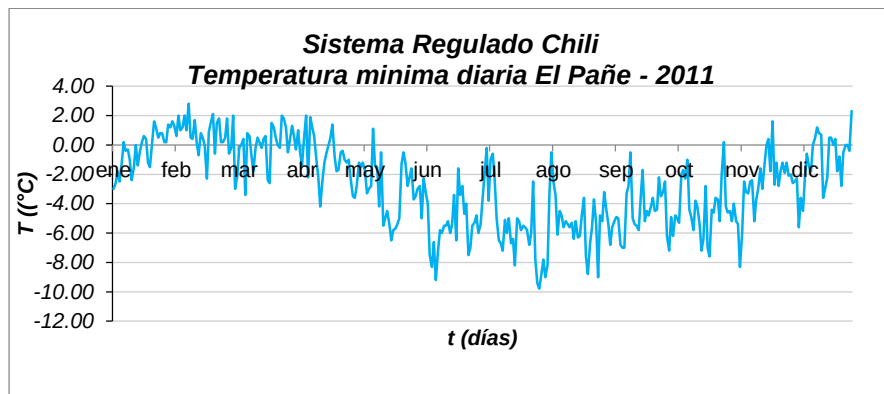
APÉNDICE 3. TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA HISTÓRICA (°C) Estación Pañe. Periodo 1995 – 2018

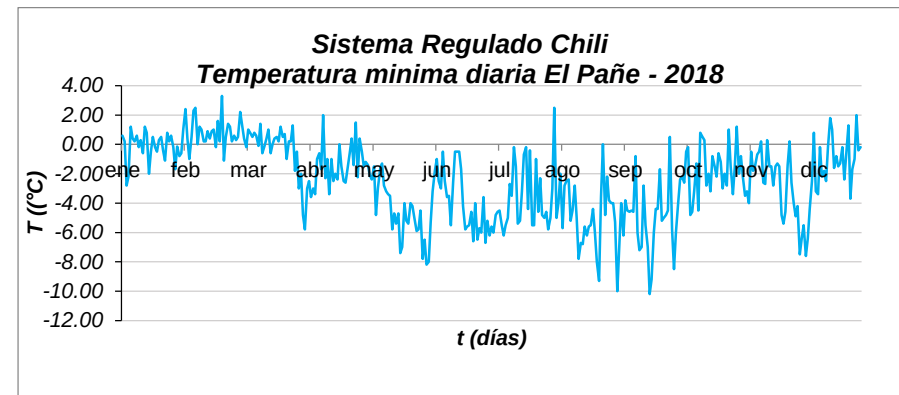
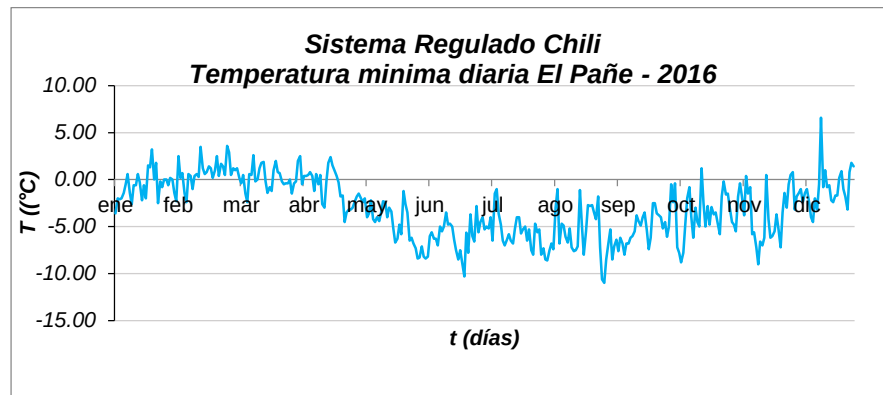
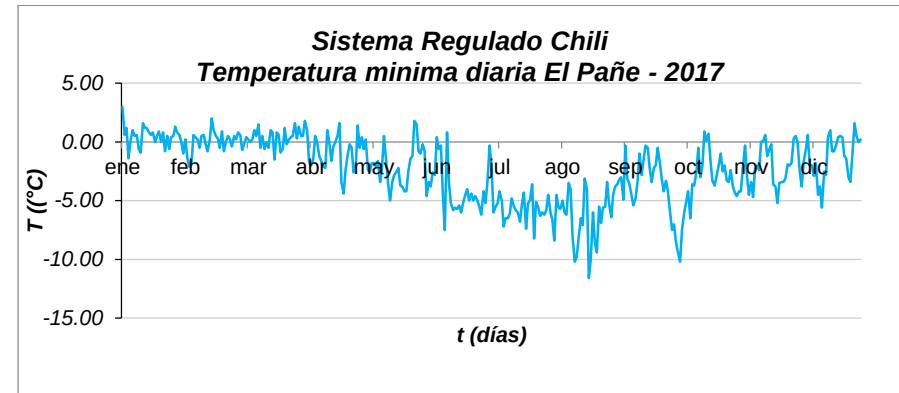
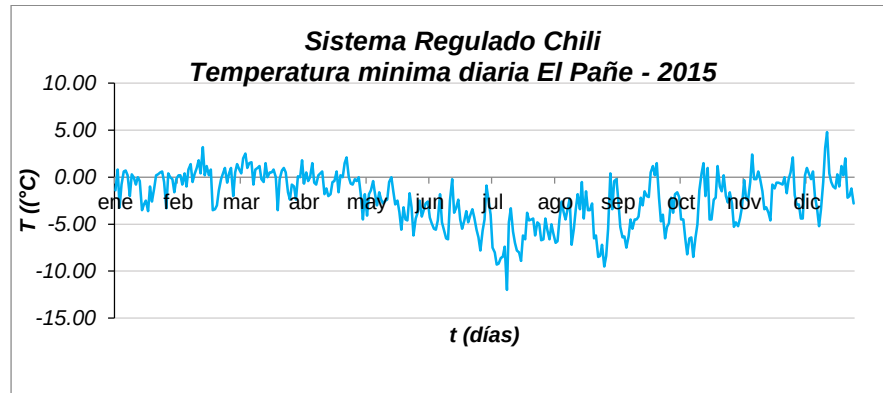




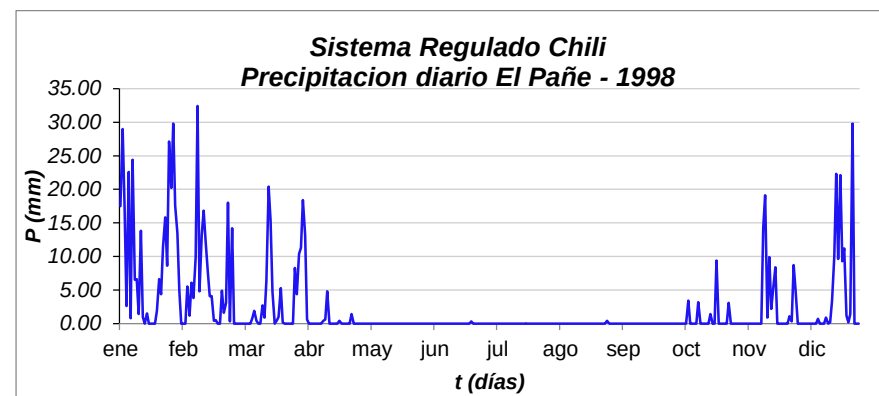
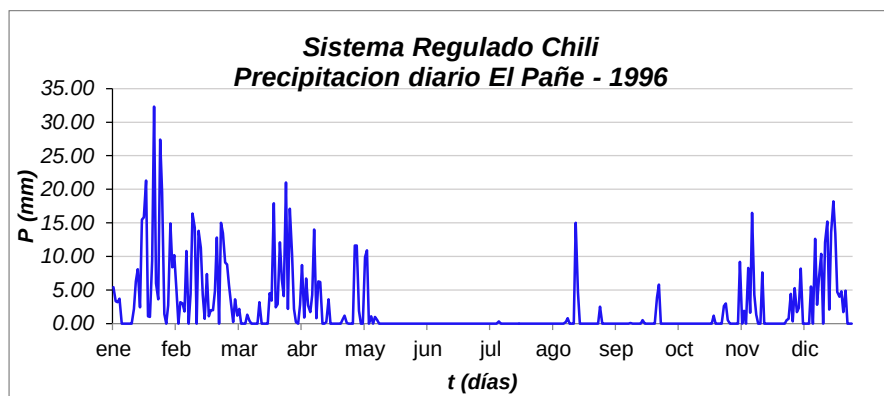
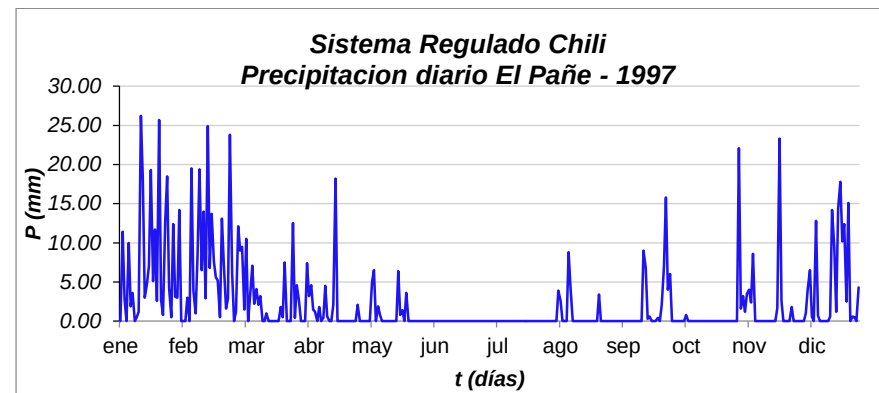
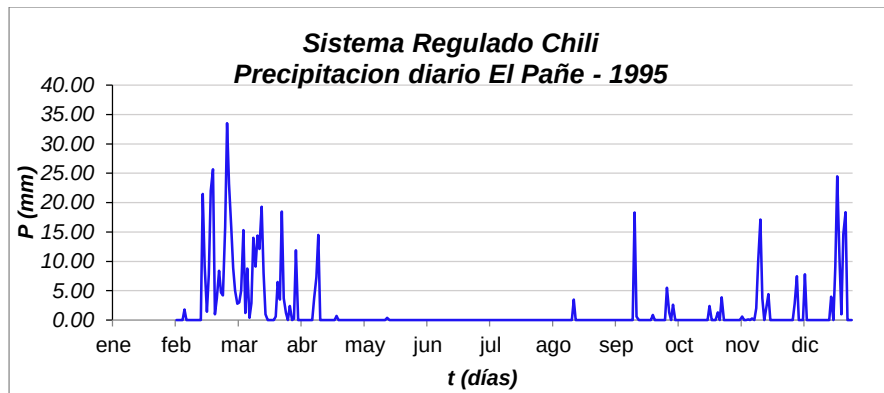


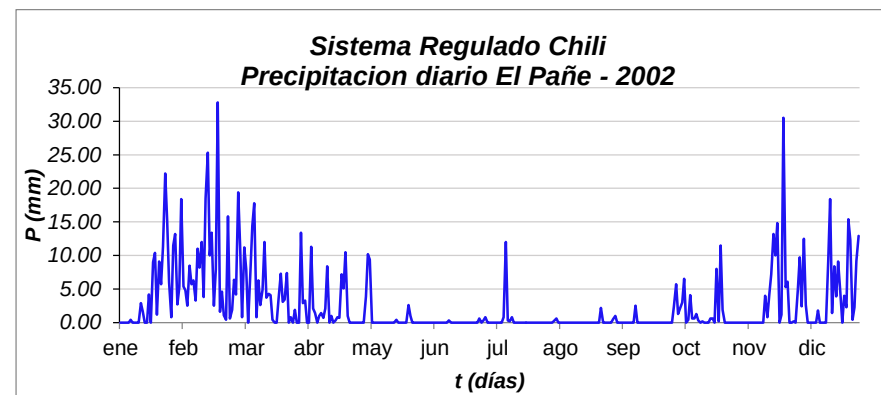
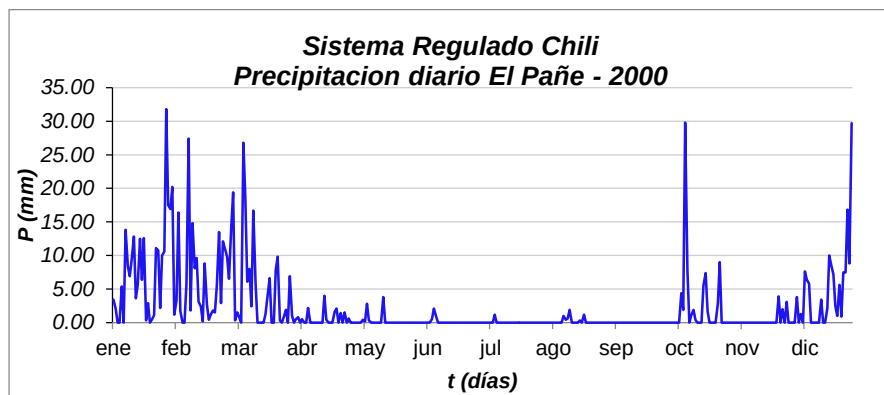
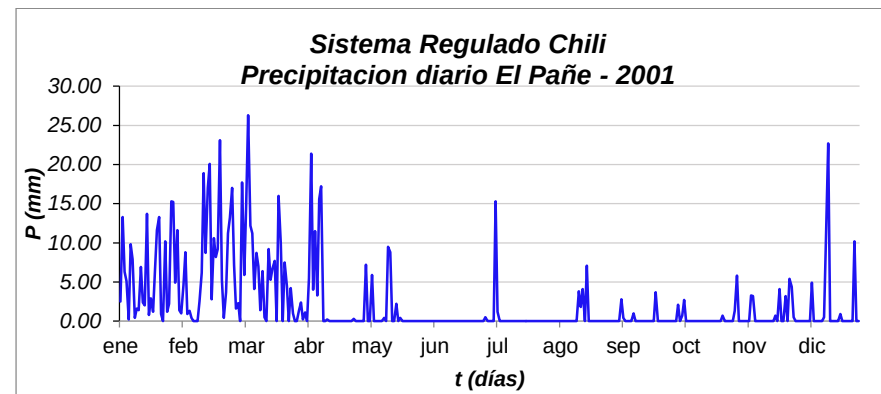
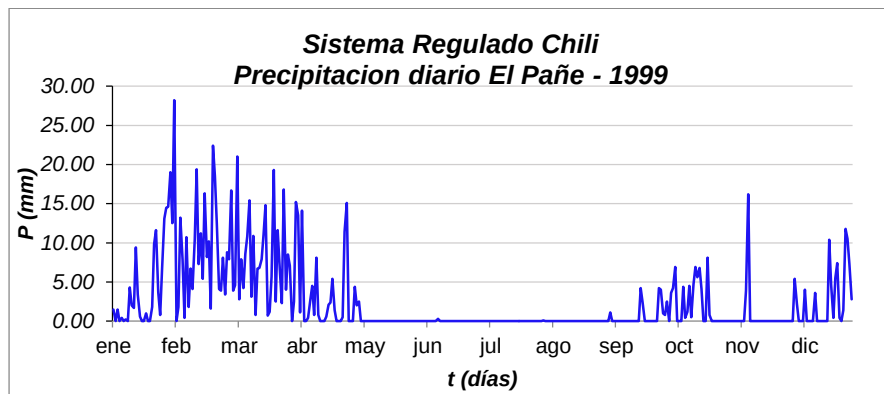


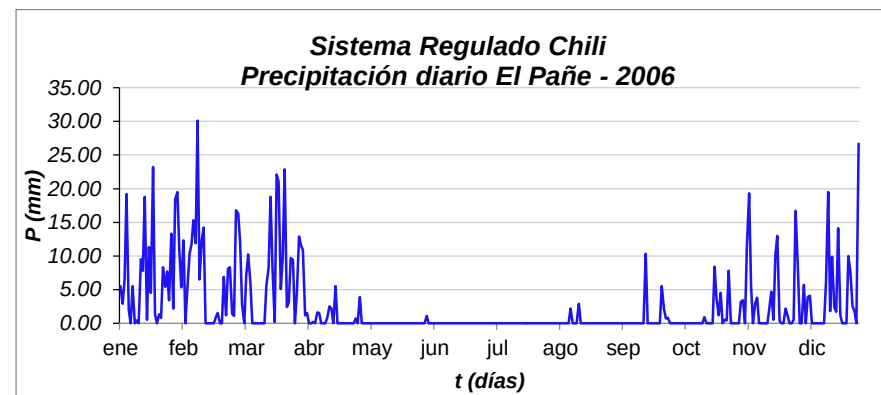
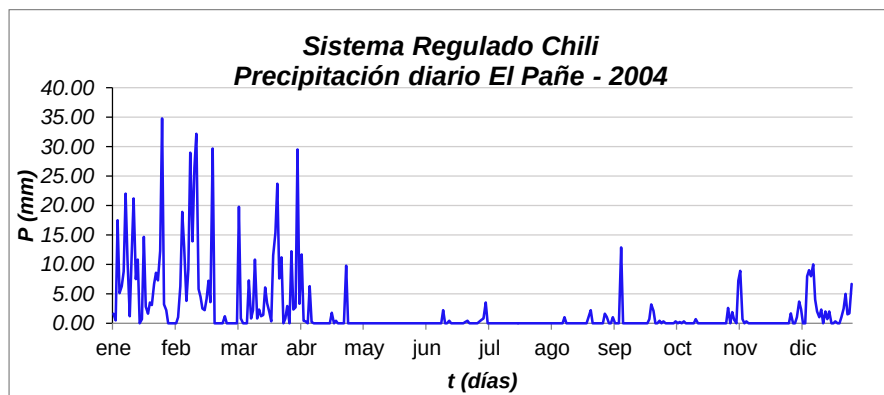
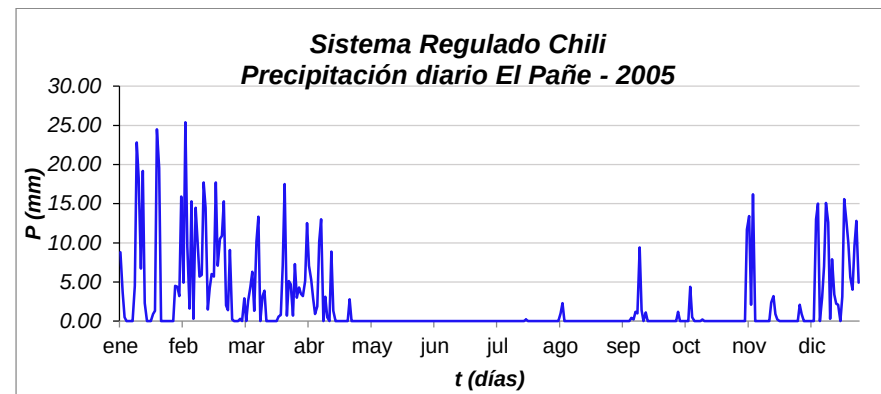
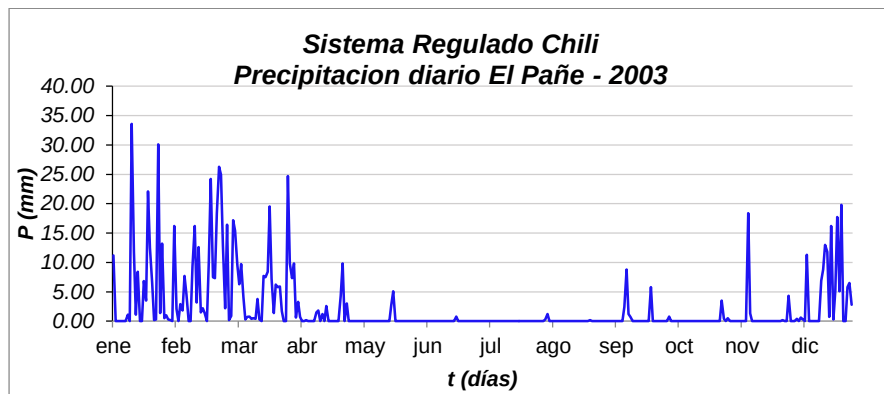


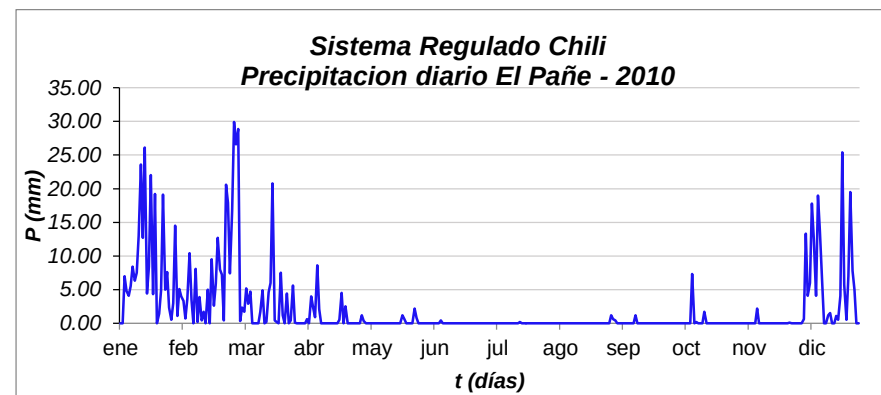
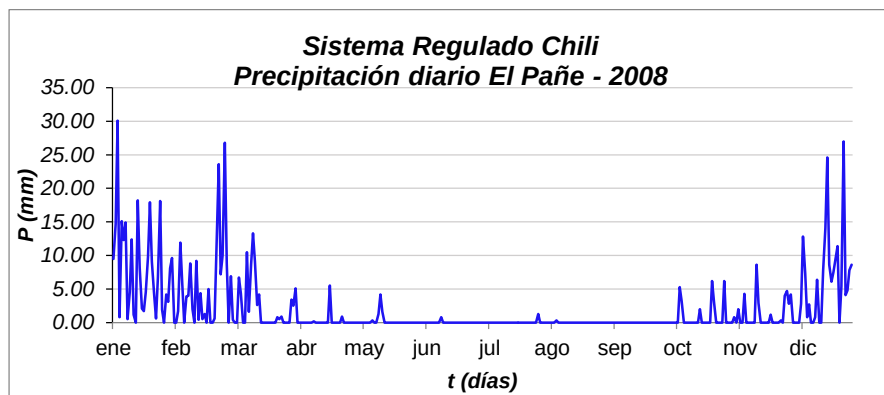
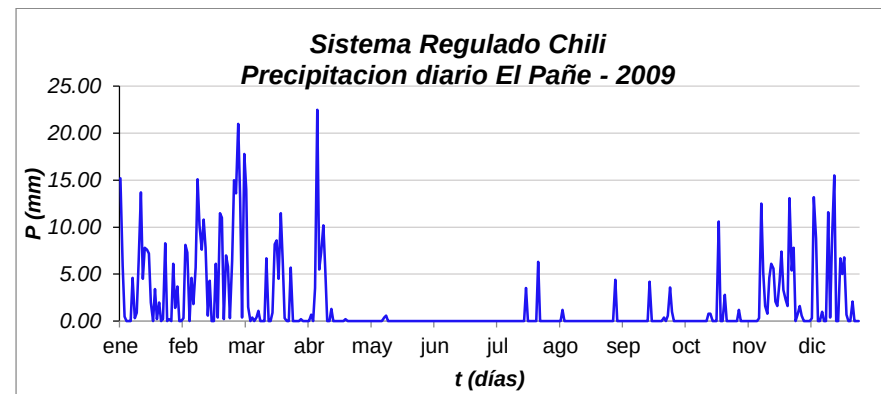
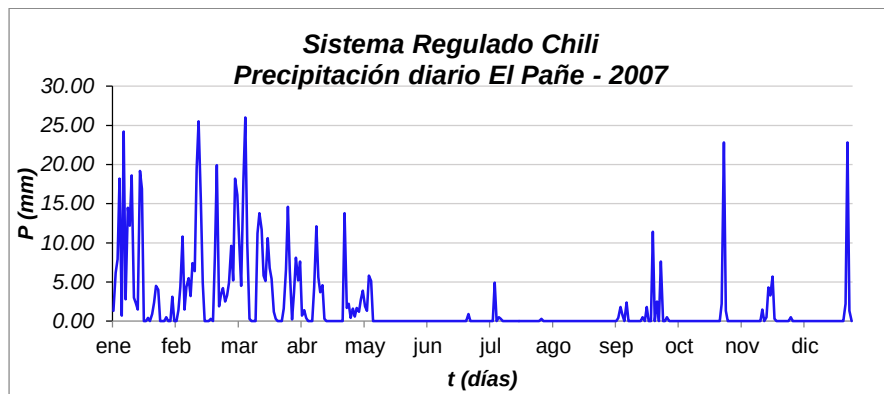


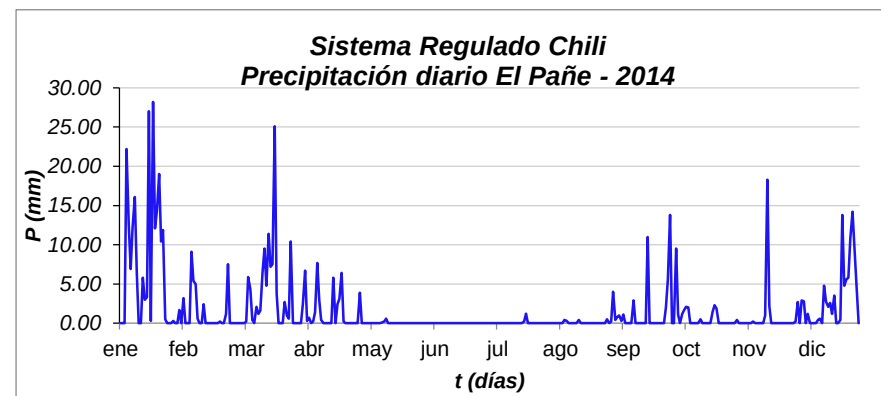
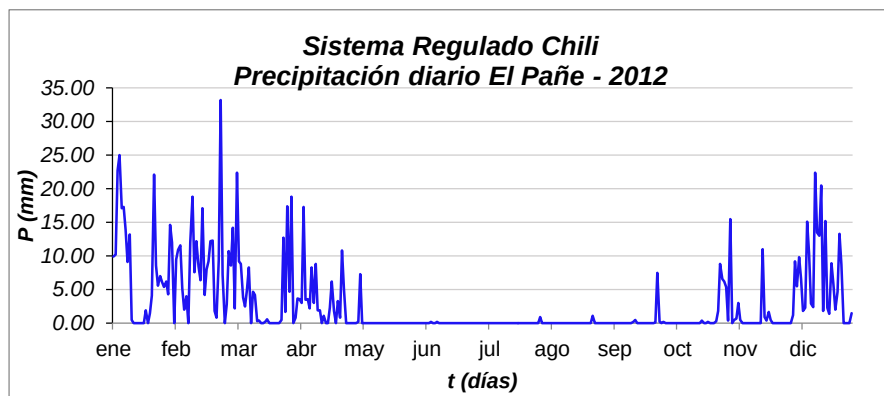
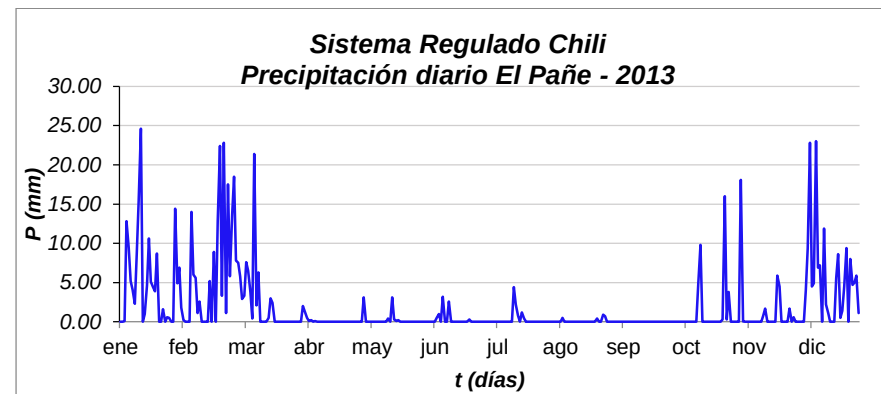
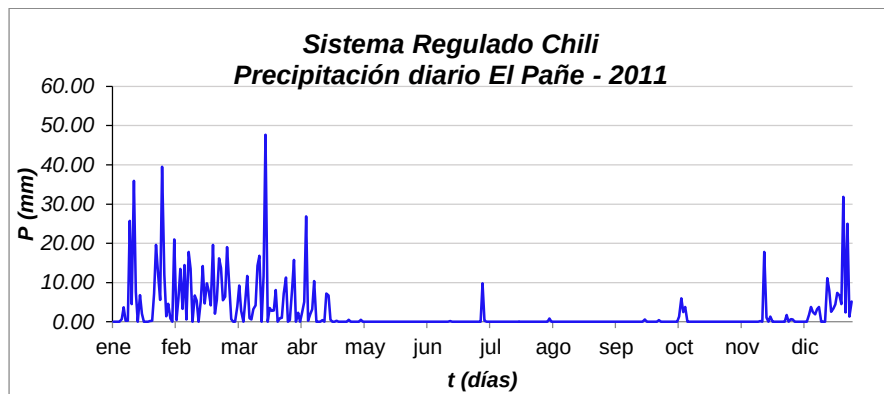
APÉNDICE 4. PRECIPITACIÓN DIARIA HISTÓRICA (mm) Estación Pañe.
Periodo 1995 – 2018

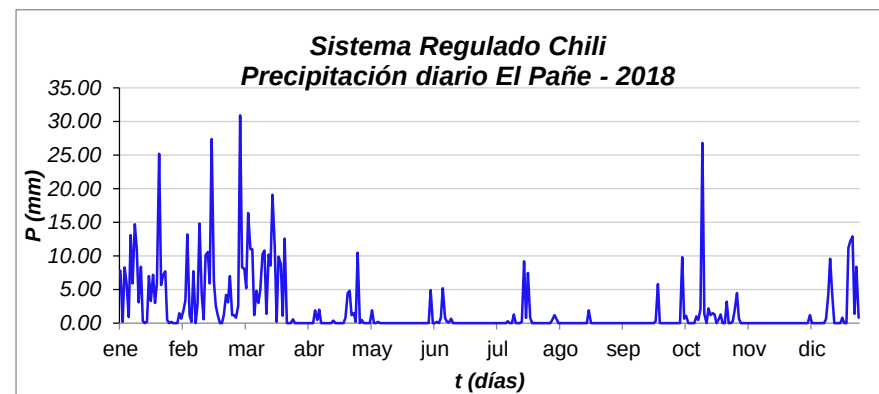
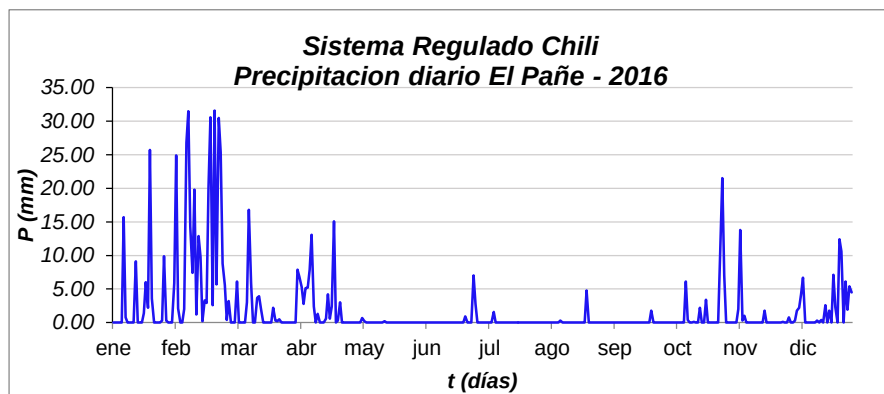
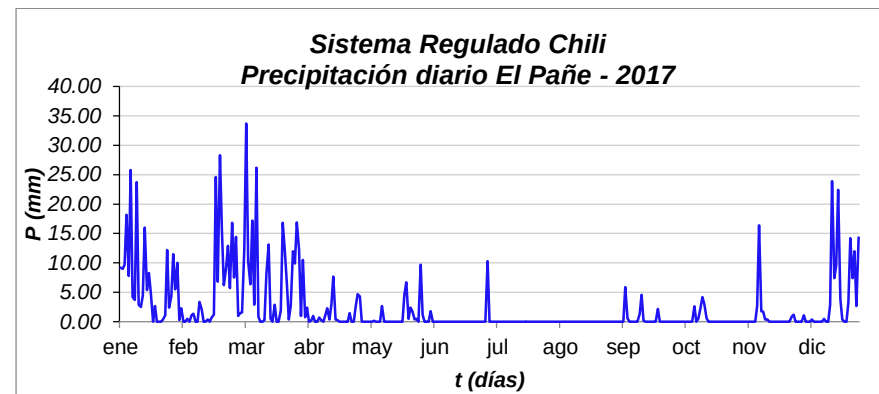
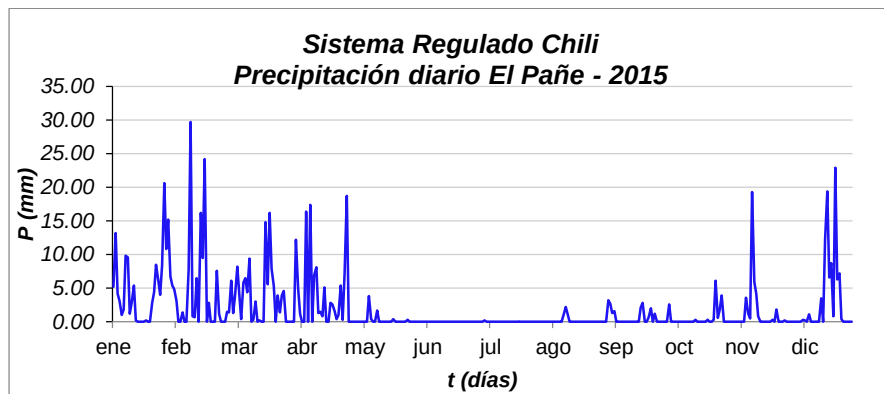




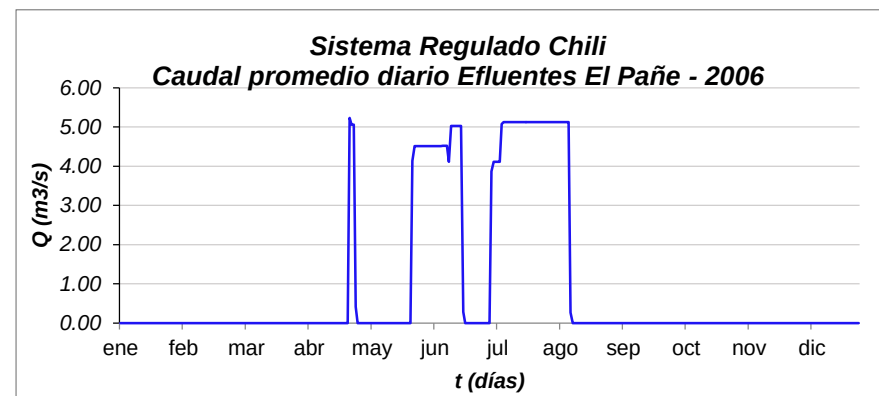
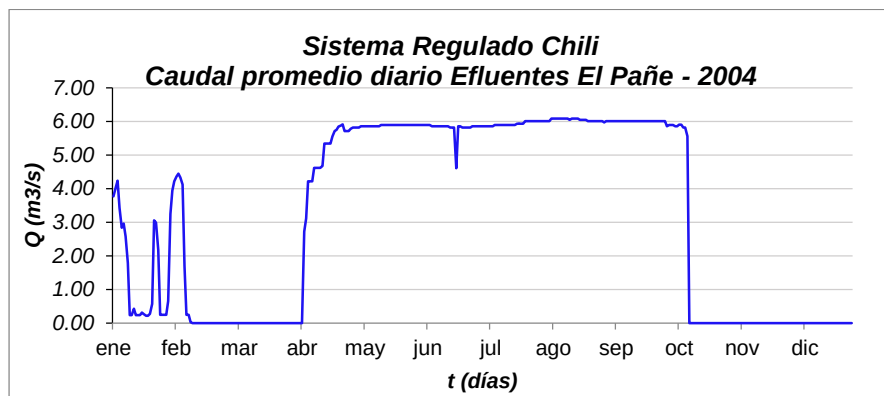
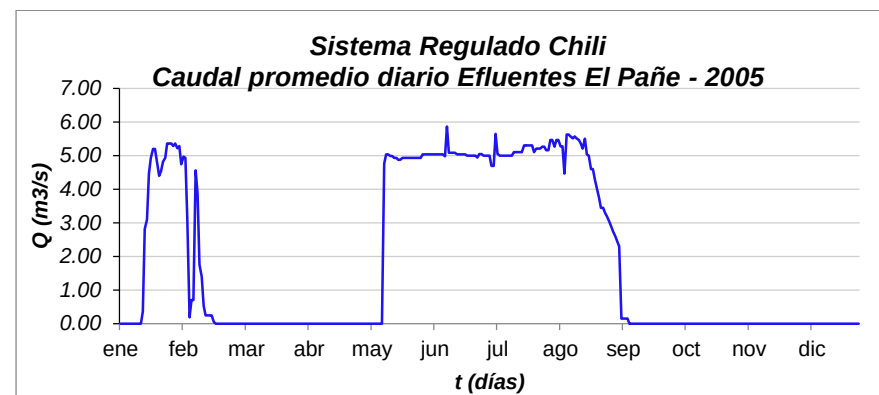
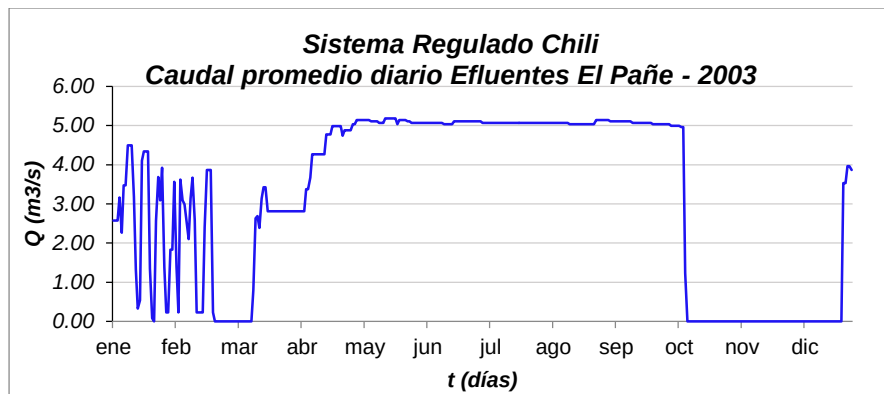


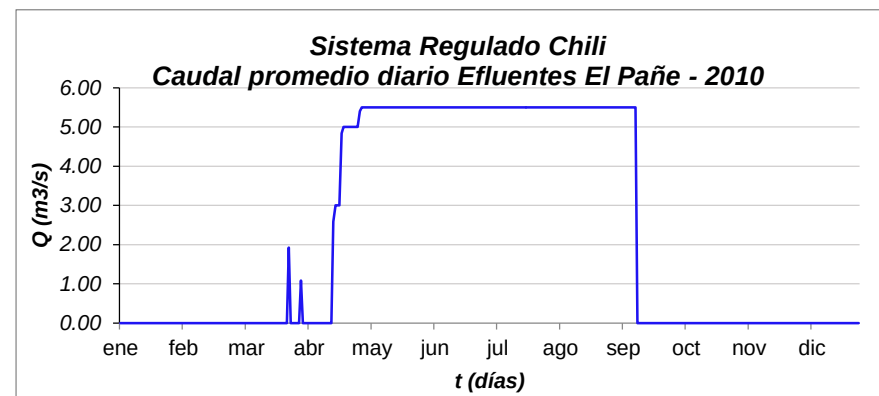
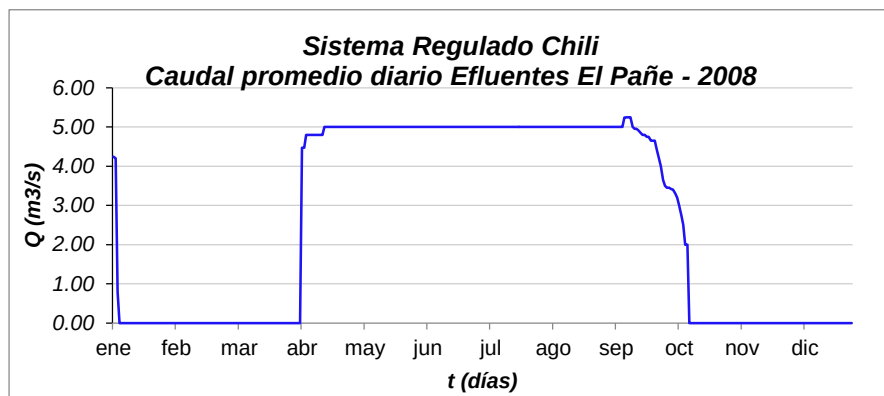
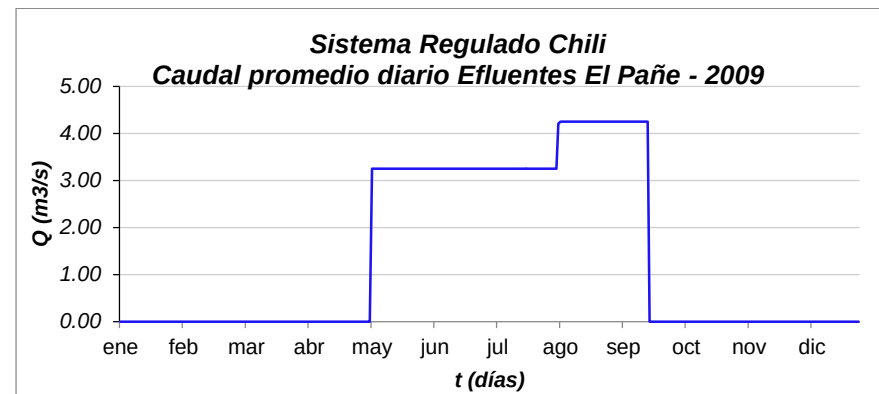
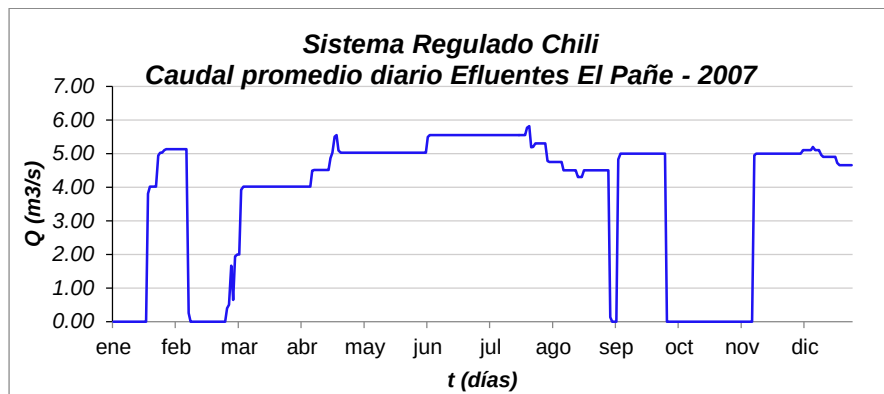


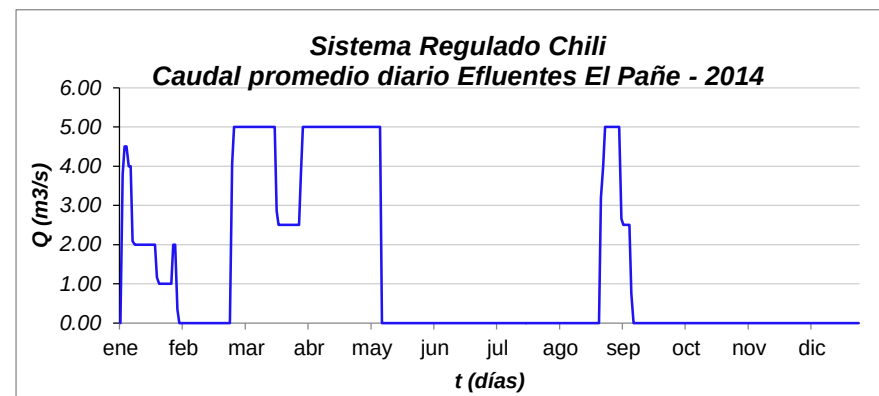
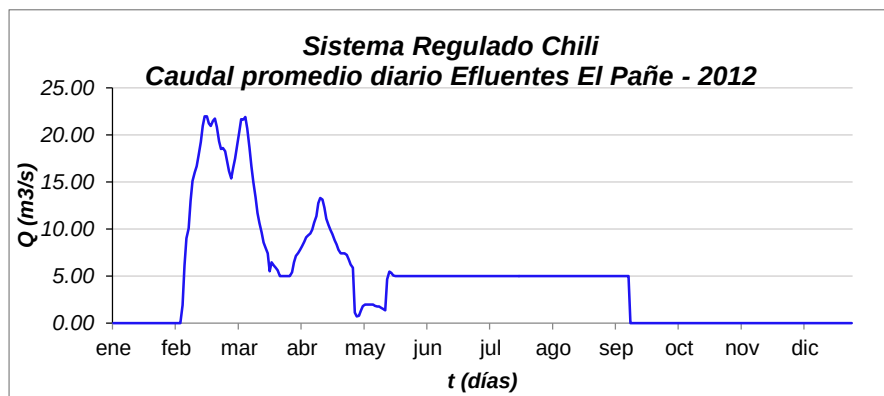
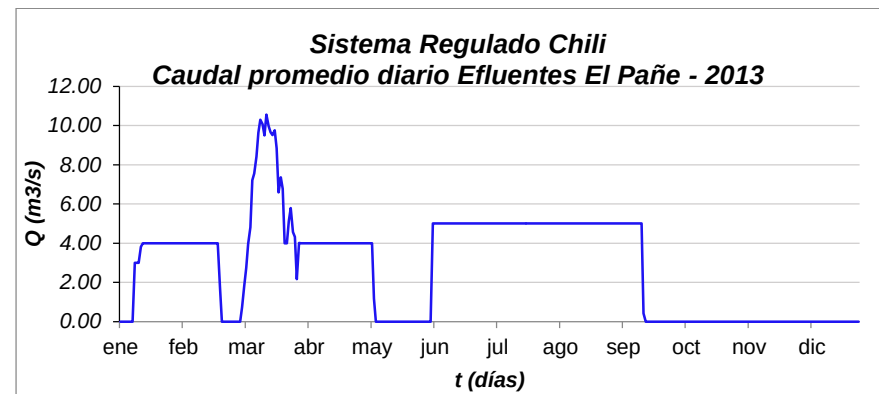
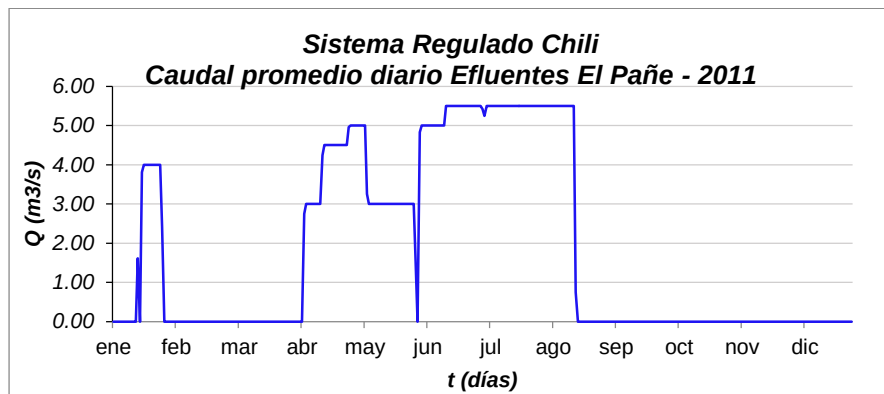


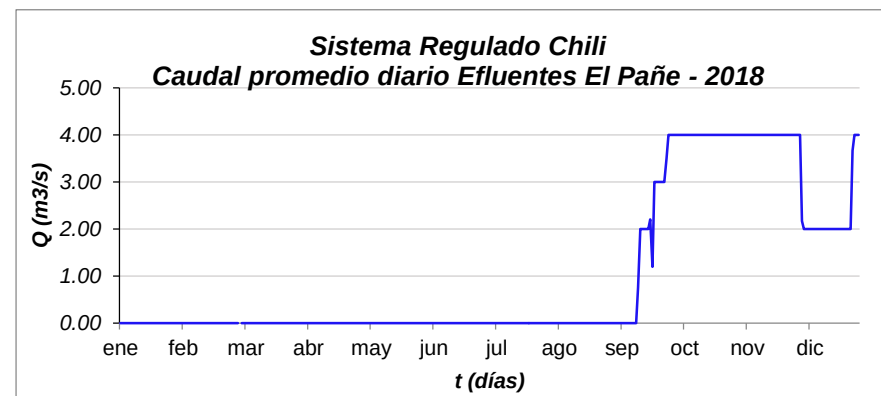
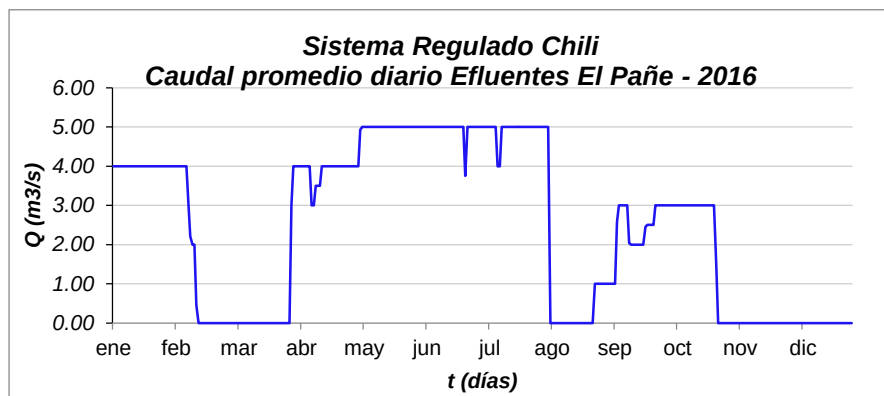
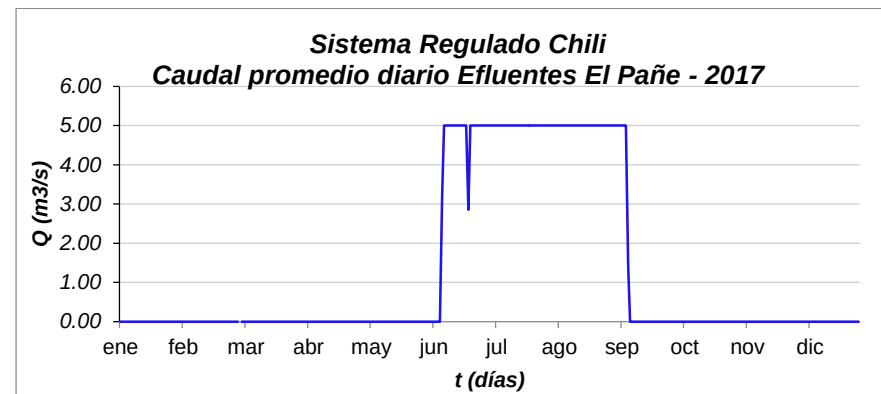
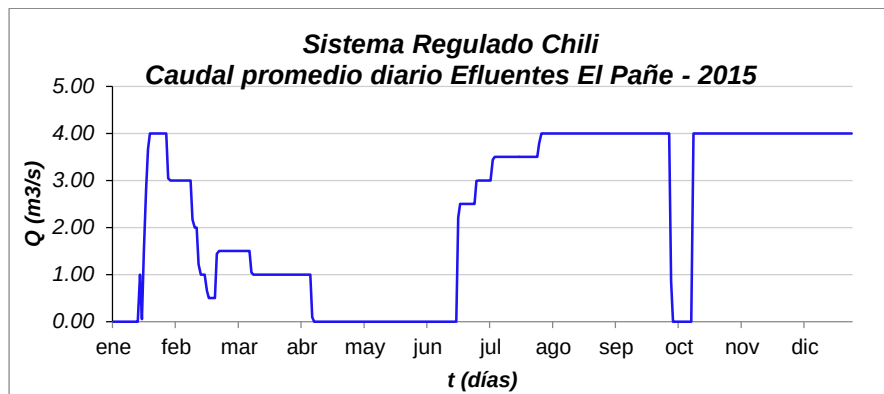


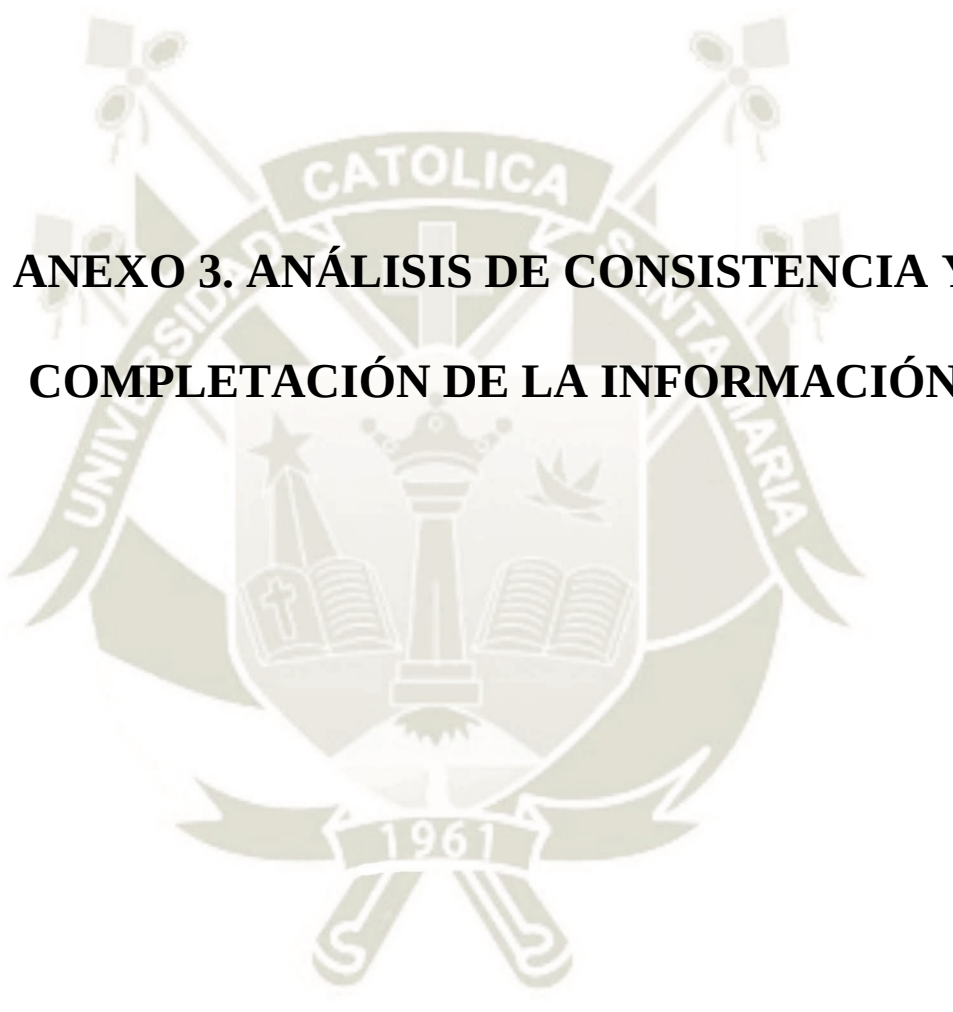
APÉNDICE 5. DESCARGA DIARIA HISTÓRICA (m³/s) Estación Pañe. Periodo 2003 – 2018





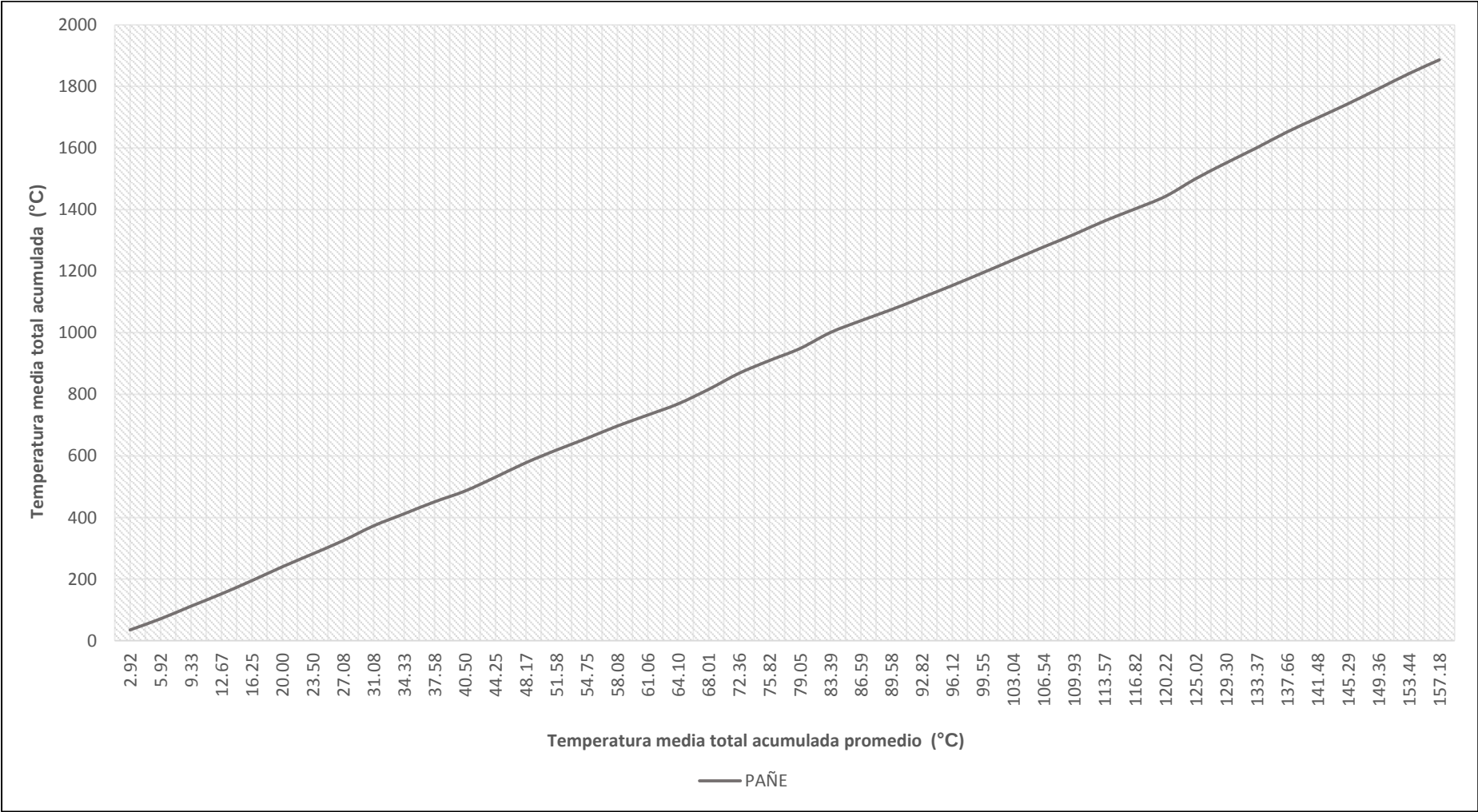




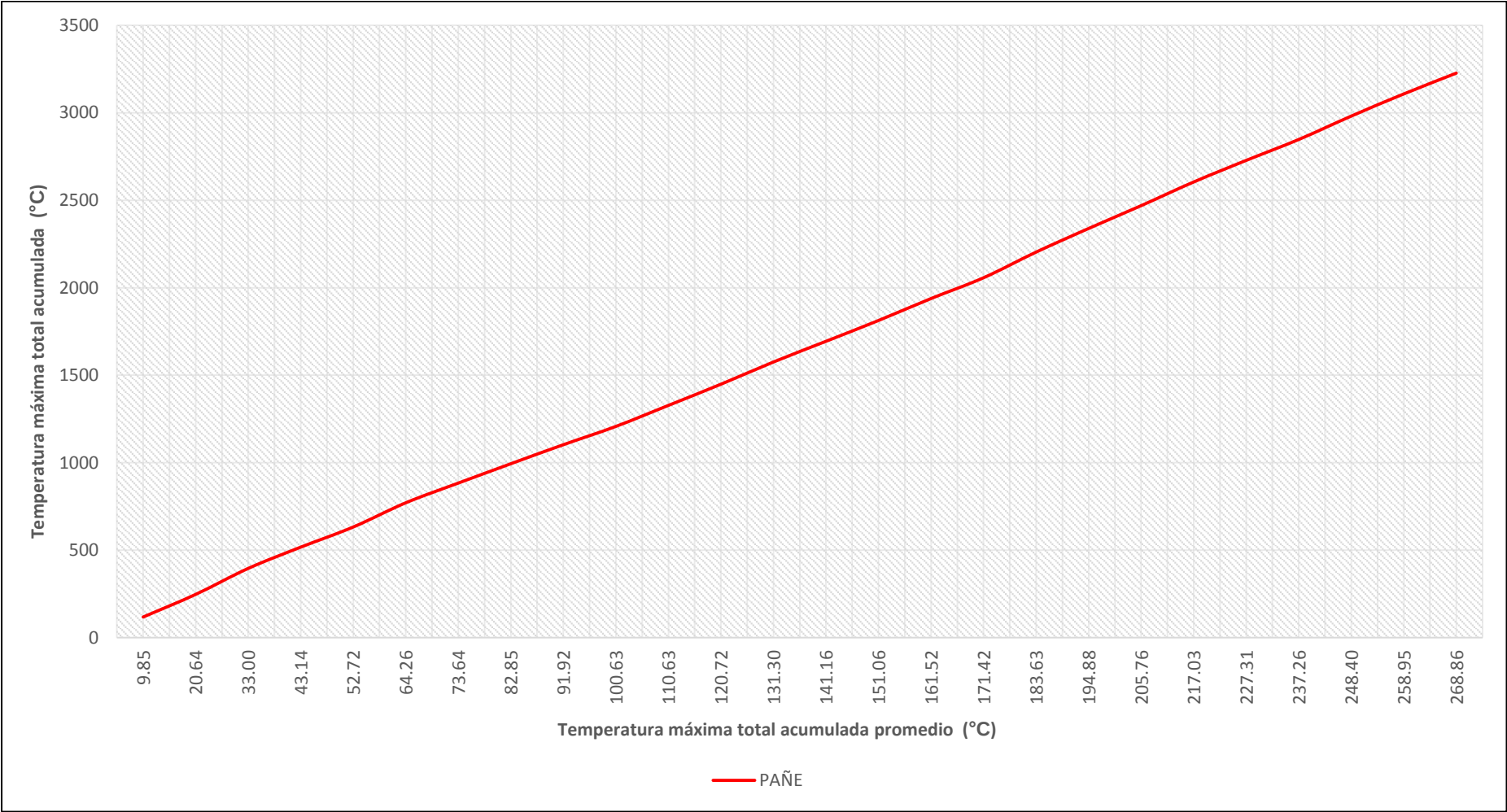


ANEXO 3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA Y COMPLETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

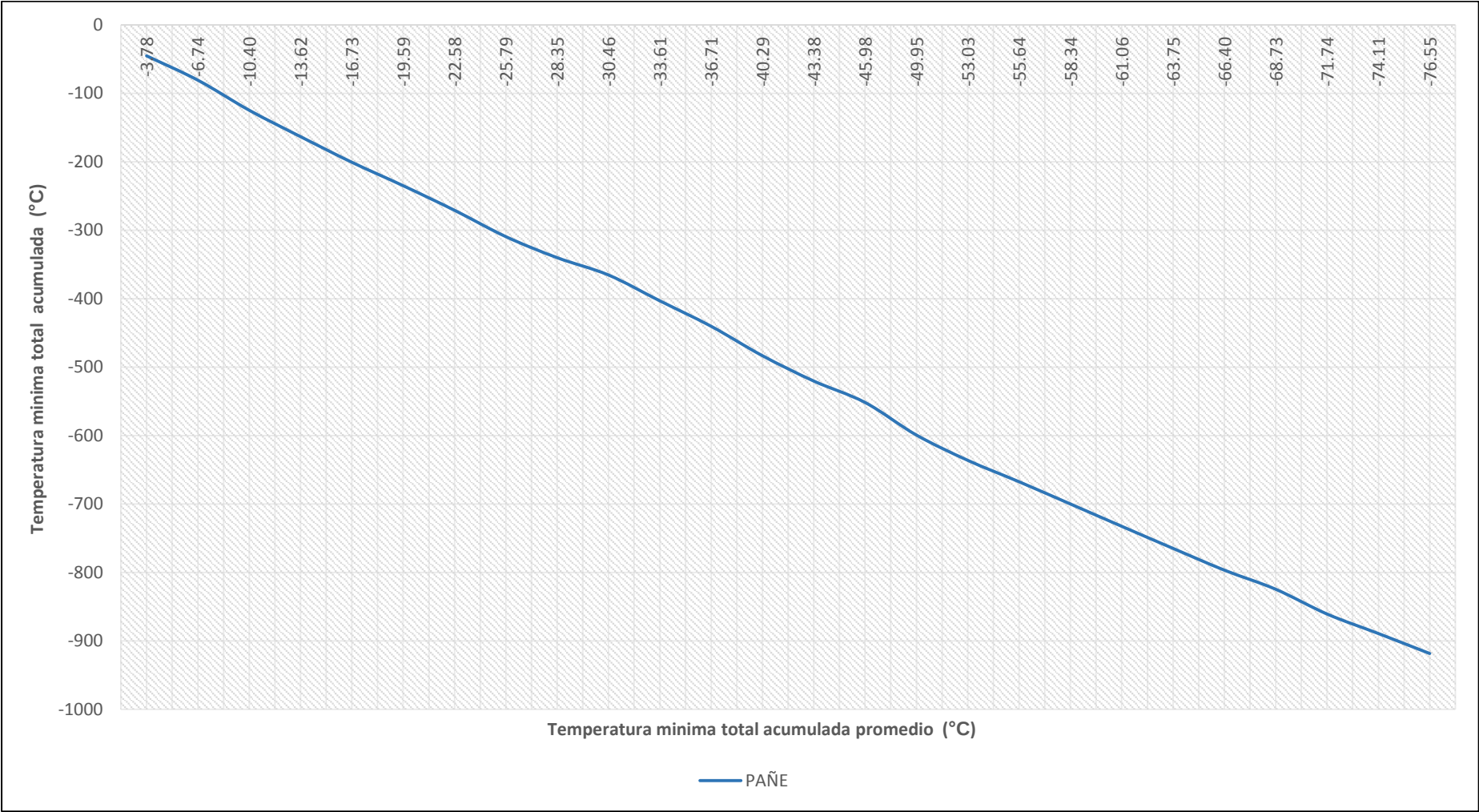
APÉNDICE 1. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL HISTÓRICA



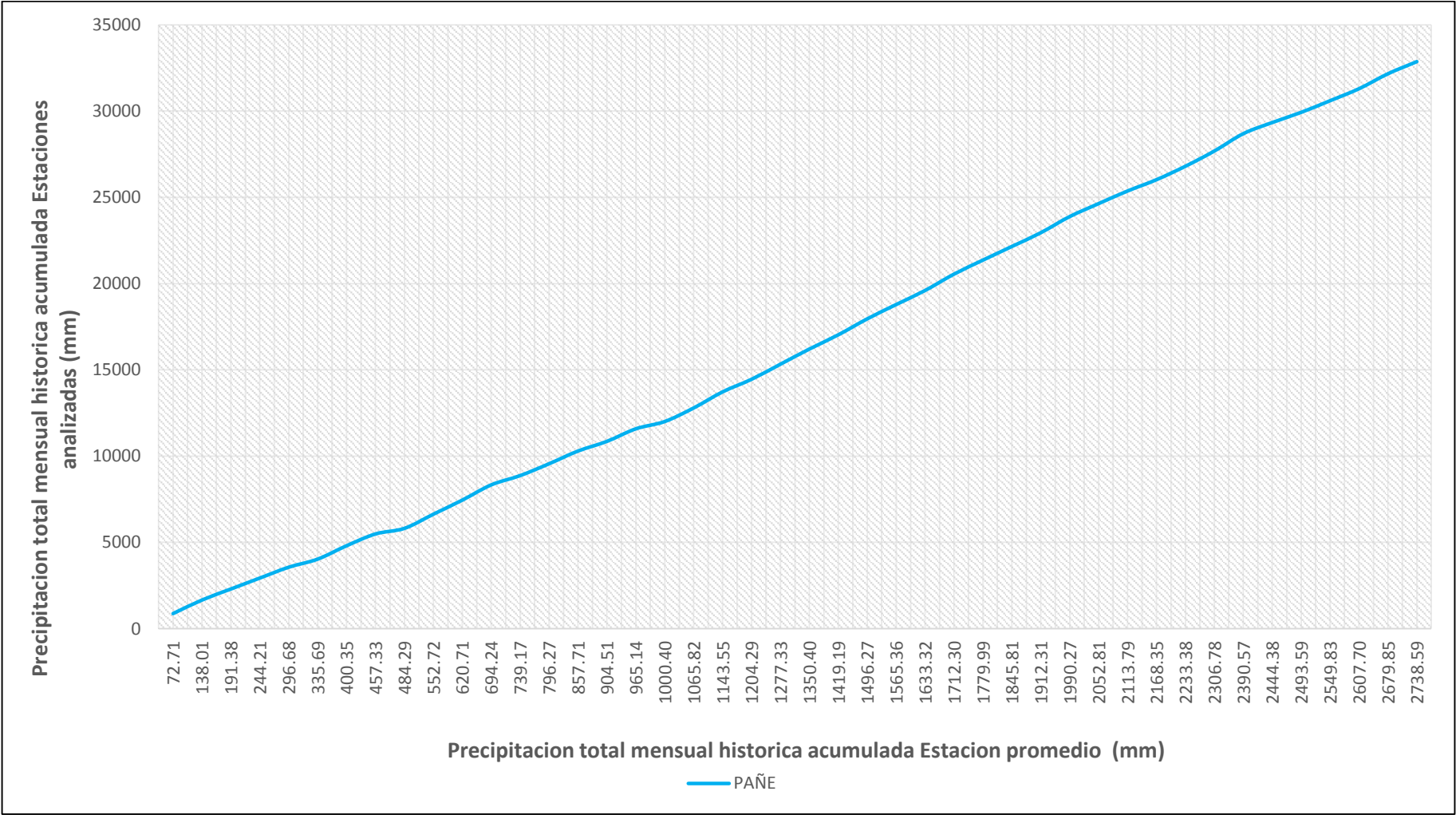
APÉNDICE 2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL HISTÓRICA



APÉNDICE 3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL HISTÓRICA



APÉNDICE 4. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LA PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTÓRICA



**ANEXO 4. INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA,
PLUVIOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA
CONSISTENCIADA Y COMPLETADA**

APÉNDICE 1. TEMPERATURA MEDIA TOTAL MENSUAL ESTACION PAÑE: Tmedia total mensual
consistenciada y completada (°C) – periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	2.00	0.00	0.00	3.00	4.00	4.00	4.00	2.92
2	1976	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	1.00	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00	3.00
3	1977	5.00	5.00	5.00	4.00	2.00	1.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.42
4	1978	4.00	6.00	5.00	5.00	3.00	2.00	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	3.33
5	1979	4.00	5.00	5.00	4.00	2.00	4.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	4.00	3.58
6	1980	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	3.00	2.00	2.00	3.00	4.00	5.00	4.00	3.75
7	1981	5.00	5.00	5.00	4.00	3.00	1.00	1.00	1.00	2.00	4.00	5.00	6.00	3.50
8	1982	6.00	5.00	5.00	4.00	2.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	5.00	3.58
9	1983	5.00	6.00	6.00	6.00	3.00	2.00	2.00	2.00	3.00	4.00	4.00	5.00	4.00
10	1984	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	1.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	3.25
11	1985	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	2.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.25
12	1986	4.00	4.00	4.00	4.00	2.00	2.00	0.00	1.00	2.00	3.00	5.00	4.00	2.92
13	1987	5.00	5.00	5.00	5.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	3.75
14	1988	6.00	5.00	5.00	4.00	4.00	1.00	1.00	3.00	4.00	5.00	5.00	4.00	3.92
15	1989	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	1.00	2.00	3.00	5.00	5.00	4.00	3.42
16	1990	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	1.00	0.00	2.00	2.00	4.00	5.00	5.00	3.17
17	1991	5.00	5.00	4.00	4.00	3.00	1.00	1.00	2.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.33
18	1992	4.00	5.00	5.00	5.00	4.00	2.00	-0.35	-0.70	1.35	4.00	2.85	3.55	2.98
19	1993	2.75	3.55	3.40	3.05	2.50	0.85	0.65	1.45	2.95	4.50	5.30	5.50	3.04
20	1994	4.75	4.40	4.85	4.30	4.05	3.45	2.05	2.60	2.90	4.60	4.00	5.00	3.91
21	1995	5.60	5.46	4.98	5.09	4.34	2.22	2.44	3.78	4.06	4.97	4.97	4.32	4.35
22	1996	5.00	5.07	5.17	4.64	3.28	1.45	0.61	1.80	3.10	3.76	3.82	3.82	3.46
23	1997	4.03	3.52	3.69	2.74	2.09	1.04	1.48	1.59	3.52	4.82	4.80	5.45	3.23
24	1998	6.16	6.36	6.40	5.49	3.24	2.50	1.97	2.65	3.62	4.45	4.26	5.01	4.34
25	1999	4.83	4.10	4.00	3.69	3.13	1.70	1.61	1.75	2.28	3.15	3.82	4.30	3.20
26	2000	4.07	4.07	4.22	4.10	3.12	0.62	0.01	1.41	3.11	2.89	4.18	4.05	2.99
27	2001	3.75	4.29	3.85	3.41	2.58	1.63	0.80	1.19	3.06	4.12	5.26	4.97	3.24
28	2002	4.56	4.45	4.60	3.67	2.72	2.37	0.17	1.23	2.66	3.62	4.53	5.01	3.30
29	2003	5.37	5.16	4.28	3.83	2.95	1.69	1.28	1.24	2.12	3.87	4.44	5.19	3.45
30	2004	4.30	4.87	4.78	4.19	2.16	0.97	0.95	1.86	3.55	4.24	4.69	5.47	3.50
31	2005	4.69	4.58	5.16	4.56	2.92	1.07	1.80	1.30	2.66	3.95	4.62	4.64	3.50
32	2006	4.36	4.99	4.89	4.32	2.64	1.59	0.66	1.89	2.35	3.97	4.13	4.89	3.39
33	2007	5.06	4.26	4.10	4.18	3.10	2.66	1.31	2.53	2.92	4.58	4.59	4.42	3.64
34	2008	4.29	4.43	4.19	3.76	2.01	1.73	0.97	1.80	2.23	3.92	5.15	4.51	3.25
35	2009	4.48	4.79	4.35	4.56	2.98	0.95	0.86	1.45	3.26	4.34	4.92	5.59	3.55
36	2010	6.00	6.63	6.18	5.87	4.24	3.71	2.31	3.31	4.02	4.84	5.12	5.38	4.80
37	2011	5.65	5.17	4.76	5.05	3.95	2.51	2.06	3.03	3.63	4.44	5.89	5.13	4.27
38	2012	4.39	4.57	4.81	4.49	3.54	2.76	2.19	2.49	3.79	5.05	5.61	5.26	4.08
39	2013	5.16	5.62	5.72	4.78	4.03	2.38	2.17	2.36	3.66	4.69	5.57	5.32	4.29
40	2014	4.66	4.74	4.56	4.15	3.19	2.88	1.58	2.63	3.47	4.13	4.85	5.26	3.84
41	2015	3.80	4.36	4.62	3.78	3.40	3.20	1.90	2.49	3.78	3.92	5.48	5.02	3.81
42	2016	5.89	5.56	6.42	4.67	3.19	1.85	2.10	2.39	3.14	3.85	4.49	5.24	4.07
43	2017	4.99	5.58	4.94	4.31	3.52	2.74	2.44	2.52	3.63	4.08	5.30	5.14	4.10
44	2018	4.30	5.26	4.55	4.35	2.86	1.83	1.73	2.06	3.21	4.45	5.55	4.94	3.76
Total		4.63	4.79	4.69	4.25	3.02	1.94	1.22	1.91	2.96	4.10	4.66	4.76	3.58
DesvStd		0.78	0.71	0.70	0.67	0.64	0.87	0.76	0.79	0.65	0.54	0.63	0.63	0.70
Min		2.75	3.52	3.40	2.74	2.00	0.62	-0.35	-0.70	1.35	2.89	2.85	3.55	2.05
Max		6.16	6.63	6.42	6.00	4.34	4.00	2.44	3.78	4.06	5.05	5.89	6.00	5.06

APÉNDICE 2. TEMPERATURA MÁXIMA TOTAL MENSUAL ESTACION PAÑE: Tmáx total mensual
consistenciada y completada (°C) – periodo 1995 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1995	11.70	11.91	10.23	12.07	12.69	11.35	12.24	13.78	12.63	14.77	13.09	11.87	12.36
2	1996	10.74	10.04	11.30	9.93	9.62	8.99	8.92	8.94	11.17	11.92	10.90	9.15	10.14
3	1997	8.89	8.10	8.70	8.21	8.26	8.99	9.42	7.80	10.12	12.60	11.62	12.27	9.58
4	1998	11.07	11.52	12.14	11.92	11.34	9.79	10.58	11.26	12.64	12.25	11.95	12.02	11.54
5	1999	10.45	8.15	7.72	8.00	9.44	9.48	9.39	9.49	9.54	8.46	11.86	10.63	9.39
6	2000	7.76	7.87	8.75	9.82	9.52	7.83	7.60	8.61	11.55	8.99	12.46	9.70	9.21
7	2001	7.44	7.93	7.60	8.04	7.88	7.69	7.28	7.88	9.95	11.55	13.11	12.22	9.05
8	2002	10.40	8.28	8.76	7.77	8.21	8.33	5.02	7.46	9.19	9.40	10.93	10.72	8.71
9	2003	10.77	9.71	8.49	8.88	9.00	9.78	8.48	8.95	9.39	12.84	12.58	11.67	10.05
10	2004	8.56	9.95	9.51	9.86	9.29	8.23	7.83	8.10	10.60	12.70	13.03	13.58	10.10
11	2005	10.14	8.81	10.16	10.09	10.48	9.99	10.68	11.34	10.27	11.96	12.61	10.39	10.58
12	2006	8.67	9.97	9.66	9.54	9.98	9.10	9.00	9.59	10.61	11.35	9.85	11.04	9.86
13	2007	10.03	8.70	7.70	8.90	8.95	9.62	8.12	10.90	9.18	12.18	12.27	12.20	9.90
14	2008	8.27	9.35	9.28	10.63	10.00	9.94	9.95	11.46	11.75	11.70	13.10	10.14	10.46
15	2009	9.54	9.30	9.30	10.40	9.84	9.40	8.06	10.30	11.10	12.50	11.15	11.44	10.19
16	2010	11.15	11.74	11.68	12.13	11.26	11.48	11.87	13.00	13.37	13.14	14.79	10.93	12.21
17	2011	11.58	9.60	9.57	10.92	10.89	10.29	9.48	11.53	11.72	13.33	14.62	11.47	11.25
18	2012	9.50	9.00	9.97	9.58	10.58	10.52	10.52	11.55	12.20	13.22	13.32	10.55	10.88
19	2013	10.29	10.50	11.49	12.26	11.18	9.46	9.24	10.81	12.94	12.65	13.20	11.15	11.26
20	2014	9.80	10.76	9.75	9.02	10.33	11.09	9.11	10.42	9.65	10.30	12.36	11.35	10.33
21	2015	8.48	8.76	9.01	7.70	9.49	10.73	10.03	9.95	10.79	10.89	12.67	10.90	9.95
22	2016	12.43	10.28	12.71	9.94	10.67	9.98	9.61	10.61	11.82	11.33	12.89	11.50	11.15
23	2017	9.53	11.09	9.62	9.42	9.08	9.60	10.29	11.53	10.50	11.77	12.78	11.66	10.57
24	2018	8.75	9.68	9.15	10.35	10.04	7.53	7.51	8.54	11.76	10.86	13.34	11.89	9.95
Total		9.83	9.62	9.68	9.81	9.92	9.55	9.18	10.16	11.02	11.78	12.52	11.27	10.36
DesvStd		1.30	1.20	1.37	1.38	1.12	1.09	1.57	1.66	1.23	1.45	1.12	0.94	1.29
Min		7.44	7.87	7.60	7.70	7.88	7.53	5.02	7.46	9.18	8.46	9.85	9.15	7.93
Max		12.43	11.91	12.71	12.26	12.69	11.48	12.24	13.78	13.37	14.77	14.79	13.58	13.00

APÉNDICE 3. TEMPERATURA MÍNIMA TOTAL MENSUAL ESTACION PAÑE: Tmin total mensual
consistenciada y completada (°C) – periodo 1995 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1995	-0.50	-0.99	-0.28	-1.90	-4.00	-6.92	-7.36	-6.22	-4.52	-4.83	-3.14	-3.23	-3.66
2	1996	-0.74	0.10	-0.96	-0.65	-3.06	-6.09	-7.69	-5.35	-4.96	-4.39	-3.27	-1.52	-3.22
3	1997	-0.84	-1.06	-1.31	-2.73	-4.08	-6.91	-6.45	-4.61	-3.07	-2.96	-2.03	-1.38	-3.12
4	1998	1.25	1.19	0.66	-0.93	-4.86	-4.79	-6.64	-5.96	-5.40	-3.34	-3.44	-2.00	-2.85
5	1999	-0.79	0.05	0.28	-0.62	-3.18	-6.07	-6.18	-5.99	-4.98	-2.16	-4.23	-2.04	-2.99
6	2000	0.38	0.27	-0.32	-1.62	-3.27	-6.33	-7.57	-5.79	-5.33	-3.22	-4.10	-1.60	-3.21
7	2001	0.06	0.66	0.09	-1.22	-2.72	-4.42	-5.69	-5.50	-3.83	-3.31	-2.59	-2.29	-2.56
8	2002	-1.28	0.62	0.44	-0.44	-2.76	-3.59	-4.69	-4.99	-3.87	-2.16	-1.87	-0.71	-2.11
9	2003	-0.03	0.60	0.07	-1.22	-3.10	-6.41	-5.92	-6.48	-5.16	-5.09	-3.70	-1.29	-3.14
10	2004	0.04	-0.21	0.05	-1.48	-4.96	-6.30	-5.93	-4.37	-3.51	-4.22	-3.66	-2.65	-3.10
11	2005	-0.77	0.34	0.16	-0.97	-4.64	-7.84	-7.09	-8.73	-4.95	-4.06	-3.37	-1.11	-3.58
12	2006	0.05	0.01	0.11	-0.90	-4.71	-5.92	-7.68	-5.81	-5.91	-3.41	-1.59	-1.25	-3.08
13	2007	0.10	-0.19	0.51	-0.55	-2.74	-4.30	-5.50	-5.85	-3.33	-3.02	-3.08	-3.36	-2.61
14	2008	0.32	-0.49	-0.91	-3.11	-5.98	-6.48	-8.00	-7.87	-7.29	-3.86	-2.80	-1.11	-3.97
15	2009	-0.57	0.28	-0.59	-1.28	-3.89	-7.49	-6.35	-7.39	-4.57	-3.82	-0.97	-0.26	-3.08
16	2010	0.85	1.51	0.69	-0.39	-2.78	-4.07	-7.26	-6.38	-5.33	-3.46	-4.55	-0.16	-2.61
17	2011	-0.28	0.74	-0.05	-0.82	-2.99	-5.27	-5.35	-5.48	-4.47	-4.46	-2.84	-1.21	-2.71
18	2012	-0.72	0.13	-0.35	-0.61	-3.51	-5.01	-6.14	-6.57	-4.61	-3.12	-2.10	-0.03	-2.72
19	2013	0.03	0.74	-0.04	-2.70	-3.12	-4.70	-4.90	-6.10	-5.62	-3.27	-2.07	-0.51	-2.69
20	2014	-0.48	-1.29	-0.63	-0.73	-3.95	-5.34	-5.94	-5.16	-2.70	-2.04	-2.66	-0.84	-2.65
21	2015	-0.87	-0.05	0.22	-0.15	-2.69	-4.33	-6.23	-4.98	-3.22	-3.05	-1.72	-0.86	-2.33
22	2016	-0.66	0.85	0.14	-0.60	-4.29	-6.28	-5.40	-5.84	-5.53	-3.64	-3.91	-1.01	-3.01
23	2017	0.46	0.06	0.27	-0.80	-2.05	-4.13	-5.42	-6.48	-3.23	-3.62	-2.18	-1.39	-2.37
24	2018	-0.15	0.84	-0.04	-1.65	-4.32	-3.87	-4.05	-4.41	-5.33	-1.97	-2.24	-2.01	-2.43
Total		-0.21	0.20	-0.07	-1.17	-3.65	-5.54	-6.23	-5.93	-4.62	-3.44	-2.84	-1.41	-34.90
DesvStd		0.61	0.69	0.51	0.78	0.94	1.21	1.03	1.04	1.09	0.84	0.93	0.88	0.88
Min		-1.28	-1.29	-1.31	-3.11	-5.98	-7.84	-8.00	-8.73	-7.29	-5.09	-4.55	-3.36	-4.82
Max		1.25	1.51	0.69	-0.15	-2.05	-3.59	-4.05	-4.37	-2.70	-1.97	-0.97	-0.03	-1.37

APÉNDICE 4. PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL ESTACION PAÑE: Precipitación total mensual
consistenciada y completada (mm) – periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	215.16	185.66	155.80	22.00	0.74	0.37	0.00	0.10	17.06	21.74	30.91	222.95	872.49
2	1976	251.85	130.29	141.41	35.79	18.19	1.21	3.99	30.85	39.10	10.00	15.81	105.09	783.58
3	1977	38.27	176.76	166.52	28.03	3.14	0.18	0.60	4.19	6.65	27.37	80.14	108.60	640.45
4	1978	264.95	39.15	93.99	29.21	1.32	2.45	0.00	0.01	7.10	25.04	81.08	89.71	634.01
5	1979	73.33	159.65	147.05	29.12	0.17	0.17	0.37	5.38	0.12	51.21	73.26	89.78	629.61
6	1980	27.27	77.89	143.71	24.62	0.41	0.09	5.59	15.57	8.97	41.90	40.08	82.09	468.19
7	1981	264.96	177.39	91.40	48.15	4.22	1.94	0.00	1.59	9.19	9.32	41.89	125.80	775.85
8	1982	148.30	104.54	142.75	56.26	0.39	0.22	0.05	0.00	38.94	47.75	78.40	66.13	683.73
9	1983	5.56	79.84	46.18	50.52	0.69	1.80	0.00	1.27	31.49	13.33	10.42	82.47	323.57
10	1984	143.72	242.98	138.93	31.76	3.64	0.01	0.12	3.56	1.56	58.35	71.12	125.40	821.15
11	1985	34.29	202.48	172.49	161.62	14.69	0.00	0.17	2.04	13.73	7.81	66.37	140.24	815.93
12	1986	250.26	180.07	158.65	71.20	31.50	0.09	5.98	21.23	4.81	12.73	38.29	107.53	882.34
13	1987	212.45	80.94	22.29	23.37	21.33	5.91	3.04	1.95	4.15	27.52	50.03	86.17	539.15
14	1988	207.79	96.49	122.40	69.63	7.91	0.29	0.00	0.17	21.79	17.60	11.39	129.70	685.16
15	1989	195.00	162.73	164.63	75.40	4.87	0.29	5.20	1.88	0.79	12.37	54.18	59.96	737.30
16	1990	49.39	95.18	90.78	41.21	28.85	0.00	0.00	3.04	0.16	25.85	89.65	137.49	561.60
17	1991	178.50	172.10	153.10	24.00	20.40	0.03	3.00	0.00	5.70	18.10	29.90	122.70	727.53
18	1992	62.60	100.10	12.30	22.20	1.50	0.00	0.00	50.80	0.00	28.60	47.20	97.80	423.10
19	1993	249.10	45.30	96.60	35.90	7.70	1.00	0.00	14.30	4.90	68.80	65.80	195.70	785.10
20	1994	331.30	181.10	89.20	95.20	26.60	0.00	0.00	0.00	4.10	21.00	57.00	127.30	932.80
21	1995	141.70	199.70	167.80	38.10	0.40	0.00	0.00	3.50	19.80	17.00	40.50	100.30	728.80
22	1996	225.20	175.00	118.80	72.60	36.90	0.00	0.30	23.20	10.30	7.30	51.90	155.00	876.50
23	1997	227.20	211.10	83.70	47.60	26.40	0.00	0.00	23.00	52.10	0.80	76.00	128.90	876.80
24	1998	306.90	164.90	94.90	39.80	0.00	0.30	0.00	0.40	0.00	20.50	75.50	122.30	825.50
25	1999	162.30	242.70	229.90	104.50	4.50	0.30	0.00	0.10	17.70	65.20	20.10	77.70	925.00
26	2000	239.90	189.50	147.10	15.60	7.50	3.70	1.20	5.40	0.00	73.70	9.00	136.50	829.10
27	2001	173.70	205.20	192.30	80.30	34.40	0.50	16.50	16.80	7.90	7.50	30.60	49.80	815.50
28	2002	151.10	237.90	150.80	61.20	27.50	2.00	14.10	3.10	4.00	51.30	97.50	147.30	947.80
29	2003	182.00	216.90	192.40	29.00	7.90	0.80	0.00	1.70	18.90	5.20	24.20	133.20	812.20
30	2004	226.30	214.20	149.40	63.70	0.00	3.50	4.90	6.00	21.70	4.10	19.60	76.50	789.90
31	2005	161.10	217.10	103.72	78.70	0.00	0.00	0.20	3.30	14.70	6.30	50.10	162.80	798.02
32	2006	215.50	192.10	213.60	32.50	0.00	1.10	0.00	5.10	19.40	27.40	101.20	127.60	935.50
33	2007	165.30	168.80	213.10	74.30	23.70	0.90	6.00	0.00	29.20	26.80	15.60	26.80	750.50
34	2008	244.20	154.40	74.20	6.60	7.40	0.80	1.30	0.30	0.00	26.00	31.60	184.90	731.70
35	2009	102.10	182.50	101.70	56.60	1.00	0.00	9.80	1.20	14.20	15.00	86.70	83.90	654.70
36	2010	245.80	235.10	75.10	27.20	5.10	0.40	0.20	1.20	2.20	9.20	2.30	176.60	780.40
37	2011	211.20	226.80	194.50	68.00	0.50	0.20	10.10	0.80	1.00	13.60	22.10	132.01	880.81
38	2012	238.30	260.30	129.10	92.20	7.50	0.40	0.90	1.10	8.70	30.10	34.70	202.20	1005.50
39	2013	151.50	176.80	66.00	4.10	7.20	7.60	9.00	2.50	0.00	35.00	33.35	152.60	645.65
40	2014	214.40	34.60	106.20	44.70	0.90	0.00	1.40	1.80	42.80	23.80	22.30	97.70	590.60
41	2015	155.50	120.50	111.20	115.60	6.61	0.00	0.20	4.30	17.60	15.90	37.80	89.60	674.81
42	2016	80.90	323.70	44.60	84.00	1.10	10.70	1.60	5.10	1.80	50.60	19.80	70.60	694.50
43	2017	208.50	159.70	230.90	44.10	30.70	1.80	10.30	0.00	14.80	13.20	25.50	126.30	865.80
44	2018	155.00	135.40	210.00	28.80	2.10	12.90	20.10	4.30	6.10	57.00	5.20	67.90	704.80
Total		177.04	166.72	130.71	51.93	9.94	1.45	3.10	6.18	12.39	26.11	44.68	116.63	746.89
DesvStd		77.47	62.58	53.96	31.46	11.48	2.79	4.91	10.10	12.92	18.99	27.11	41.89	29.64
Min		5.56	34.60	12.30	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.30	26.80	7.21
Max		331.30	323.70	230.90	161.62	36.90	12.90	20.10	50.80	52.10	73.70	101.20	222.95	134.85

APÉNDICE 5. ESTACION SALIDA REPRESA PAÑE: Caudal de descarga total mensual consistenciado y completado (m³/s) – periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	2.61	0.00	2.29	2.88	4.42	4.40	3.87	1.55	0.00	0.00	3.60	4.68	2.52
2	1976	1.55	0.76	0.13	4.78	3.00	5.87	6.01	6.00	4.20	0.00	1.72	5.35	3.28
3	1977	2.80	0.73	0.00	0.47	0.77	0.00	0.00	0.00	0.85	5.00	5.64	5.60	1.82
4	1978	0.12	0.00	0.00	0.68	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.54	3.82	0.88
5	1979	0.89	3.61	5.98	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	3.76	5.98	4.50	3.64	2.41
6	1980	4.21	3.60	5.05	0.54	0.00	0.00	0.00	1.79	2.24	2.86	3.04	4.86	2.35
7	1981	1.35	0.00	0.00	0.00	0.00	5.07	5.01	5.27	4.95	5.31	5.41	4.69	3.09
8	1982	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.52	5.36	5.01	3.48	3.88	1.87
9	1983	5.23	3.91	4.31	1.48	1.43	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.39
10	1984	0.00	0.00	1.29	5.39	5.06	5.10	5.13	5.16	4.89	0.34	0.00	0.00	2.70
11	1985	0.38	0.40	0.30	0.93	2.98	0.46	4.72	4.93	5.54	6.06	5.94	4.66	3.11
12	1986	0.00	0.10	4.44	3.83	5.34	5.31	5.37	5.22	5.32	1.55	0.66	1.51	3.22
13	1987	0.69	0.00	1.10	5.38	1.71	2.15	4.61	0.31	0.00	0.00	0.00	4.55	1.71
14	1988	2.31	0.00	0.00	1.29	5.44	1.25	2.09	6.10	4.27	5.44	5.49	1.71	2.95
15	1989	3.26	4.12	0.13	0.00	0.84	3.30	5.07	5.38	5.43	2.60	4.29	3.91	3.19
16	1990	0.26	1.84	0.95	0.01	0.33	2.51	2.19	0.69	0.12	0.00	0.00	0.00	0.74
17	1991	0.00	0.00	0.00	0.00	2.91	3.73	4.60	3.12	3.57	3.40	3.47	0.76	2.13
18	1992	1.84	1.81	2.01	0.76	0.00	1.79	1.40	0.64	0.46	0.00	0.00	0.00	0.89
19	1993	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	2.24	2.75	3.04	3.29	1.71	0.67	1.15
20	1994	0.20	0.99	6.26	2.43	2.60	2.80	3.55	5.63	5.55	3.24	3.31	2.25	3.23
21	1995	0.30	0.00	0.13	0.01	4.51	5.13	5.47	5.08	5.11	4.98	1.44	0.00	2.68
22	1996	0.97	0.00	0.00	0.51	0.00	3.92	4.87	5.02	4.83	4.77	0.51	0.00	2.12
23	1997	0.30	0.00	0.00	0.26	0.00	4.45	5.22	4.95	4.74	2.49	2.77	3.15	2.36
24	1998	0.90	0.00	0.03	2.51	0.28	0.00	0.00	4.83	5.38	5.66	5.85	5.72	2.60
25	1999	4.80	0.00	0.00	2.98	2.05	0.00	0.00	0.00	1.35	4.42	5.15	4.42	2.10
26	2000	0.50	4.37	0.00	2.29	4.87	4.97	0.99	0.00	3.08	3.88	5.17	4.97	2.92
27	2001	0.89	0.00	8.25	6.66	0.70	0.00	0.00	0.40	2.58	5.27	5.27	5.27	2.94
28	2002	3.97	0.10	0.00	3.88	1.89	0.30	0.10	2.38	4.07	5.27	4.87	5.07	2.66
29	2003	2.58	1.45	1.87	4.26	5.12	5.08	5.07	5.06	5.08	1.49	0.00	0.61	3.14
30	2004	1.62	0.67	0.00	4.40	5.88	5.81	5.92	6.04	6.01	2.07	0.00	0.00	3.20
31	2005	2.95	0.99	0.00	0.00	3.35	5.06	5.12	4.76	0.36	0.00	0.00	0.00	1.88
32	2006	0.00	0.00	0.00	0.53	1.01	2.81	4.62	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89
33	2007	2.12	1.20	3.71	4.63	5.02	5.48	5.51	4.60	4.30	0.00	3.00	4.92	3.71
34	2008	0.30	0.00	0.00	4.40	5.00	5.00	5.00	5.00	4.78	1.05	0.00	0.00	2.54
35	2009	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	3.25	3.25	4.12	2.55	0.00	0.00	0.00	1.33
36	2010	0.00	0.00	0.10	2.24	5.50	5.50	5.50	5.50	2.20	0.00	0.00	0.00	2.21
37	2011	1.41	0.00	0.00	3.50	3.19	5.28	5.49	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81
38	2012	0.00	14.82	11.29	8.85	3.38	5.00	5.00	5.00	2.00	0.00	0.00	0.00	4.61
39	2013	2.99	2.63	6.25	4.00	0.68	4.50	5.00	5.00	2.51	0.00	0.00	0.00	2.80
40	2014	1.85	0.68	4.01	5.00	1.45	0.00	0.00	0.88	1.11	0.00	0.00	0.00	1.25
41	2015	1.84	1.75	1.15	0.27	0.00	0.94	3.43	4.00	4.00	2.61	4.00	4.00	2.33
42	2016	4.00	1.16	0.35	3.88	4.97	4.96	4.94	0.68	2.30	2.37	0.00	0.00	2.47
43	2017	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	5.00	5.00	1.22	0.00	0.00	0.00	1.24
44	2018	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.59	4.00	4.00	2.38	1.00
Media		1.41	1.17	1.62	2.19	2.27	2.85	3.21	3.22	2.97	2.28	2.25	2.21	2.30
DesvStd		1.49	2.47	2.67	2.24	2.05	2.23	2.28	2.22	2.01	2.23	2.25	2.22	2.20
Min		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max		5.23	14.82	11.29	8.85	5.88	5.87	6.01	6.10	6.01	6.06	5.94	5.72	7.31

APÉNDICE 6. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL: ETP (mm) – periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	46.77	48.98	52.50	49.14	41.33	30.86	0.00	0.00	42.10	53.79	53.31	55.94	474.73
2	1976	55.37	50.59	52.37	49.01	32.36	20.35	21.22	32.93	32.97	45.19	53.17	63.74	509.27
3	1977	58.99	52.04	55.78	45.50	29.62	18.36	29.36	30.14	38.75	49.81	49.36	51.80	509.50
4	1978	51.10	57.93	55.48	51.93	37.80	27.96	0.00	19.49	29.96	41.44	49.07	59.12	481.29
5	1979	50.09	50.80	54.46	44.34	28.71	42.09	18.46	29.21	37.68	48.54	55.30	50.48	510.17
6	1980	56.44	51.57	53.38	43.40	36.12	34.35	27.72	28.45	36.80	47.50	54.20	49.40	519.34
7	1981	57.29	50.54	54.18	44.10	36.76	17.56	18.31	18.80	29.05	48.27	55.01	64.72	494.61
8	1982	63.74	50.14	53.75	43.72	28.22	17.35	18.09	28.72	37.10	47.86	54.57	57.28	500.53
9	1983	53.86	53.49	57.34	53.67	34.17	24.98	26.04	26.73	34.81	45.16	44.75	54.28	509.28
10	1984	53.43	48.82	50.53	47.29	39.66	37.71	20.21	31.57	31.60	51.77	51.30	53.84	517.72
11	1985	53.43	47.13	50.53	47.29	39.66	29.50	20.21	31.57	40.40	51.77	51.30	53.84	516.62
12	1986	55.70	49.14	52.68	49.31	32.59	30.98	0.00	21.95	33.20	45.48	61.08	56.13	488.25
13	1987	55.51	48.97	52.50	49.14	35.42	16.72	17.43	27.83	36.08	46.65	53.30	62.83	502.37
14	1988	61.23	49.75	51.49	41.74	41.67	16.21	16.90	35.22	42.44	52.76	52.28	47.51	509.19
15	1989	51.74	45.65	48.93	38.38	38.31	36.43	19.33	30.38	39.03	57.51	56.99	52.14	514.82
16	1990	53.06	46.81	50.18	46.97	39.37	19.20	0.00	31.31	31.34	51.41	58.35	61.23	489.22
17	1991	59.75	52.71	49.28	46.13	38.61	18.72	19.52	30.64	39.33	50.50	50.04	52.52	507.76
18	1992	53.27	55.73	57.68	53.99	47.08	29.39	0.00	0.00	24.81	51.62	41.64	49.93	465.16
19	1993	43.49	44.73	46.73	40.97	36.30	18.05	16.02	26.63	40.84	56.65	61.94	66.47	498.83
20	1994	53.52	44.96	51.29	44.45	42.71	36.66	27.40	32.74	35.15	50.80	46.04	55.73	521.46
21	1995	55.94	48.53	48.92	46.45	41.76	25.40	28.22	38.74	40.66	50.09	49.66	47.47	521.83
22	1996	58.32	53.77	56.30	49.28	39.68	22.73	13.89	27.80	39.04	47.38	47.35	49.71	505.26
23	1997	53.16	43.20	47.70	37.23	31.53	19.62	25.37	27.20	44.12	57.45	56.79	64.37	507.74
24	1998	59.19	53.31	57.42	48.53	34.07	27.24	24.22	30.30	37.35	46.19	44.40	51.94	514.17
25	1999	60.37	48.23	50.97	45.43	41.07	27.06	27.22	29.39	34.54	45.23	50.31	56.71	516.56
26	2000	55.52	50.72	53.62	49.37	41.87	15.12	1.67	26.48	42.56	43.79	54.15	55.74	490.59
27	2001	50.76	48.65	48.77	42.42	35.71	25.71	17.34	22.71	40.40	52.11	59.91	60.72	505.21
28	2002	56.43	49.03	53.66	43.72	36.36	31.78	6.49	22.78	36.52	47.45	53.98	60.25	498.46
29	2003	61.24	52.66	50.31	43.95	37.31	25.11	22.09	22.20	30.95	48.45	50.40	60.41	505.08
30	2004	52.62	51.97	53.17	45.83	30.30	17.44	17.99	27.41	42.00	50.55	53.32	61.59	504.19
31	2005	55.77	48.50	56.00	48.54	36.74	18.74	26.92	22.65	35.31	48.62	53.10	55.88	506.76
32	2006	54.22	51.99	55.00	47.73	35.14	24.45	14.77	29.10	33.34	49.57	50.35	58.66	504.30
33	2007	57.82	45.75	47.93	45.38	37.60	32.48	21.72	33.65	36.90	52.64	52.23	53.51	517.60
34	2008	55.19	51.39	51.39	45.06	30.71	26.69	19.60	29.22	33.34	50.56	59.21	57.33	509.67
35	2009	53.60	50.24	49.32	46.98	35.38	13.96	17.18	22.48	38.64	50.10	56.05	63.12	497.04
36	2010	55.34	52.28	53.44	48.24	38.49	33.34	25.06	32.99	37.78	46.22	47.65	51.73	522.55
37	2011	56.70	47.19	47.92	46.60	39.57	27.87	25.55	33.78	38.08	46.84	55.98	53.63	519.70
38	2012	49.48	46.39	49.68	44.41	38.01	30.75	27.58	30.79	40.51	52.52	55.71	56.09	521.93
39	2013	53.18	49.65	53.88	44.77	39.92	26.76	26.22	28.46	38.13	48.37	53.69	54.71	517.73
40	2014	49.70	44.33	45.35	39.84	34.20	30.34	21.30	30.61	36.83	44.49	49.00	54.26	480.23
41	2015	43.47	41.94	46.72	38.28	35.68	32.56	24.03	29.48	38.98	42.98	53.11	52.61	479.85
42	2016	58.03	51.07	58.14	44.05	34.20	22.69	25.73	28.71	34.47	42.42	46.58	54.17	500.24
43	2017	52.04	49.40	47.88	41.79	36.48	29.37	28.36	29.79	37.95	44.11	51.98	53.43	502.59
44	2018	47.15	47.51	46.30	40.69	31.81	22.47	22.63	26.06	34.98	46.70	53.58	52.05	471.93
PROMEDIO		54.94	49.84	52.22	46.16	36.86	25.53	18.08	26.99	36.76	49.45	52.75	56.22	505.81

APÉNDICE 7. PRECIPITACIÓN AREAL EN LA SUBCUENCA DE LA REPRESA EL PAÑE (mm) – Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	215.2	185.7	155.8	22.0	0.8	0.4	0.0	0.1	17.1	21.8	31.0	223.0	872.9
2	1976	251.9	130.3	141.5	35.8	18.2	1.3	4.0	30.9	39.1	10.0	15.9	105.1	784.0
3	1977	38.3	176.8	166.6	28.1	3.2	0.2	0.6	4.2	6.7	27.4	80.2	108.6	640.9
4	1978	265.0	39.2	94.0	29.3	1.4	2.5	0.0	0.1	7.1	25.1	81.1	89.8	634.6
5	1979	73.4	159.7	147.1	29.2	0.2	0.2	0.4	5.4	0.2	51.3	73.3	89.8	630.2
6	1980	27.3	77.9	143.8	24.7	0.5	0.1	5.6	15.6	9.0	41.9	40.1	82.1	468.6
7	1981	265.0	177.4	91.4	48.2	4.3	2.0	0.0	1.6	9.2	9.4	41.9	125.8	776.2
8	1982	148.3	104.6	142.8	56.3	0.4	0.3	0.1	0.0	39.0	47.8	78.4	66.2	684.2
9	1983	5.6	79.9	46.2	50.6	0.7	1.8	0.0	1.3	31.5	13.4	10.5	82.5	324.0
10	1984	143.8	243.0	139.0	31.8	3.7	0.1	0.2	3.6	1.6	58.4	71.2	125.4	821.8
11	1985	34.3	202.5	172.5	161.7	14.7	0.0	0.2	2.1	13.8	7.9	66.4	140.3	816.4
12	1986	250.3	180.1	158.7	71.2	31.5	0.1	6.0	21.3	4.9	12.8	38.3	107.6	882.8
13	1987	212.5	81.0	22.3	23.4	21.4	6.0	3.1	2.0	4.2	27.6	50.1	86.2	539.8
14	1988	207.8	96.5	122.4	69.7	8.0	0.3	0.0	0.2	21.8	17.6	11.4	129.7	685.4
15	1989	195.0	162.8	164.7	75.4	4.9	0.3	5.2	1.9	0.8	12.4	54.2	60.0	737.6
16	1990	49.4	95.2	90.8	41.3	28.9	0.0	0.0	3.1	0.2	25.9	89.7	137.5	562.0
17	1991	178.5	172.1	153.1	24.0	20.4	0.1	3.0	0.0	5.7	18.1	29.9	122.7	727.6
18	1992	62.6	100.1	12.3	22.2	1.5	0.0	0.0	50.8	0.0	28.6	47.2	97.8	423.1
19	1993	249.1	45.3	96.6	35.9	7.7	1.0	0.0	14.3	4.9	68.8	65.8	195.7	785.1
20	1994	331.3	181.1	89.2	95.2	26.6	0.0	0.0	0.0	4.1	21.0	57.0	127.3	932.8
21	1995	141.7	199.7	167.8	38.1	0.4	0.0	0.0	3.5	19.8	17.0	40.5	100.3	728.8
22	1996	225.2	175.0	118.8	72.6	36.9	0.0	0.3	23.2	10.3	7.3	51.9	155.0	876.5
23	1997	227.2	211.1	83.7	47.6	26.4	0.0	0.0	23.0	52.1	0.8	76.0	128.9	876.8
24	1998	306.9	164.9	94.9	39.8	0.0	0.3	0.0	0.4	0.0	20.5	75.5	122.3	825.5
25	1999	162.3	242.7	229.9	104.5	4.5	0.3	0.0	0.1	17.7	65.2	20.1	77.7	925.0
26	2000	239.9	189.5	147.1	15.6	7.5	3.7	1.2	5.4	0.0	73.7	9.0	136.5	829.1
27	2001	173.7	205.2	192.3	80.3	34.4	0.5	16.5	16.8	7.9	7.5	30.6	49.8	815.5
28	2002	151.1	237.9	150.8	61.2	27.5	2.0	14.1	3.1	4.0	51.3	97.5	147.3	947.8
29	2003	182.0	216.9	192.4	29.0	7.9	0.8	0.0	1.7	18.9	5.2	24.2	133.2	812.2
30	2004	226.3	214.2	149.4	63.7	0.0	3.5	4.9	6.0	21.7	4.1	19.6	76.5	789.9
31	2005	161.1	217.1	103.8	78.7	0.0	0.0	0.2	3.3	14.7	6.3	50.1	162.8	798.0
32	2006	215.5	192.1	213.6	32.5	0.0	1.1	0.0	5.1	19.4	27.4	101.2	127.6	935.5
33	2007	165.3	168.8	213.1	74.3	23.7	0.9	6.0	0.0	29.2	26.8	15.6	26.8	750.5
34	2008	244.2	154.4	74.2	6.6	7.4	0.8	1.3	0.3	0.0	26.0	31.6	184.9	731.7
35	2009	102.1	182.5	101.7	56.6	1.0	0.0	9.8	1.2	14.2	15.0	86.7	83.9	654.7
36	2010	245.8	235.1	75.1	27.2	5.1	0.4	0.2	1.2	2.2	9.2	2.3	176.6	780.4
37	2011	211.2	226.8	194.5	68.0	0.5	0.2	10.1	0.8	1.0	13.6	22.1	132.1	880.8
38	2012	238.3	260.3	129.1	92.2	7.5	0.4	0.9	1.1	8.7	30.1	34.7	202.2	1005.5
39	2013	151.5	176.8	66.0	4.1	7.2	7.6	9.0	2.5	0.0	35.0	33.4	152.6	645.7
40	2014	214.4	34.6	106.2	44.7	0.9	0.0	1.4	1.8	42.8	23.8	22.3	97.7	590.6
41	2015	155.5	120.5	111.2	115.6	6.7	0.0	0.2	4.3	17.6	15.9	37.8	89.6	674.8
42	2016	80.9	323.7	44.6	84.0	1.1	10.7	1.6	5.1	1.8	50.6	19.8	70.6	694.5
43	2017	208.5	159.7	230.9	44.1	30.7	1.8	10.3	0.0	14.8	13.2	25.5	126.3	865.8
44	2018	155.0	135.4	210.0	28.8	2.1	12.9	20.1	4.3	6.1	57.0	5.2	67.9	704.8
Total		177.1	166.7	130.7	52.0	10.0	1.5	3.1	6.2	12.4	26.1	44.7	116.6	747.1
DesvStd		77.5	62.6	54.0	31.5	11.5	2.8	4.9	10.1	12.9	19.0	27.1	41.9	29.6
Min		5.6	34.6	12.3	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	2.3	26.8	7.2
Max		331.3	323.7	230.9	161.7	36.9	12.9	20.1	50.8	52.1	73.7	101.2	223.0	134.9

APÉNDICE 8. CAUDAL NATURALIZADO (m³/s) – Periodo 1975 – 2018

Nro	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1	1975	2.69	15.11	6.64	1.38	0.92	0.46	0.10	0.05	0.02	0.27	0.20	3.18	2.58
2	1976	9.90	6.67	6.47	2.02	0.14	2.73	0.01	0.78	1.09	0.34	0.20	2.32	2.72
3	1977	2.38	6.23	8.92	0.84	0.38	0.13	0.04	0.07	3.64	1.06	1.55	1.60	2.24
4	1978	6.02	5.52	1.24	0.53	3.58	0.13	0.31	0.11	0.11	0.03	1.11	3.84	1.88
5	1979	6.83	5.29	7.90	1.75	0.20	0.04	0.03	0.14	0.12	0.87	0.63	1.81	2.13
6	1980	3.43	3.45	5.87	2.24	0.21	0.07	0.08	0.44	0.59	1.07	1.66	1.26	1.70
7	1981	6.19	8.79	11.68	3.19	0.47	0.55	0.42	1.12	0.79	0.79	0.67	1.66	3.03
8	1982	11.20	2.18	5.25	3.70	0.44	0.07	0.13	0.68	0.89	2.15	4.28	2.49	2.79
9	1983	0.88	0.96	1.57	1.40	0.51	0.27	0.17	0.20	0.11	0.23	0.12	0.19	0.55
10	1984	11.81	20.64	7.00	2.93	1.25	1.03	0.33	0.64	0.97	0.32	3.86	7.59	4.86
11	1985	3.87	11.90	0.43	0.35	0.31	0.70	1.07	0.62	0.86	0.65	2.17	2.23	2.10
12	1986	7.03	11.96	5.57	1.97	1.24	0.76	0.86	0.26	0.91	0.46	0.39	2.29	2.81
13	1987	11.76	2.24	0.55	0.76	0.49	0.30	0.49	0.24	0.02	0.06	0.10	1.01	1.50
14	1988	7.50	8.81	8.50	2.31	1.61	0.22	1.02	0.63	0.90	1.17	1.55	1.78	3.00
15	1989	4.65	5.33	7.02	5.48	0.81	0.63	1.23	1.29	0.96	0.55	0.87	1.69	2.54
16	1990	2.75	2.07	2.05	0.50	0.27	1.76	0.86	0.20	0.67	0.09	2.91	2.67	1.40
17	1991	6.43	6.35	8.30	1.58	1.34	1.33	0.89	1.17	1.06	0.98	0.68	0.49	2.55
18	1992	3.40	3.58	1.76	0.29	0.07	0.45	0.00	0.12	0.16	0.36	0.09	0.84	0.93
19	1993	9.61	3.25	6.44	1.38	0.68	0.22	1.03	1.31	1.41	1.70	2.79	6.72	3.05
20	1994	12.91	14.66	7.02	1.74	1.45	0.95	1.05	0.80	1.01	0.98	0.97	1.85	3.78
21	1995	2.50	4.97	7.68	2.06	0.87	0.91	0.87	1.22	1.34	0.96	0.76	0.27	2.03
22	1996	5.46	8.33	3.19	3.12	1.56	1.13	0.89	1.30	1.00	1.19	0.82	3.02	2.58
23	1997	8.67	12.76	4.88	2.39	0.52	0.81	1.12	1.18	1.19	1.14	1.60	2.81	3.26
24	1998	7.35	8.83	2.98	1.84	0.29	0.11	0.30	0.93	1.13	1.39	1.67	2.08	2.41
25	1999	2.62	12.64	15.35	5.97	1.44	0.20	0.23	0.31	0.18	1.80	1.07	0.64	3.54
26	2000	7.77	13.78	0.00	1.44	0.78	0.64	0.20	0.16	0.65	1.03	0.61	1.17	2.35
27	2001	11.71	14.13	11.11	5.00	1.07	0.12	0.22	0.20	0.34	0.88	0.54	1.07	3.87
28	2002	1.70	11.29	9.43	4.89	1.71	0.38	0.46	2.72	0.63	0.91	1.16	4.40	3.31
29	2003	5.23	8.48	7.05	1.15	1.16	1.14	1.13	1.55	1.50	0.74	0.38	2.19	2.64
30	2004	11.60	10.16	4.01	4.08	0.90	0.81	0.91	0.99	1.20	0.54	0.31	0.33	2.99
31	2005	2.55	11.74	2.68	2.30	0.34	0.68	0.60	0.79	0.36	0.17	0.20	0.95	1.95
32	2006	7.59	9.05	10.19	4.66	0.57	1.03	0.81	0.83	0.44	0.25	0.21	1.18	3.07
33	2007	6.83	6.79	6.43	2.67	1.65	1.16	1.27	0.55	0.49	0.66	0.33	1.85	2.56
34	2008	10.36	7.05	4.51	0.78	0.77	0.93	0.56	0.41	0.36	0.37	0.23	1.88	2.35
35	2009	3.76	5.83	5.74	2.28	0.40	0.25	0.29	0.34	0.35	0.37	0.85	2.49	1.91
36	2010	12.59	9.68	5.10	1.56	0.62	0.33	0.33	0.37	0.41	0.21	0.19	2.40	2.82
37	2011	5.14	14.51	7.76	3.43	0.78	0.44	0.56	0.39	0.36	0.36	0.24	3.28	3.10
38	2012	12.82	19.41	9.62	8.33	1.54	0.58	0.49	0.50	0.39	0.54	0.58	7.05	5.15
39	2013	8.01	8.26	10.70	0.76	0.42	0.47	0.66	0.31	0.32	0.48	0.46	2.70	2.80
40	2014	6.43	1.95	2.84	1.77	0.44	0.20	0.21	0.27	0.32	0.27	0.23	0.89	1.32
41	2015	4.54	7.61	4.33	5.04	1.32	0.35	0.28	0.28	0.36	0.42	0.86	1.04	2.20
42	2016	1.37	12.36	3.03	2.47	0.39	0.50	0.34	0.39	0.32	0.33	0.28	0.13	1.83
43	2017	8.63	4.62	15.38	4.27	1.08	0.70	0.40	0.29	0.28	0.36	0.50	1.98	3.21
44	2018	6.92	9.45	5.31	2.72	0.95	0.17	0.19	0.17	0.20	0.26	0.22	0.49	2.25
Media		6.67	8.61	6.13	2.53	0.86	0.61	0.53	0.62	0.69	0.68	0.93	2.13	2.58
DesvStd		3.48	4.63	3.62	1.72	0.63	0.51	0.38	0.52	0.61	0.48	0.97	1.68	1.60
Min		0.88	0.96	0.00	0.29	0.07	0.04	0.00	0.05	0.02	0.03	0.09	0.13	0.21
Max		12.91	20.64	15.38	8.33	3.58	2.73	1.27	2.72	3.64	2.15	4.28	7.59	7.10

**ANEXO 5. TABLA COTA – ÁREA – VOLUMEN,
REPRESA EL PAÑE**

COTA (msnm)	AREA (km2)	VOLUMEN (m3)
4,528.80	3.82758	0
4,528.81	3.83262	38,326
4,528.82	3.83912	76,717
4,528.83	3.84558	115,173
4,528.84	3.85200	153,693
4,528.85	3.85842	192,277
4,528.86	3.86480	230,925
4,528.87	3.87116	269,637
4,528.88	3.87749	308,412
4,528.89	3.88379	347,250
4,528.90	3.89006	386,150
4,528.91	3.89630	425,113
4,528.92	3.90251	464,139
4,528.93	3.90867	503,225
4,528.94	3.91785	542,404
4,528.95	3.92419	581,646
4,528.96	3.93052	620,951
4,528.97	3.93686	660,319
4,528.98	3.94344	699,754
4,528.99	3.94930	739,247
4,529.00	3.95515	778,798
4,529.01	3.96089	818,407
4,529.02	3.96662	858,073
4,529.03	3.97231	897,796
4,529.04	3.97819	937,578
4,529.05	3.98385	977,417
4,529.06	3.98949	1,017,312
4,529.07	3.99511	1,057,263
4,529.08	4.00070	1,097,270
4,529.09	4.00622	1,137,332
4,529.10	4.01163	1,177,448
4,529.11	4.01716	1,217,620
4,529.12	4.02268	1,257,847
4,529.13	4.02817	1,298,128
4,529.14	4.03360	1,338,464
4,529.15	4.03906	1,378,855
4,529.16	4.04442	1,419,299
4,529.17	4.04974	1,459,796
4,529.18	4.05569	1,500,353
4,529.19	4.06062	1,540,960
4,529.20	4.06546	1,581,614
4,529.21	4.07025	1,622,317
4,529.22	4.07502	1,663,067

4,529.23	5.60849	1,719,152
4,529.24	5.61965	1,775,348
4,529.25	5.63146	1,831,663
4,529.26	5.64763	1,888,139
4,529.27	5.65969	1,944,736
4,529.28	5.67160	2,001,452
4,529.29	5.68342	2,058,286
4,529.30	5.69513	2,115,237
4,529.31	5.70681	2,172,305
4,529.32	5.71843	2,229,490
4,529.33	5.73000	2,286,790
4,529.34	5.74157	2,344,205
4,529.35	5.75299	2,401,735
4,529.36	5.76443	2,459,380
4,529.37	5.77579	2,517,137
4,529.38	5.78711	2,575,009
4,529.39	5.79835	2,632,992
4,529.40	5.80944	2,691,086
4,529.41	5.82056	2,749,292
4,529.42	5.83154	2,807,607
4,529.43	5.84254	2,866,033
4,529.44	5.85352	2,924,568
4,529.45	5.86448	2,983,213
4,529.46	5.87542	3,041,967
4,529.47	5.88637	3,100,831
4,529.48	5.89728	3,159,804
4,529.49	5.90818	3,218,885
4,529.50	5.91922	3,278,078
4,529.51	5.92988	3,337,376
4,529.52	5.94055	3,396,782
4,529.53	5.95123	3,456,294
4,529.54	5.96186	3,515,913
4,529.55	5.97252	3,575,638
4,529.56	5.98487	3,635,487
4,529.57	5.99791	3,695,466
4,529.58	6.01007	3,755,566
4,529.59	6.02163	3,815,783
4,529.60	6.03609	3,876,144
4,529.61	6.04952	3,936,639
4,529.62	6.06441	3,997,283
4,529.63	6.08042	4,058,087
4,529.64	6.09541	4,119,041
4,529.65	6.11106	4,180,152
4,529.66	6.12917	4,241,443
4,529.67	6.14770	4,302,920
4,529.68	6.16690	4,364,589

4,529.69	6.18675	4,426,457	4,530.15	6.82129	7,430,022
4,529.70	6.20668	4,488,524	4,530.16	6.83328	7,498,355
4,529.71	6.22638	4,550,787	4,530.17	6.84549	7,566,810
4,529.72	6.24552	4,613,243	4,530.18	6.85699	7,635,380
4,529.73	6.26394	4,675,882	4,530.19	6.86821	7,704,062
4,529.74	6.28146	4,738,697	4,530.20	6.87941	7,772,856
4,529.75	6.29979	4,801,695	4,530.21	6.89047	7,841,761
4,529.76	6.31548	4,864,849	4,530.22	6.90146	7,910,775
4,529.77	6.33038	4,928,153	4,530.23	6.91238	7,979,899
4,529.78	6.34528	4,991,606	4,530.24	6.92324	8,049,132
4,529.79	6.35994	5,055,205	4,530.25	6.93402	8,118,472
4,529.80	6.37432	5,118,949	4,530.26	6.94483	8,187,920
4,529.81	6.39096	5,182,858	4,530.27	6.95554	8,257,475
4,529.82	6.40462	5,246,904	4,530.28	6.96611	8,327,137
4,529.83	6.41727	5,311,077	4,530.29	6.97673	8,396,904
4,529.84	6.42960	5,375,373	4,530.30	6.98727	8,466,777
4,529.85	6.44183	5,439,791	4,530.31	6.99774	8,536,754
4,529.86	6.45399	5,504,331	4,530.32	7.00814	8,606,835
4,529.87	6.46602	5,568,991	4,530.33	7.01846	8,677,020
4,529.88	6.47801	5,633,771	4,530.34	7.02868	8,747,307
4,529.89	6.48989	5,698,670	4,530.35	7.03884	8,817,695
4,529.90	6.50220	5,763,692	4,530.36	7.04893	8,888,184
4,529.91	6.51399	5,828,832	4,530.37	7.05899	8,958,774
4,529.92	6.52572	5,894,089	4,530.38	7.06891	9,029,463
4,529.93	6.53740	5,959,464	4,530.39	7.07956	9,100,259
4,529.94	6.54909	6,024,954	4,530.40	7.08918	9,171,151
4,529.95	6.56080	6,090,562	4,530.41	7.09895	9,242,140
4,529.96	6.57255	6,156,288	4,530.42	7.10854	9,313,226
4,529.97	6.58429	6,222,131	4,530.43	7.11831	9,384,409
4,529.98	6.59598	6,288,091	4,530.44	7.12822	9,455,691
4,529.99	6.60840	6,354,175	4,530.45	7.13826	9,527,074
4,530.00	6.62191	6,420,394	4,530.46	7.14836	9,598,557
4,530.01	6.63754	6,486,769	4,530.47	7.15855	9,670,143
4,530.02	6.65140	6,553,283	4,530.48	7.16861	9,741,829
4,530.03	6.66499	6,619,933	4,530.49	7.17859	9,813,615
4,530.04	6.67804	6,686,713	4,530.50	7.19057	9,885,520
4,530.05	6.69093	6,753,623	4,530.51	7.20038	9,957,524
4,530.06	6.70410	6,820,664	4,530.52	7.21009	10,029,625
4,530.07	6.71747	6,887,838	4,530.53	7.21969	10,101,822
4,530.08	6.73111	6,955,149	4,530.54	7.22928	10,174,115
4,530.09	6.74507	7,022,600	4,530.55	7.22876	10,246,402
4,530.10	6.75883	7,090,188	4,530.56	7.24818	10,318,884
4,530.11	6.77174	7,157,906	4,530.57	7.25746	10,391,459
4,530.12	6.78440	7,225,750	4,530.58	7.26663	10,464,125
4,530.13	6.79682	7,293,718	4,530.59	7.27576	10,536,883
4,530.14	6.80913	7,361,809	4,530.60	7.28484	10,609,731

4,530.61	7.29386	10,682,669	4,531.07	7.76035	14,142,795
4,530.62	7.30282	10,755,698	4,531.08	7.76900	14,220,485
4,530.63	7.31173	10,828,815	4,531.09	7.77761	14,298,261
4,530.64	7.32055	10,902,020	4,531.10	7.80024	14,376,264
4,530.65	7.32939	10,975,314	4,531.11	7.80994	14,454,363
4,530.66	7.33829	11,048,697	4,531.12	7.81950	14,532,558
4,530.67	7.34728	11,122,170	4,531.13	7.82899	14,610,848
4,530.68	7.35625	11,195,733	4,531.14	7.83839	14,689,232
4,530.69	7.36547	11,269,387	4,531.15	7.84775	14,767,709
4,530.70	7.37456	11,343,133	4,531.16	7.85691	14,846,279
4,530.71	7.38373	11,416,970	4,531.17	7.86598	14,924,938
4,530.72	7.39292	11,490,899	4,531.18	7.87501	15,003,688
4,530.73	7.40213	11,564,921	4,531.19	7.88282	15,082,517
4,530.74	7.41146	11,639,035	4,531.20	7.89258	15,161,442
4,530.75	7.42083	11,713,244	4,531.21	7.90127	15,240,455
4,530.76	7.43033	11,787,547	4,531.22	7.90973	15,319,552
4,530.77	7.43993	11,861,946	4,531.23	7.91808	15,398,733
4,530.78	7.44963	11,936,442	4,531.24	7.92931	15,478,026
4,530.79	7.45939	12,011,036	4,531.25	7.93769	15,557,403
4,530.80	7.46926	12,085,729	4,531.26	7.94608	15,636,864
4,530.81	7.47919	12,160,521	4,531.27	7.92439	15,716,108
4,530.82	7.48946	12,235,415	4,531.28	7.96273	15,795,735
4,530.83	7.50043	12,310,420	4,531.29	7.97090	15,875,444
4,530.84	7.51091	12,385,529	4,531.30	7.97916	15,955,236
4,530.85	7.52152	12,460,744	4,531.31	7.98747	16,035,110
4,530.86	7.54181	12,536,162	4,531.32	7.99576	16,115,068
4,530.87	7.55209	12,611,683	4,531.33	8.01034	16,195,172
4,530.88	7.56236	12,687,306	4,531.34	8.01915	16,275,363
4,530.89	7.57391	12,763,046	4,531.35	8.02761	16,355,639
4,530.90	7.58426	12,838,888	4,531.36	8.03616	16,436,001
4,530.91	7.59460	12,914,834	4,531.37	8.04576	16,516,458
4,530.92	7.60490	12,990,883	4,531.38	8.05438	16,597,002
4,530.93	7.61506	13,067,034	4,531.39	8.06306	16,677,633
4,530.94	7.62528	13,143,287	4,531.40	8.07178	16,758,350
4,530.95	7.63551	13,219,642	4,531.41	8.08049	16,839,155
4,530.96	7.44566	13,294,098	4,531.42	8.08924	16,920,048
4,530.97	7.66956	13,370,794	4,531.43	8.09791	17,001,027
4,530.98	7.67887	13,447,583	4,531.44	8.10752	17,082,102
4,530.99	7.68816	13,524,464	4,531.45	8.11605	17,163,263
4,531.00	7.69739	13,601,438	4,531.46	8.12451	17,244,508
4,531.01	7.70658	13,678,504	4,531.47	8.13286	17,325,836
4,531.02	7.71596	13,755,664	4,531.48	8.14117	17,407,248
4,531.03	7.72474	13,832,911	4,531.49	8.14942	17,488,742
4,531.04	7.73380	13,910,249	4,531.50	8.15767	17,570,319
4,531.05	7.74270	13,987,676	4,531.51	8.16598	17,651,979
4,531.06	7.75160	14,065,192	4,531.52	8.17423	17,733,721

4,531.53	8.18242	17,815,545	4,531.99	9.62783	21,715,719
4,531.54	8.19058	17,897,451	4,532.00	9.63909	21,812,110
4,531.55	8.19869	17,979,438	4,532.01	9.65143	21,908,624
4,531.56	8.20728	18,061,511	4,532.02	9.66328	22,005,257
4,531.57	8.21683	18,143,679	4,532.03	9.67490	22,102,006
4,531.58	8.22682	18,225,947	4,532.04	9.68652	22,198,871
4,531.59	8.23698	18,308,317	4,532.05	9.69816	22,295,852
4,531.60	8.24623	18,390,779	4,532.06	9.70983	22,392,951
4,531.61	8.25451	18,473,324	4,532.07	9.72147	22,490,165
4,531.62	8.27967	18,556,121	4,532.08	9.73319	22,587,497
4,531.63	8.28792	18,639,000	4,532.09	9.74528	22,684,950
4,531.64	8.29611	18,721,961	4,532.10	9.75735	22,782,524
4,531.65	8.30428	18,805,004	4,532.11	9.76926	22,880,216
4,531.66	8.31240	18,888,128	4,532.12	9.78127	22,978,029
4,531.67	8.32047	18,971,333	4,532.13	9.79328	23,075,962
4,531.68	8.32848	19,054,618	4,532.14	9.80529	23,174,015
4,531.69	8.33644	19,137,982	4,532.15	9.81740	23,272,188
4,531.70	8.34433	19,221,425	4,532.16	9.82952	23,370,484
4,531.71	8.35216	19,304,947	4,532.17	9.84162	23,468,900
4,531.72	8.35981	19,388,545	4,532.18	9.85379	23,567,438
4,531.73	8.36752	19,472,220	4,532.19	9.86591	23,666,097
4,531.74	8.37697	19,555,990	4,532.20	9.87817	23,764,879
4,531.75	8.38453	19,639,835	4,532.21	9.89277	23,863,806
4,531.76	8.39204	19,723,756	4,532.22	9.90466	23,962,853
4,531.77	8.39953	19,807,751	4,532.23	9.92132	24,062,066
4,531.78	8.40713	19,891,822	4,532.24	9.93435	24,161,410
4,531.79	8.41477	19,975,970	4,532.25	9.94701	24,260,880
4,531.80	8.42229	20,060,193	4,532.26	9.95956	24,360,475
4,531.81	8.42980	20,144,491	4,532.27	9.97223	24,460,198
4,531.82	8.43726	20,228,863	4,532.28	9.98495	24,560,047
4,531.83	8.44466	20,313,310	4,532.29	9.99759	24,660,023
4,531.84	8.25203	20,395,830	4,532.30	10.00998	24,760,123
4,531.85	8.46461	20,480,476	4,532.31	10.02225	24,860,345
4,531.86	8.47199	20,565,196	4,532.32	10.03475	24,960,693
4,531.87	8.47914	20,649,988	4,532.33	10.04746	25,061,167
4,531.88	8.48642	20,734,852	4,532.34	10.05856	25,161,753
4,531.89	8.49367	20,819,788	4,532.35	10.06962	25,262,449
4,531.90	8.50696	20,904,858	4,532.36	10.08058	25,363,255
4,531.91	8.51410	20,989,999	4,532.37	10.09149	25,464,170
4,531.92	8.52123	21,075,211	4,532.38	10.10251	25,565,195
4,531.93	8.52833	21,160,495	4,532.39	10.11344	25,666,329
4,531.94	8.53545	21,245,849	4,532.40	10.12424	25,767,572
4,531.95	8.54252	21,331,274	4,532.41	10.13495	25,868,921
4,531.96	9.59425	21,427,217	4,532.42	10.14572	25,970,378
4,531.97	9.60555	21,523,272	4,532.43	10.15638	26,071,942
4,531.98	9.61683	21,619,440	4,532.44	10.16686	26,173,611

4,532.45	10.17719	26,275,383	4,532.91	10.58893	31,055,481
4,532.46	10.18729	26,377,256	4,532.92	10.59715	31,161,453
4,532.47	10.19721	26,479,228	4,532.93	10.60533	31,267,506
4,532.48	10.20710	26,581,299	4,532.94	10.61350	31,373,641
4,532.49	10.21647	26,683,464	4,532.95	10.62248	31,479,866
4,532.50	10.22596	26,785,723	4,532.96	10.63060	31,586,172
4,532.51	10.23545	26,888,078	4,532.97	10.63872	31,692,559
4,532.52	10.24486	26,990,526	4,532.98	10.64683	31,799,027
4,532.53	10.25418	27,093,068	4,532.99	10.65493	31,905,577
4,532.54	10.26352	27,195,703	4,533.00	10.66295	32,012,206
4,532.55	10.27257	27,298,429	4,533.01	10.67100	32,118,916
4,532.56	10.28159	27,401,245	4,533.02	10.67908	32,225,707
4,532.57	10.29058	27,504,151	4,533.03	10.68715	32,332,578
4,532.58	10.29950	27,607,145	4,533.04	10.69523	32,439,531
4,532.59	10.30840	27,710,229	4,533.05	10.71414	32,546,672
4,532.60	10.31994	27,813,429	4,533.06	10.72211	32,653,893
4,532.61	10.32947	27,916,724	4,533.07	10.73005	32,761,194
4,532.62	10.33814	28,020,105	4,533.08	10.73796	32,868,573
4,532.63	10.34690	28,123,574	4,533.09	10.74587	32,976,032
4,532.64	10.35544	28,227,128	4,533.10	10.75395	33,083,571
4,532.65	10.36405	28,330,769	4,533.11	10.76174	33,191,189
4,532.66	10.37264	28,434,495	4,533.12	10.76949	33,298,884
4,532.67	10.38208	28,538,316	4,533.13	10.77715	33,406,655
4,532.68	10.39086	28,642,225	4,533.14	10.78487	33,514,504
4,532.69	10.39935	28,746,218	4,533.15	10.79250	33,622,429
4,532.70	10.40781	28,850,296	4,533.16	10.80013	33,730,430
4,532.71	10.41628	28,954,459	4,533.17	10.80777	33,838,508
4,532.72	10.42473	29,058,706	4,533.18	10.81542	33,946,662
4,532.73	10.43314	29,163,038	4,533.19	10.82304	34,054,892
4,532.74	10.44158	29,267,454	4,533.20	10.83067	34,163,199
4,532.75	10.45001	29,371,954	4,533.21	10.83830	34,271,582
4,532.76	10.45840	29,476,538	4,533.22	10.84592	34,380,041
4,532.77	10.46679	29,581,205	4,533.23	10.85355	34,488,577
4,532.78	10.47515	29,685,957	4,533.24	10.86117	34,597,188
4,532.79	10.48352	29,790,792	4,533.25	10.86877	34,705,876
4,532.80	10.49185	29,895,711	4,533.26	10.87625	34,814,639
4,532.81	10.50022	30,000,713	4,533.27	10.88393	34,923,478
4,532.82	10.50859	30,105,799	4,533.28	10.89140	35,032,392
4,532.83	10.51694	30,210,968	4,533.29	10.89901	35,141,382
4,532.84	10.52527	30,316,221	4,533.30	10.90654	35,250,447
4,532.85	10.53360	30,421,557	4,533.31	10.91405	35,359,588
4,532.86	10.54186	30,526,975	4,533.32	10.92161	35,468,804
4,532.87	10.55012	30,632,477	4,533.33	10.92910	35,578,095
4,532.88	10.55845	30,738,061	4,533.34	10.93778	35,687,473
4,532.89	10.57241	30,843,785	4,533.35	10.94518	35,796,925
4,532.90	10.58067	30,949,592	4,533.36	10.95258	35,906,450

4,533.37	10.95999	36,016,050	4,533.83	11.29019	41,136,742
4,533.38	10.96733	36,125,724	4,533.84	11.29680	41,249,710
4,533.39	10.97459	36,235,469	4,533.85	11.30338	41,362,744
4,533.40	10.98204	36,345,290	4,533.86	11.30995	41,475,843
4,533.41	10.98939	36,455,184	4,533.87	11.31644	41,589,008
4,533.42	10.99676	36,565,151	4,533.88	11.32292	41,702,237
4,533.43	11.00487	36,675,200	4,533.89	11.33080	41,815,545
4,533.44	11.01219	36,785,322	4,533.90	11.33932	41,928,938
4,533.45	11.01954	36,895,517	4,533.91	11.34583	42,042,396
4,533.46	11.02691	37,005,786	4,533.92	11.35230	42,155,919
4,533.47	11.03425	37,116,129	4,533.93	11.35873	42,269,507
4,533.48	11.04161	37,226,545	4,533.94	11.36518	42,383,158
4,533.49	11.04894	37,337,034	4,533.95	11.37185	42,496,877
4,533.50	11.05625	37,447,597	4,533.96	11.37830	42,610,660
4,533.51	11.06469	37,558,244	4,533.97	11.38473	42,724,507
4,533.52	11.07192	37,668,963	4,533.98	11.39117	42,838,419
4,533.53	11.07929	37,779,756	4,533.99	11.39761	42,952,395
4,533.54	11.08663	37,890,622	4,534.00	11.40407	43,066,436
4,533.55	11.09392	38,001,561	4,534.01	11.41052	43,180,541
4,533.56	11.10122	38,112,574	4,534.02	11.41698	43,294,711
4,533.57	11.10852	38,223,659	4,534.03	11.42339	43,408,945
4,533.58	11.11577	38,334,816	4,534.04	11.42984	43,523,243
4,533.59	11.12302	38,446,047	4,534.05	11.43631	43,637,606
4,533.60	11.13029	38,557,350	4,534.06	11.44274	43,752,034
4,533.61	11.13747	38,668,724	4,534.07	11.44917	43,866,525
4,533.62	11.14470	38,780,171	4,534.08	11.45556	43,981,081
4,533.63	11.15182	38,891,689	4,534.09	11.46201	44,095,701
4,533.64	11.15892	39,003,279	4,534.10	11.46846	44,210,386
4,533.65	11.16606	39,114,939	4,534.11	11.47594	44,325,145
4,533.66	11.17316	39,226,671	4,534.12	11.48238	44,439,969
4,533.67	11.18026	39,338,473	4,534.13	11.48885	44,554,857
4,533.68	11.18736	39,450,347	4,534.14	11.49547	44,669,812
4,533.69	11.19433	39,562,290	4,534.15	11.50191	44,784,831
4,533.70	11.20150	39,674,305	4,534.16	11.50841	44,899,915
4,533.71	11.20840	39,786,389	4,534.17	11.51485	45,015,064
4,533.72	11.21534	39,898,543	4,534.18	11.52130	45,130,277
4,533.73	11.22230	40,010,766	4,534.19	11.52775	45,245,554
4,533.74	11.22913	40,123,057	4,534.20	11.53417	45,360,896
4,533.75	11.23598	40,235,417	4,534.21	11.54062	45,476,302
4,533.76	11.24284	40,347,845	4,534.22	11.54705	45,591,773
4,533.77	11.24969	40,460,342	4,534.23	11.55348	45,707,307
4,533.78	11.25646	40,572,907	4,534.24	11.55990	45,822,906
4,533.79	11.26323	40,685,539	4,534.25	11.56631	45,938,569
4,533.80	11.26991	40,798,238	4,534.26	11.57268	46,054,296
4,533.81	11.27661	40,911,004	4,534.27	11.57909	46,170,087
4,533.82	11.28360	41,023,840	4,534.28	11.58546	46,285,942

4,534.29	11.59184	46,401,860
4,534.30	11.59971	46,517,857
4,534.31	11.60589	46,633,916
4,534.32	11.61211	46,750,037
4,534.33	11.61827	46,866,220
4,534.34	11.62995	46,982,519
4,534.35	11.63603	47,098,880
4,534.36	11.64209	47,215,300
4,534.37	11.64804	47,331,781
4,534.38	11.65398	47,448,321
4,534.39	11.65995	47,564,920
4,534.40	11.66573	47,681,577
4,534.41	11.67165	47,798,294
4,534.42	11.67726	47,915,067
4,534.43	11.68316	48,031,898
4,534.44	11.68889	48,148,787
4,534.45	11.69460	48,265,733
4,534.46	11.70114	48,382,744
4,534.47	11.70759	48,499,820
4,534.48	11.71323	48,616,953
4,534.49	11.71884	48,734,141
4,534.50	11.72444	48,851,385
4,534.51	11.73006	48,968,686
4,534.52	11.78181	49,086,504
4,534.53	11.78791	49,204,383
4,534.54	11.79401	49,322,323
4,534.55	11.80007	49,440,324
4,534.56	11.80610	49,558,385
4,534.57	11.81209	49,676,506
4,534.58	11.81804	49,794,686
4,534.59	11.82397	49,912,926
4,534.60	11.82986	50,031,225
4,534.61	11.83574	50,149,582
4,534.62	11.84513	50,268,033
4,534.63	11.85095	50,386,543
4,534.64	11.85672	50,505,110
4,534.65	11.86253	50,623,735
4,534.66	11.86825	50,742,418
4,534.67	11.87402	50,861,158
4,534.68	11.87974	50,979,955
4,534.69	11.88547	51,098,810
4,534.70	11.89120	51,217,722
4,534.71	11.89875	51,336,709
4,534.72	11.90642	51,455,774
4,534.73	11.91224	51,574,896
4,534.74	11.91795	51,694,076

4,534.75	11.92378	51,813,313
4,534.76	11.92958	51,932,609
4,534.77	11.93538	52,051,963
4,534.78	11.94096	52,171,373
4,534.79	11.94680	52,290,841
4,534.80	11.95262	52,410,367
4,534.81	11.95873	52,529,954
4,534.82	11.96453	52,649,599
4,534.83	11.97034	52,769,303
4,534.84	11.97613	52,889,064
4,534.85	11.98189	53,008,883
4,534.86	11.98767	53,128,760
4,534.87	12.00387	53,248,798
4,534.88	12.00958	53,368,894
4,534.89	12.01518	53,489,046
4,534.90	12.02086	53,609,254
4,534.91	12.02657	53,729,520
4,534.92	12.03222	53,849,842
4,534.93	12.03789	53,970,221
4,534.94	12.04355	54,090,657
4,534.95	12.04918	54,211,149
4,534.96	12.05480	54,331,697
4,534.97	12.06388	54,452,335
4,534.98	12.06973	54,573,033
4,534.99	12.07554	54,693,788
4,535.00	12.08130	54,814,601
4,535.01	12.08708	54,935,472
4,535.02	12.09282	55,056,400
4,535.03	12.09852	55,177,385
4,535.04	12.10414	55,298,427
4,535.05	12.10985	55,419,525
4,535.06	12.11550	55,540,680
4,535.07	12.12327	55,661,913
4,535.08	12.12891	55,783,202
4,535.09	12.13455	55,904,547
4,535.10	12.14018	56,025,949
4,535.11	12.14576	56,147,407
4,535.12	12.15142	56,268,921
4,535.13	12.15697	56,390,491
4,535.14	12.16255	56,512,116
4,535.15	12.16813	56,633,797
4,535.16	12.17371	56,755,535
4,535.17	12.17926	56,877,327
4,535.18	12.18482	56,999,175
4,535.19	12.19031	57,121,078
4,535.20	12.19584	57,243,037

4,535.21	12.20139	57,365,051	4,535.67	12.50269	63,056,942
4,535.22	12.20687	57,487,119	4,535.68	12.51228	63,182,065
4,535.23	12.21463	57,609,266	4,535.69	12.51734	63,307,238
4,535.24	12.22019	57,731,468	4,535.70	12.52238	63,432,462
4,535.25	12.22572	57,853,725	4,535.71	12.52740	63,557,736
4,535.26	12.25654	57,976,290	4,535.72	12.53241	63,683,060
4,535.27	12.26251	58,098,915	4,535.73	12.53741	63,808,434
4,535.28	12.26840	58,221,599	4,535.74	12.54240	63,933,858
4,535.29	12.27422	58,344,341	4,535.75	12.54737	64,059,332
4,535.30	12.29652	58,467,307	4,535.76	12.55232	64,184,855
4,535.31	12.30220	58,590,329	4,535.77	12.55726	64,310,428
4,535.32	12.30792	58,713,408	4,535.78	12.56216	64,436,049
4,535.33	12.31364	58,836,544	4,535.79	12.56709	64,561,720
4,535.34	12.31932	58,959,737	4,535.80	12.57199	64,687,440
4,535.35	12.32497	59,082,987	4,535.81	12.57689	64,813,209
4,535.36	12.33064	59,206,293	4,535.82	12.58172	64,939,026
4,535.37	12.33662	59,329,660	4,535.83	12.58654	65,064,892
4,535.38	12.34211	59,453,081	4,535.84	12.59134	65,190,805
4,535.39	12.34757	59,576,557	4,535.85	12.59614	65,316,767
4,535.40	12.35303	59,700,087	4,535.86	12.60092	65,442,776
4,535.41	12.35847	59,823,672	4,535.87	12.60574	65,568,833
4,535.42	12.36389	59,947,310	4,535.88	12.61036	65,694,937
4,535.43	12.36932	60,071,004	4,535.89	12.61523	65,821,089
4,535.44	12.37471	60,194,751	4,535.90	12.62001	65,947,289
4,535.45	12.38129	60,318,564	4,535.91	12.62480	66,073,537
4,535.46	12.38684	60,442,432	4,535.92	12.63054	66,199,843
4,535.47	12.39234	60,566,355	4,535.93	12.63571	66,326,200
4,535.48	12.39782	60,690,334	4,535.94	12.64051	66,452,605
4,535.49	12.40786	60,814,412	4,535.95	12.64534	66,579,058
4,535.50	12.41322	60,938,544	4,535.96	12.65017	66,705,560
4,535.51	12.41860	61,062,730	4,535.97	12.65502	66,832,110
4,535.52	12.42396	61,186,970	4,535.98	12.66423	66,958,752
4,535.53	12.42970	61,311,267	4,535.99	12.66899	67,085,442
4,535.54	12.43516	61,435,619	4,536.00	12.67370	67,212,179
4,535.55	12.44037	61,560,022	4,536.01	12.67845	67,338,964
4,535.56	12.44568	61,684,479	4,536.02	12.68321	67,465,796
4,535.57	12.45095	61,808,989	4,536.03	12.68796	67,592,675
4,535.58	12.45623	61,933,551	4,536.04	12.69270	67,719,602
4,535.59	12.46143	62,058,165	4,536.05	12.69744	67,846,577
4,535.60	12.46666	62,182,832	4,536.06	12.70217	67,973,598
4,535.61	12.47184	62,307,550	4,536.07	12.70694	68,100,668
4,535.62	12.47702	62,432,320	4,536.08	12.71168	68,227,785
4,535.63	12.48217	62,557,142	4,536.09	12.71649	68,354,949
4,535.64	12.48732	62,682,015	4,536.10	12.72130	68,482,162
4,535.65	12.49244	62,806,940	4,536.11	12.72611	68,609,424
4,535.66	12.49757	62,931,915	4,536.12	12.73094	68,736,733

4,536.13	12.73578	68,864,091	4,536.59	12.95223	74,777,194
4,536.14	12.74060	68,991,497	4,536.60	12.95653	74,906,759
4,536.15	12.74546	69,118,951	4,536.61	12.96082	75,036,367
4,536.16	12.75570	69,246,508	4,536.62	12.96510	75,166,018
4,536.17	12.76060	69,374,114	4,536.63	12.96936	75,295,712
4,536.18	12.76547	69,501,769	4,536.64	12.97364	75,425,448
4,536.19	12.77029	69,629,472	4,536.65	12.97790	75,555,227
4,536.20	12.77509	69,757,223	4,536.66	12.98250	75,685,052
4,536.21	12.97982	69,887,021	4,536.67	12.98676	75,814,920
4,536.22	12.78453	70,014,866	4,536.68	12.99101	75,944,830
4,536.23	12.78923	70,142,758	4,536.69	12.99528	76,074,783
4,536.24	12.79383	70,270,697	4,536.70	12.99952	76,204,778
4,536.25	12.79846	70,398,681	4,536.71	13.00394	76,334,817
4,536.26	12.80305	70,526,712	4,536.72	13.00816	76,464,899
4,536.27	12.80765	70,654,788	4,536.73	13.01238	76,595,022
4,536.28	12.81224	70,782,911	4,536.74	13.01689	76,725,191
4,536.29	12.81682	70,911,079	4,536.75	13.02102	76,845,402
4,536.30	12.82138	71,039,293	4,536.76	13.02522	76,975,654
4,536.31	12.82594	71,167,552	4,536.77	13.02939	77,105,948
4,536.32	12.83050	71,295,857	4,536.78	13.03358	77,236,283
4,536.33	12.83503	71,424,208	4,536.79	13.03775	77,366,661
4,536.34	12.83956	71,552,603	4,536.80	13.04188	77,497,080
4,536.35	12.84408	71,681,044	4,536.81	13.04603	77,627,540
4,536.36	12.84861	71,809,530	4,536.82	13.05016	77,758,042
4,536.37	12.85290	71,938,059	4,536.83	13.05429	77,888,584
4,536.38	12.85732	72,066,632	4,536.84	13.05840	78,019,168
4,536.39	12.86178	72,195,250	4,536.85	13.06252	78,149,794
4,536.40	12.86623	72,323,912	4,536.86	13.06659	78,280,460
4,536.41	12.87073	72,452,620	4,536.87	13.07069	78,411,166
4,536.42	12.87521	72,581,372	4,536.88	13.07476	78,541,914
4,536.43	12.87969	72,710,168	4,536.89	13.07884	78,672,702
4,536.44	12.88414	72,839,010	4,536.90	13.08292	78,803,532
4,536.45	12.88860	72,967,896	4,536.91	13.08699	78,934,402
4,536.46	12.89306	73,096,826	4,536.92	13.09107	79,065,312
4,536.47	12.89748	73,225,801	4,536.93	13.09514	79,196,264
4,536.48	12.90192	73,354,821	4,536.94	13.09966	79,327,260
4,536.49	12.90904	73,483,911	4,536.95	13.10374	79,458,298
4,536.50	12.91338	73,613,045	4,536.96	13.10781	79,589,376
4,536.51	12.91773	73,742,222	4,536.97	13.11186	79,720,494
4,536.52	12.92206	73,871,442	4,536.98	13.11586	79,851,653
4,536.53	12.92642	74,000,707	4,536.99	13.11988	79,982,852
4,536.54	12.93069	74,130,014	4,537.00	13.12387	80,114,090
4,536.55	12.93499	74,259,363	4,537.01	13.12785	80,245,369
4,536.56	12.93929	74,388,756	4,537.02	13.13184	80,376,687
4,536.57	12.94358	74,518,192	4,537.03	13.13584	80,508,046
4,536.58	12.94793	74,647,671	4,537.04	13.13983	80,639,444

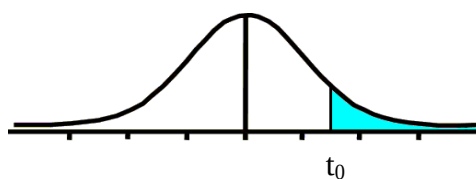
4,537.05	13.14381	80,770,882	4,537.51	13.32653	86,860,114
4,537.06	13.14776	80,902,360	4,537.52	13.33040	86,993,418
4,537.07	13.15168	81,033,877	4,537.53	13.33441	87,126,762
4,537.08	13.15563	81,165,433	4,537.54	13.33816	87,260,144
4,537.09	13.15955	81,297,028	4,537.55	13.34223	87,393,566
4,537.10	13.16369	81,428,665	4,537.56	13.34593	87,527,026
4,537.11	13.16742	81,560,339	4,537.57	13.57428	87,662,768
4,537.12	13.17249	81,692,064	4,537.58	13.57795	87,798,548
4,537.13	13.17648	81,823,829	4,537.59	13.58160	87,934,364
4,537.14	13.18037	81,955,633	4,537.60	13.58525	88,070,216
4,537.15	13.18427	82,087,475	4,537.61	13.58889	88,206,105
4,537.16	13.18819	82,219,357	4,537.62	13.59255	88,342,031
4,537.17	13.19207	82,351,278	4,537.63	13.59619	88,477,993
4,537.18	13.19595	82,483,238	4,537.64	13.59986	88,613,991
4,537.19	13.19984	82,615,236	4,537.65	13.60350	88,750,026
4,537.20	13.20372	82,747,273	4,537.66	13.60715	88,886,098
4,537.21	13.20761	82,879,349	4,537.67	13.61081	89,022,206
4,537.22	13.21210	83,011,470	4,537.68	13.61447	89,158,350
4,537.23	13.21600	83,143,630	4,537.69	13.61813	89,294,532
4,537.24	13.21987	83,275,829	4,537.70	13.62177	89,430,749
4,537.25	13.22375	83,408,066	4,537.71	13.62543	89,567,004
4,537.26	13.22761	83,540,342	4,537.72	13.62909	89,703,295
4,537.27	13.23152	83,672,658	4,537.73	13.63276	89,839,622
4,537.28	13.23542	83,805,012	4,537.74	13.63642	89,975,986
4,537.29	13.23931	83,937,405	4,537.75	13.64007	90,112,387
4,537.30	13.24321	84,069,837	4,537.76	13.64375	90,248,825
4,537.31	13.24705	84,202,308	4,537.77	13.64741	90,385,299
4,537.32	13.25095	84,334,817	4,537.78	13.65105	90,521,809
4,537.33	13.25483	84,467,365	4,537.79	13.65499	90,658,359
4,537.34	13.25874	84,599,953	4,537.80	13.65837	90,794,943
4,537.35	13.26261	84,732,579	4,537.81	13.66204	90,931,563
4,537.36	13.26651	84,865,244	4,537.82	13.66572	91,068,220
4,537.37	13.27188	84,997,963	4,537.83	13.66940	91,204,914
4,537.38	13.27579	85,130,721	4,537.84	13.67297	91,341,644
4,537.39	13.27961	85,263,517	4,537.85	13.67674	91,478,411
4,537.40	13.28349	85,396,352	4,537.86	13.68041	91,615,215
4,537.41	13.28737	85,529,225	4,537.87	13.68410	91,752,056
4,537.42	13.29122	85,662,138	4,537.88	13.68816	91,888,938
4,537.43	13.29510	85,795,089	4,537.89	13.69196	92,025,858
4,537.44	13.29899	85,928,078	4,537.90	13.69689	92,162,827
4,537.45	13.30287	86,061,107	4,537.91	13.70064	92,299,833
4,537.46	13.30676	86,194,175	4,537.92	13.70440	92,436,877
4,537.47	13.31104	86,327,285	4,537.93	13.70815	92,573,958
4,537.48	13.31491	86,460,434	4,537.94	13.71190	92,711,077
4,537.49	13.31879	86,593,622	4,537.95	13.71566	92,848,234
4,537.50	13.32267	86,726,849	4,537.96	13.71940	92,985,428

4,537.97	13.72316	93,122,660	4,538.24	13.82608	96,842,250
4,537.98	13.72693	93,259,929	4,538.25	13.82983	96,980,549
4,537.99	13.73069	93,397,236	4,538.26	13.83359	97,118,885
4,538.00	13.73445	93,534,580	4,538.27	13.83742	97,257,259
4,538.01	13.73814	93,671,962	4,538.28	13.84124	97,395,671
4,538.02	13.74193	93,809,381	4,538.29	13.84495	97,534,121
4,538.03	13.74566	93,946,838	4,538.30	13.84872	97,672,608
4,538.04	13.74944	94,084,332	4,538.31	13.85356	97,811,143
4,538.05	13.75323	94,221,864	4,538.32	13.85731	97,949,717
4,538.06	13.75701	94,359,434	4,538.33	13.86124	98,088,329
4,538.07	13.76080	94,497,042	4,538.34	13.86493	98,226,978
4,538.08	13.76460	94,634,688	4,538.35	13.86872	98,365,665
4,538.09	13.76840	94,772,372	4,538.36	13.87249	98,504,390
4,538.10	13.77229	94,910,095	4,538.37	13.87645	98,643,155
4,538.11	13.77607	95,047,856	4,538.38	13.88113	98,781,966
4,538.12	13.77987	95,185,655	4,538.39	13.88514	98,920,817
4,538.13	13.78366	95,323,491	4,538.40	13.88904	99,059,708
4,538.14	13.78773	95,461,369	4,538.41	13.89315	99,198,639
4,538.15	13.79148	95,599,283	4,538.42	13.89695	99,337,609
4,538.16	13.79527	95,737,236	4,538.43	13.90119	99,476,621
4,538.17	13.79907	95,875,227	4,538.44	13.90556	99,615,676
4,538.18	13.80288	96,013,256	4,538.45	13.90932	99,754,769
4,538.19	13.80709	96,151,327	4,538.46	13.91393	99,893,909
4,538.20	13.81087	96,289,435	4,538.47	13.91769	100,033,086
4,538.21	13.81468	96,427,582	4,538.48	13.92134	100,172,299
4,538.22	13.81847	96,565,767	4,538.49	13.92505	100,311,550
4,538.23	13.82229	96,703,990	4,538.50	13.92866	100,450,836



ANEXO 6. TABLAS ESTADÍSTICAS

APÉNDICE 1. TABLA t – Student

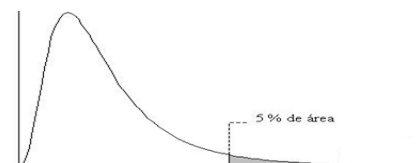


Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951

44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3007	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800



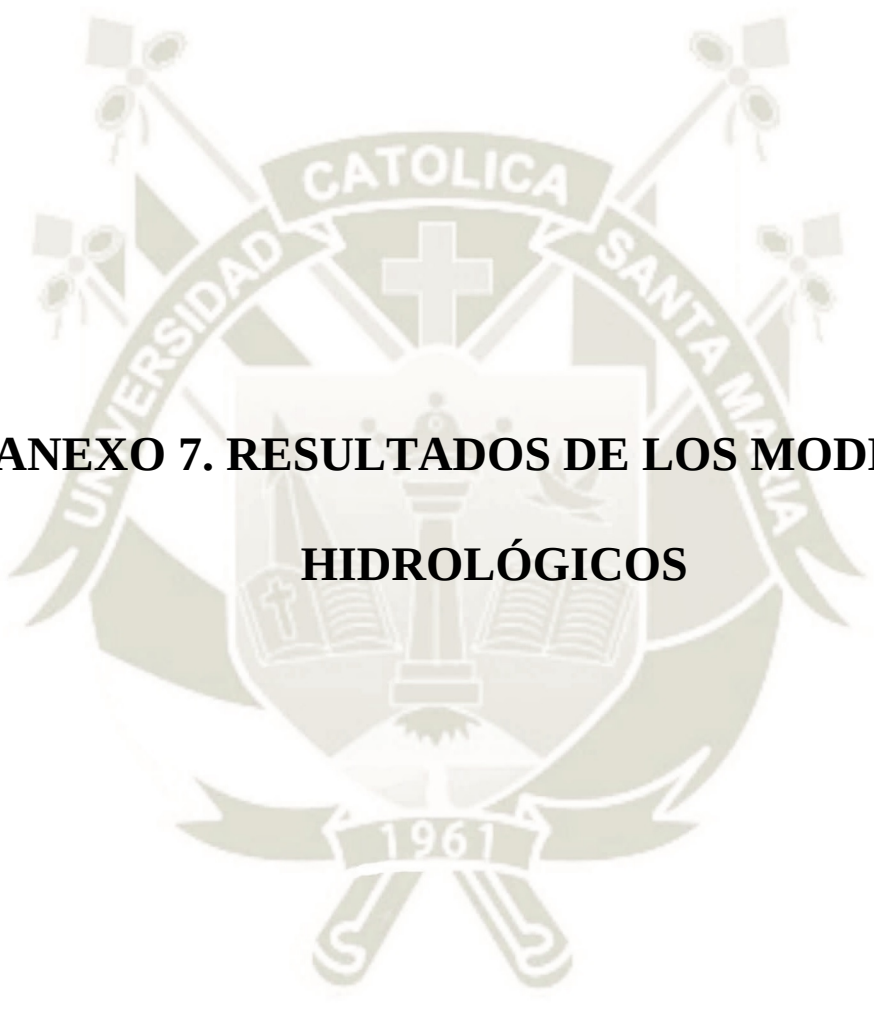
APÉNDICE 2. TABLA F de Fisher



g.d.l.	Grados de libertad del Numerador															g.d.l.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374	2,342	2,314	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340	2,308	2,280	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,175	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,621	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,323	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,313	2,244	2,189	2,142	2,103	2,070	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,303	2,235	2,179	2,133	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,294	2,225	2,170	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,285	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,249	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,167	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,305	2,191	2,103	2,032	1,975	1,927	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

g.d.l	Grados de libertad del Numerador															g.d.l
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	246,5	246,9	247,3	247,7	248,0	248,3	248,6	248,8	249,1	249,3	249,5	249,6	249,8	250,0	250,1	1
2	19,433	19,437	19,440	19,443	19,446	19,448	19,450	19,452	19,454	19,456	19,457	19,459	19,460	19,461	19,462	2
3	8,692	8,683	8,675	8,667	8,660	8,654	8,648	8,643	8,639	8,634	8,630	8,626	8,623	8,620	8,617	3
4	5,844	5,832	5,821	5,811	5,803	5,795	5,787	5,781	5,774	5,769	5,763	5,759	5,754	5,750	5,746	4
5	4,604	4,590	4,579	4,568	4,558	4,549	4,541	4,534	4,527	4,521	4,515	4,510	4,505	4,500	4,496	5
6	3,922	3,908	3,896	3,884	3,874	3,865	3,856	3,849	3,841	3,835	3,829	3,823	3,818	3,813	3,808	6
7	3,494	3,480	3,467	3,455	3,445	3,435	3,426	3,418	3,410	3,404	3,397	3,391	3,386	3,381	3,376	7
8	3,202	3,187	3,173	3,161	3,150	3,140	3,131	3,123	3,115	3,108	3,102	3,095	3,090	3,084	3,079	8
9	2,989	2,974	2,960	2,948	2,936	2,926	2,917	2,908	2,900	2,893	2,886	2,880	2,874	2,869	2,864	9
10	2,828	2,812	2,798	2,785	2,774	2,764	2,754	2,745	2,737	2,730	2,723	2,716	2,710	2,705	2,700	10
11	2,701	2,685	2,671	2,658	2,646	2,636	2,626	2,617	2,609	2,601	2,594	2,588	2,582	2,576	2,570	11
12	2,599	2,583	2,568	2,555	2,544	2,533	2,523	2,514	2,505	2,498	2,491	2,484	2,478	2,472	2,466	12
13	2,515	2,499	2,484	2,471	2,459	2,448	2,438	2,429	2,420	2,412	2,405	2,398	2,392	2,386	2,380	13
14	2,445	2,428	2,413	2,400	2,388	2,377	2,367	2,357	2,349	2,341	2,333	2,326	2,320	2,314	2,308	14
15	2,385	2,368	2,353	2,340	2,328	2,316	2,306	2,297	2,288	2,280	2,272	2,265	2,259	2,253	2,247	15
16	2,333	2,317	2,302	2,288	2,276	2,264	2,254	2,244	2,235	2,227	2,220	2,212	2,206	2,200	2,194	16
17	2,289	2,272	2,257	2,243	2,230	2,219	2,208	2,199	2,190	2,181	2,174	2,167	2,160	2,154	2,148	17
18	2,250	2,233	2,217	2,203	2,191	2,179	2,168	2,159	2,150	2,141	2,134	2,126	2,119	2,113	2,107	18
19	2,215	2,198	2,182	2,168	2,155	2,144	2,133	2,123	2,114	2,106	2,098	2,090	2,084	2,077	2,071	19
20	2,184	2,167	2,151	2,137	2,124	2,112	2,102	2,092	2,082	2,074	2,066	2,059	2,052	2,045	2,039	20
21	2,156	2,139	2,123	2,109	2,096	2,084	2,073	2,063	2,054	2,045	2,037	2,030	2,023	2,016	2,010	21
22	2,131	2,114	2,098	2,084	2,071	2,059	2,048	2,038	2,028	2,020	2,012	2,004	1,997	1,990	1,984	22
23	2,109	2,091	2,075	2,061	2,048	2,036	2,025	2,014	2,005	1,996	1,988	1,981	1,973	1,967	1,961	23
24	2,088	2,070	2,054	2,040	2,027	2,015	2,003	1,993	1,984	1,975	1,967	1,959	1,952	1,945	1,939	24
25	2,069	2,051	2,035	2,021	2,007	1,995	1,984	1,974	1,964	1,955	1,947	1,939	1,932	1,926	1,919	25
26	2,052	2,034	2,018	2,003	1,990	1,978	1,966	1,956	1,946	1,938	1,929	1,921	1,914	1,907	1,901	26
27	2,036	2,018	2,002	1,987	1,974	1,961	1,950	1,940	1,930	1,921	1,913	1,905	1,898	1,891	1,884	27
28	2,021	2,003	1,987	1,972	1,959	1,946	1,935	1,924	1,915	1,906	1,897	1,889	1,882	1,875	1,869	28
29	2,007	1,989	1,973	1,958	1,945	1,932	1,921	1,910	1,901	1,891	1,883	1,875	1,868	1,861	1,854	29
30	1,995	1,976	1,960	1,945	1,932	1,919	1,908	1,897	1,887	1,878	1,870	1,862	1,854	1,847	1,841	30
31	1,983	1,965	1,948	1,933	1,920	1,907	1,896	1,885	1,875	1,866	1,857	1,849	1,842	1,835	1,828	31
32	1,972	1,953	1,937	1,922	1,908	1,896	1,884	1,873	1,864	1,854	1,846	1,838	1,830	1,823	1,817	32
33	1,961	1,943	1,926	1,911	1,898	1,885	1,873	1,863	1,853	1,844	1,835	1,827	1,819	1,812	1,806	33
34	1,952	1,933	1,917	1,902	1,888	1,875	1,863	1,853	1,843	1,833	1,825	1,817	1,809	1,802	1,795	34
35	1,942	1,924	1,907	1,892	1,878	1,866	1,854	1,843	1,833	1,824	1,815	1,807	1,799	1,792	1,786	35
40	1,904	1,885	1,868	1,853	1,839	1,826	1,814	1,803	1,793	1,783	1,775	1,766	1,759	1,751	1,744	40
60	1,815	1,796	1,778	1,763	1,748	1,735	1,722	1,711	1,700	1,690	1,681	1,672	1,664	1,656	1,649	60
80	1,772	1,752	1,734	1,718	1,703	1,689	1,677	1,665	1,654	1,644	1,634	1,626	1,617	1,609	1,602	80
90	1,757	1,737	1,720	1,703	1,688	1,675	1,662	1,650	1,639	1,629	1,619	1,610	1,601	1,593	1,586	90
100	1,746	1,726	1,708	1,691	1,676	1,663	1,650	1,638	1,627	1,616	1,607	1,598	1,589	1,581	1,573	100
120	1,728	1,709	1,690	1,674	1,659	1,645	1,632	1,620	1,608	1,598	1,588	1,579	1,570	1,562	1,554	120
inf.	1,644	1,623	1,604	1,587	1,571	1,556	1,542	1,529	1,517	1,506	1,496	1,486	1,476	1,467	1,459	inf.

g.d.l	Grados de libertad del Numerador															g.d.l
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	50	60	100	120	inf.	
1	250,2	250,4	250,5	250,6	250,7	250,8	250,9	251,0	251,1	251,1	251,8	252,2	253,0	253,3	254,3	1
2	19,463	19,464	19,465	19,466	19,467	19,468	19,469	19,469	19,470	19,471	19,476	19,479	19,486	19,487	19,496	2
3	8,614	8,611	8,609	8,606	8,604	8,602	8,600	8,598	8,596	8,594	8,581	8,572	8,554	8,549	8,526	3
4	5,742	5,739	5,735	5,732	5,729	5,727	5,724	5,722	5,719	5,717	5,699	5,688	5,664	5,658	5,628	4
5	4,492	4,488	4,484	4,481	4,478	4,474	4,472	4,469	4,466	4,464	4,444	4,431	4,405	4,398	4,365	5
6	3,804	3,800	3,796	3,792	3,789	3,786	3,783	3,780	3,777	3,774	3,754	3,740	3,712	3,705	3,669	6
7	3,371	3,367	3,363	3,359	3,356	3,352	3,349	3,346	3,343	3,340	3,319	3,304	3,275	3,267	3,230	7
8	3,075	3,070	3,066	3,062	3,059	3,055	3,052	3,049	3,046	3,043	3,020	3,005	2,975	2,967	2,928	8
9	2,859	2,854	2,850	2,846	2,842	2,839	2,835	2,832	2,829	2,826	2,803	2,787	2,756	2,748	2,707	9
10	2,695	2,690	2,686	2,681	2,678	2,674	2,670	2,667	2,664	2,661	2,637	2,621	2,588	2,580	2,538	10
11	2,565	2,561	2,556	2,552	2,548	2,544	2,541	2,537	2,534	2,531	2,507	2,490	2,457	2,448	2,404	11
12	2,461	2,456	2,452	2,447	2,443	2,439	2,436	2,432	2,429	2,426	2,401	2,384	2,350	2,341	2,296	12
13	2,375	2,370	2,366	2,361	2,357	2,353	2,349	2,346	2,342	2,339	2,314	2,297	2,261	2,252	2,206	13
14	2,303	2,298	2,293	2,289	2,284	2,280	2,277	2,273	2,270	2,266	2,241	2,223	2,187	2,178	2,131	14
15	2,241	2,236	2,232	2,227	2,223	2,219	2,215	2,211	2,208	2,204	2,178	2,160	2,123	2,114	2,066	15
16	2,188	2,183	2,178	2,174	2,169	2,165	2,161	2,158	2,154	2,151	2,124	2,106	2,068	2,059	2,010	16
17	2,142	2,137	2,132	2,127	2,123	2,119	2,115	2,111	2,107	2,104	2,077	2,058	2,020	2,011	1,960	17
18	2,102	2,096	2,091	2,087	2,082	2,078	2,074	2,070	2,066	2,063	2,035	2,017	1,978	1,968	1,917	18
19	2,066	2,060	2,055	2,050	2,046	2,042	2,037	2,034	2,030	2,026	1,999	1,980	1,940	1,930	1,878	19
20	2,033	2,028	2,023	2,018	2,013	2,009	2,005	2,001	1,997	1,994	1,966	1,946	1,907	1,896	1,843	20
21	2,004	1,999	1,994	1,989	1,984	1,980	1,976	1,972	1,968	1,965	1,936	1,916	1,876	1,866	1,812	21
22	1,978	1,973	1,968	1,963	1,958	1,954	1,949	1,945	1,942	1,938	1,909	1,889	1,849	1,838	1,783	22
23	1,955	1,949	1,944	1,939	1,934	1,930	1,925	1,921	1,918	1,914	1,885	1,865	1,823	1,813	1,757	23
24	1,933	1,927	1,922	1,917	1,912	1,908	1,904	1,900	1,896	1,892	1,863	1,842	1,800	1,790	1,733	24
25	1,913	1,908	1,902	1,897	1,892	1,888	1,884	1,879	1,876	1,872	1,842	1,822	1,779	1,768	1,711	25
26	1,895	1,889	1,884	1,879	1,874	1,869	1,865	1,861	1,857	1,853	1,823	1,803	1,760	1,749	1,691	26
27	1,878	1,872	1,867	1,862	1,857	1,852	1,848	1,844	1,840	1,836	1,806	1,785	1,742	1,731	1,672	27
28	1,863	1,857	1,851	1,846	1,841	1,837	1,832	1,828	1,824	1,820	1,790	1,769	1,725	1,714	1,654	28
29	1,848	1,842	1,837	1,832	1,827	1,822	1,818	1,813	1,809	1,806	1,775	1,754	1,710	1,698	1,638	29
30	1,835	1,829	1,823	1,818	1,813	1,808	1,804	1,800	1,796	1,792	1,761	1,740	1,695	1,683	1,622	30
31	1,822	1,816	1,811	1,805	1,800	1,796	1,791	1,787	1,783	1,779	1,748	1,726	1,681	1,670	1,608	31
32	1,810	1,804	1,799	1,794	1,789	1,784	1,779	1,775	1,771	1,767	1,736	1,714	1,669	1,657	1,594	32
33	1,799	1,793	1,788	1,783	1,777	1,773	1,768	1,764	1,760	1,756	1,724	1,702	1,657	1,645	1,581	33
34	1,789	1,783	1,777	1,772	1,767	1,762	1,758	1,753	1,749	1,745	1,713	1,691	1,645	1,633	1,569	34
35	1,779	1,773	1,768	1,762	1,757	1,752	1,748	1,743	1,739	1,735	1,703	1,681	1,635	1,623	1,558	35
40	1,738	1,732	1,726	1,721	1,715	1,710	1,706	1,701	1,697	1,693	1,660	1,637	1,589	1,577	1,509	40
60	1,642	1,636	1,630	1,624	1,618	1,613	1,608	1,603	1,599	1,594	1,559	1,534	1,481	1,467	1,389	60
80	1,595	1,588	1,582	1,576	1,570	1,564	1,559	1,554	1,549	1,545	1,508	1,482	1,426	1,411	1,325	80
90	1,579	1,572	1,566	1,560	1,554	1,548	1,543	1,538	1,533	1,528	1,491	1,465	1,407	1,391	1,302	90
100	1,566	1,559	1,553	1,547	1,541	1,535	1,530	1,525	1,520	1,515	1,477	1,450	1,392	1,376	1,283	100
120	1,547	1,540	1,534	1,527	1,521	1,516	1,510	1,505	1,500	1,495	1,457	1,429	1,369	1,352	1,254	120
inf.	1,451	1,444	1,436	1,429	1,423	1,417	1,411	1,405	1,399	1,394	1,350	1,318	1,243	1,221	1,000	inf.



ANEXO 7. RESULTADOS DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS

APÉNDICE 1. MODELO DE TEMEZ

APÉNDICE 1.1. MODELIZACIÓN

AÑO	MES	P	ETP	P ₀	X	Ev	H	Deltha	T	I	A _{min}	f	A _F	Esc	A _t	Q _{sim}	Qobs
1975	01	215.20	46.77	5.628	75.489	46.769	28.720	103.037	143.072	107.214	7.265	5.996	64.395	35.858	100.253	7.577	2.691
1975	02	185.70	48.98	3.092	85.871	48.975	36.896	79.884	128.549	98.846	40.740	6.621	93.411	29.703	123.115	9.305	15.114
1975	03	155.80	52.50	2.274	88.627	52.501	36.126	75.234	104.069	83.706	44.989	5.944	89.592	20.364	109.956	8.311	6.637
1975	04	22.00	49.14	2.351	53.833	49.142	4.691	72.646	4.293	4.250	40.386	1.525	42.651	0.043	42.694	3.227	1.378
1975	05	0.80	41.33	5.495	5.491	5.491	0.000	96.269	0.000	0.000	10.365	0.333	10.365	0.000	10.365	0.783	0.921
1975	06	0.40	30.86	5.964	0.400	0.400	0.000	90.492	0.000	0.000	2.262	0.073	2.262	0.000	2.262	0.171	0.464
1975	07	0.00	0.00	5.964	0.000	0.000	0.000	59.629	0.000	0.000	0.494	0.016	0.494	0.000	0.494	0.037	0.095
1975	08	0.10	0.00	5.964	0.100	0.000	0.100	59.629	0.000	0.000	0.108	0.003	0.108	0.000	0.108	0.008	0.048
1975	09	17.10	42.10	5.954	16.037	16.037	0.000	101.632	1.163	1.160	0.024	0.063	0.641	0.003	0.645	0.049	0.019
1975	10	21.80	53.79	5.964	19.766	19.766	0.000	113.421	2.034	2.024	0.429	0.123	1.507	0.010	1.517	0.115	0.269
1975	11	31.00	53.31	5.964	26.252	26.252	0.000	112.936	4.748	4.696	0.833	0.279	3.335	0.052	3.387	0.256	0.198
1975	12	223.00	55.94	5.964	78.793	55.944	22.849	115.573	144.207	107.850	1.897	5.858	59.366	36.357	95.723	7.235	3.176
1976	01	251.90	55.37	3.679	91.752	55.370	36.382	92.150	182.997	128.169	39.801	8.167	108.097	54.828	162.925	12.314	9.895
1976	02	130.30	50.59	2.325	84.585	50.593	33.992	73.840	82.097	68.878	55.492	5.484	92.195	13.219	105.414	7.967	6.669
1976	03	141.50	52.37	2.564	85.448	52.365	33.083	78.002	90.044	74.387	37.264	5.195	76.902	15.658	92.559	6.996	6.472
1976	04	35.80	49.02	2.655	58.524	49.015	9.509	75.562	10.359	10.114	35.297	1.677	40.687	0.245	40.932	3.094	2.023
1976	05	18.20	32.36	5.013	25.791	25.791	0.000	82.483	1.918	1.910	11.396	0.469	12.414	0.009	12.422	0.939	0.140
1976	06	1.30	20.35	5.964	1.300	1.300	0.000	79.979	0.000	0.000	3.184	0.102	3.184	0.000	3.184	0.241	2.731
1976	07	4.00	21.22	5.964	4.000	4.000	0.000	80.845	0.000	0.000	0.695	0.022	0.695	0.000	0.695	0.053	0.013
1976	08	30.90	32.93	5.964	25.325	25.325	0.000	92.559	5.575	5.503	0.152	0.301	3.084	0.072	3.156	0.239	0.784
1976	09	39.10	32.97	5.964	29.932	29.932	0.000	92.595	9.168	8.975	2.043	0.548	6.825	0.192	7.018	0.530	1.091
1976	10	10.00	45.19	5.964	9.842	9.842	0.000	104.822	0.158	0.158	3.724	0.128	3.808	0.000	3.808	0.288	0.340
1976	11	15.90	53.17	5.964	15.055	15.055	0.000	112.797	0.845	0.844	0.870	0.073	1.320	0.002	1.322	0.100	0.196
1976	12	105.10	63.74	5.964	59.715	59.715	0.000	123.372	45.385	41.032	0.498	2.221	22.362	4.353	26.716	2.019	2.323
1977	01	38.30	58.99	5.964	31.088	31.088	0.000	118.614	7.212	7.092	15.094	0.866	18.873	0.120	18.992	1.435	2.382
1977	02	176.80	52.04	5.964	71.264	52.038	19.226	111.667	105.536	84.652	5.884	4.739	50.992	20.884	71.876	5.433	6.231
1977	03	166.60	55.79	4.041	82.077	55.785	26.292	96.188	103.748	83.498	32.199	5.522	76.692	20.250	96.942	7.327	8.920
1977	04	28.10	45.50	3.335	48.276	45.501	2.775	78.838	6.117	6.031	37.520	1.529	40.733	0.086	40.819	3.085	0.835
1977	05	3.20	29.62	5.687	5.975	5.975	0.000	86.475	0.000	0.000	10.390	0.334	10.390	0.000	10.390	0.785	0.378

1977	06	0.20	18.36	5.964	0.200	0.200	0.000	77.993	0.000	0.000	2.267	0.073	2.267	0.000	2.267	0.171	0.126
1977	07	0.60	29.36	5.964	0.600	0.600	0.000	88.990	0.000	0.000	0.495	0.016	0.495	0.000	0.495	0.037	0.040
1977	08	4.20	30.14	5.964	4.200	4.200	0.000	89.769	0.000	0.000	0.108	0.003	0.108	0.000	0.108	0.008	0.069
1977	09	6.70	38.75	5.964	6.694	6.694	0.000	98.377	0.006	0.006	0.024	0.001	0.027	0.000	0.027	0.002	3.638
1977	10	27.40	49.81	5.964	23.721	23.721	0.000	109.436	3.679	3.647	0.007	0.196	1.951	0.031	1.982	0.150	1.059
1977	11	80.20	49.36	5.964	49.110	49.110	0.000	108.986	31.090	28.983	1.334	1.601	16.778	2.106	18.884	1.427	1.546
1977	12	108.60	51.80	5.964	57.980	51.799	6.181	111.428	50.620	45.264	10.876	2.782	34.995	5.356	40.352	3.050	1.600
1978	01	265.00	51.10	5.346	83.306	51.101	32.205	104.550	187.874	130.542	18.904	7.623	88.465	57.332	145.797	11.020	6.019
1978	02	39.20	57.93	2.743	60.243	57.934	2.309	85.358	11.162	10.878	51.799	2.248	57.596	0.284	57.880	4.375	5.517
1978	03	94.00	55.48	5.733	56.424	55.481	0.943	112.801	39.885	36.484	15.276	2.452	34.717	3.402	38.119	2.881	1.239
1978	04	29.30	51.93	5.870	25.960	25.960	0.000	110.618	4.283	4.240	16.657	0.763	18.917	0.042	18.959	1.433	0.525
1978	05	1.40	37.80	5.964	1.400	1.400	0.000	97.426	0.000	0.000	5.183	0.166	5.183	0.000	5.183	0.392	3.578
1978	06	2.50	27.96	5.964	2.500	2.500	0.000	87.593	0.000	0.000	1.131	0.036	1.131	0.000	1.131	0.085	0.134
1978	07	0.00	0.00	5.964	0.000	0.000	0.000	59.629	0.000	0.000	0.247	0.008	0.247	0.000	0.247	0.019	0.314
1978	08	0.10	19.49	5.964	0.100	0.100	0.000	79.122	0.000	0.000	0.054	0.002	0.054	0.000	0.054	0.004	0.110
1978	09	7.10	29.96	5.964	7.085	7.085	0.000	89.591	0.015	0.015	0.012	0.001	0.020	0.000	0.020	0.002	0.106
1978	10	25.10	41.44	5.964	21.895	21.895	0.000	101.073	3.205	3.181	0.008	0.171	1.703	0.024	1.727	0.131	0.030
1978	11	81.10	49.07	5.964	49.361	49.069	0.292	108.698	31.739	29.547	1.164	1.625	16.908	2.192	19.100	1.444	1.111
1978	12	89.80	59.12	5.935	54.279	54.279	0.000	118.456	35.814	33.047	11.044	2.131	28.654	2.767	31.421	2.375	3.844
1979	01	73.40	50.09	5.964	46.836	46.836	0.000	109.723	26.564	25.011	14.479	1.809	27.806	1.553	29.359	2.219	6.826
1979	02	159.70	50.80	5.964	68.165	50.804	17.361	110.433	91.535	75.401	12.293	4.447	52.472	16.134	68.606	5.185	5.288
1979	03	147.10	54.46	4.228	77.738	54.461	23.277	96.729	86.724	72.106	30.219	4.846	68.642	14.618	83.259	6.293	7.897
1979	04	29.20	44.34	3.636	46.109	44.344	1.765	80.697	6.368	6.275	32.927	1.395	36.271	0.093	36.364	2.748	1.746
1979	05	0.20	28.71	5.788	1.965	1.965	0.000	86.576	0.000	0.000	9.477	0.304	9.477	0.000	9.477	0.716	0.199
1979	06	0.20	42.09	5.964	0.200	0.200	0.000	101.718	0.000	0.000	2.068	0.066	2.068	0.000	2.068	0.156	0.035
1979	07	0.40	18.46	5.964	0.400	0.400	0.000	78.087	0.000	0.000	0.451	0.014	0.451	0.000	0.451	0.034	0.030
1979	08	5.40	29.22	5.964	5.400	5.400	0.000	88.844	0.000	0.000	0.098	0.003	0.098	0.000	0.098	0.007	0.140
1979	09	0.20	37.68	5.964	0.200	0.200	0.000	97.307	0.000	0.000	0.021	0.001	0.021	0.000	0.021	0.002	0.121
1979	10	51.30	48.54	5.964	37.369	37.369	0.000	108.169	13.931	13.491	0.005	0.725	7.194	0.439	7.633	0.577	0.867
1979	11	73.30	55.30	5.964	47.582	47.582	0.000	114.926	25.718	24.260	4.928	1.462	17.855	1.459	19.314	1.460	0.629
1979	12	89.80	50.48	5.964	52.411	50.482	1.929	110.111	37.389	34.383	9.935	2.167	28.257	3.005	31.262	2.363	1.805
1980	01	27.30	56.44	5.771	25.661	25.661	0.000	114.142	3.568	3.538	14.725	0.663	16.610	0.030	16.640	1.258	3.429
1980	02	77.90	51.57	5.964	48.693	48.693	0.000	111.202	29.207	27.340	4.505	1.614	19.074	1.867	20.941	1.583	3.445
1980	03	143.80	53.38	5.964	66.216	53.379	12.837	113.008	77.584	65.673	10.968	3.882	45.963	11.911	57.873	4.374	5.869

1980	04	24.70	43.40	4.680	33.739	33.739	0.000	90.188	3.798	3.765	26.377	1.049	28.383	0.033	28.417	2.148	2.242
1980	05	0.50	36.13	5.964	0.500	0.500	0.000	95.754	0.000	0.000	7.131	0.229	7.131	0.000	7.131	0.539	0.210
1980	06	0.10	34.35	5.964	0.100	0.100	0.000	93.975	0.000	0.000	1.556	0.050	1.556	0.000	1.556	0.118	0.072
1980	07	5.60	27.72	5.964	5.600	5.600	0.000	87.347	0.000	0.000	0.340	0.011	0.340	0.000	0.340	0.026	0.079
1980	08	15.60	28.45	5.964	14.588	14.588	0.000	88.083	1.012	1.009	0.074	0.057	0.612	0.002	0.614	0.046	0.437
1980	09	9.00	36.80	5.964	8.901	8.901	0.000	96.428	0.099	0.099	0.385	0.018	0.437	0.000	0.437	0.033	0.588
1980	10	41.90	47.50	5.964	32.481	32.481	0.000	107.132	9.419	9.216	0.120	0.499	5.031	0.203	5.234	0.396	1.073
1980	11	40.10	54.20	5.964	31.894	31.894	0.000	113.827	8.206	8.052	3.392	0.542	7.682	0.154	7.837	0.592	1.659
1980	12	82.10	49.40	5.964	49.753	49.403	0.350	109.032	32.347	30.073	3.681	1.735	19.705	2.274	21.979	1.661	1.258
1981	01	265.00	57.29	5.929	83.809	57.290	26.519	116.569	181.541	127.453	11.786	7.229	79.701	54.088	133.789	10.112	6.185
1981	02	177.40	50.54	3.312	84.803	50.543	34.260	83.653	119.116	93.172	49.118	6.585	98.766	25.944	124.710	9.426	8.790
1981	03	91.40	54.18	2.538	78.055	54.181	23.874	79.550	47.605	42.838	44.745	3.739	67.572	4.767	72.339	5.468	11.680
1981	04	48.20	44.10	3.576	55.604	44.099	11.505	79.855	16.470	15.859	25.408	1.668	33.859	0.611	34.470	2.605	3.192
1981	05	4.30	36.76	4.814	15.805	15.805	0.000	84.889	0.000	0.000	11.336	0.364	11.336	0.000	11.336	0.857	0.468
1981	06	2.00	17.56	5.964	2.000	2.000	0.000	77.193	0.000	0.000	2.474	0.079	2.474	0.000	2.474	0.187	0.546
1981	07	0.00	18.31	5.964	0.000	0.000	0.000	77.941	0.000	0.000	0.540	0.017	0.540	0.000	0.540	0.041	0.420
1981	08	1.60	18.80	5.964	1.600	1.600	0.000	78.427	0.000	0.000	0.118	0.004	0.118	0.000	0.118	0.009	1.122
1981	09	9.20	29.05	5.964	9.078	9.078	0.000	88.680	0.122	0.122	0.026	0.007	0.091	0.000	0.091	0.007	0.791
1981	10	9.40	48.27	5.964	9.288	9.288	0.000	107.901	0.112	0.112	0.050	0.008	0.110	0.000	0.110	0.008	0.791
1981	11	41.90	55.01	5.964	32.970	32.970	0.000	114.641	8.930	8.747	0.052	0.472	4.713	0.183	4.896	0.370	0.666
1981	12	125.80	64.72	5.964	65.517	64.719	0.798	124.348	60.283	52.837	3.206	2.943	31.361	7.446	38.807	2.933	1.663
1982	01	148.30	63.74	5.885	70.820	63.743	7.077	122.574	78.278	66.170	19.996	4.199	55.255	12.108	67.363	5.091	11.200
1982	02	104.60	50.14	5.256	61.524	50.141	11.383	102.693	50.153	44.890	28.529	3.329	52.449	5.263	57.712	4.362	2.179
1982	03	142.80	53.75	4.826	73.225	53.750	19.475	101.996	80.958	68.075	22.619	4.385	58.894	12.883	71.777	5.425	5.249
1982	04	56.30	43.72	4.016	55.088	43.721	11.367	83.875	20.687	19.732	29.797	2.017	40.311	0.954	41.266	3.119	3.695
1982	05	0.40	28.22	4.827	11.767	11.767	0.000	76.482	0.000	0.000	13.708	0.440	13.708	0.000	13.708	1.036	0.436
1982	06	0.30	17.35	5.964	0.300	0.300	0.000	76.977	0.000	0.000	2.991	0.096	2.991	0.000	2.991	0.226	0.068
1982	07	0.10	18.09	5.964	0.100	0.100	0.000	77.715	0.000	0.000	0.653	0.021	0.653	0.000	0.653	0.049	0.131
1982	08	0.00	28.72	5.964	0.000	0.000	0.000	88.345	0.000	0.000	0.142	0.005	0.142	0.000	0.142	0.011	0.684
1982	09	39.00	37.10	5.964	30.185	30.185	0.000	96.730	8.815	8.637	0.031	0.465	4.634	0.178	4.812	0.364	0.894
1982	10	47.80	47.86	5.964	35.591	35.591	0.000	107.488	12.209	11.870	3.161	0.739	9.486	0.339	9.825	0.743	2.149
1982	11	78.40	54.58	5.964	49.359	49.359	0.000	114.204	29.041	27.194	5.025	1.623	19.516	1.846	21.362	1.615	4.281
1982	12	66.20	57.28	5.964	45.003	45.003	0.000	116.904	21.197	20.196	11.028	1.440	21.789	1.001	22.790	1.723	2.486
1983	01	5.60	53.87	5.964	5.600	5.600	0.000	113.494	0.000	0.000	9.782	0.314	9.782	0.000	9.782	0.739	0.878

1983	02	79.90	53.49	5.964	49.713	49.713	0.000	113.117	30.187	28.197	2.135	1.584	17.160	1.990	19.149	1.447	0.960
1983	03	46.20	57.34	5.964	35.496	35.496	0.000	116.968	10.704	10.443	10.763	0.907	16.328	0.261	16.589	1.254	1.572
1983	04	50.60	53.67	5.964	37.490	37.490	0.000	113.299	13.110	12.720	6.162	0.882	12.941	0.390	13.330	1.008	1.401
1983	05	0.70	34.17	5.964	0.700	0.700	0.000	93.802	0.000	0.000	5.990	0.192	5.990	0.000	5.990	0.453	0.507
1983	06	1.80	24.98	5.964	1.800	1.800	0.000	84.604	0.000	0.000	1.307	0.042	1.307	0.000	1.307	0.099	0.272
1983	07	0.00	26.04	5.964	0.000	0.000	0.000	85.667	0.000	0.000	0.285	0.009	0.285	0.000	0.285	0.022	0.167
1983	08	1.30	26.73	5.964	1.300	1.300	0.000	86.359	0.000	0.000	0.062	0.002	0.062	0.000	0.062	0.005	0.195
1983	09	31.50	34.81	5.964	25.781	25.781	0.000	94.440	5.719	5.644	0.014	0.304	3.021	0.075	3.096	0.234	0.114
1983	10	13.40	45.16	5.964	12.880	12.880	0.000	104.789	0.520	0.520	2.064	0.094	2.341	0.001	2.342	0.177	0.231
1983	11	10.50	44.75	5.964	10.300	10.300	0.000	104.381	0.200	0.200	0.640	0.031	0.747	0.000	0.747	0.056	0.123
1983	12	82.50	54.28	5.964	50.748	50.748	0.000	113.911	31.752	29.558	0.213	1.595	15.963	2.194	18.157	1.372	0.187
1984	01	143.80	53.43	5.964	66.231	53.426	12.805	113.055	77.569	65.662	10.841	3.877	45.830	11.906	57.736	4.364	11.810
1984	02	243.00	48.82	4.684	83.321	48.817	34.504	95.641	172.485	122.922	26.346	7.453	91.846	49.563	141.409	10.688	20.639
1984	03	139.00	50.53	2.513	84.638	50.527	34.111	75.653	88.866	73.581	50.640	5.581	89.848	15.285	105.134	7.946	7.002
1984	04	31.80	47.29	2.553	57.314	47.294	10.020	72.813	8.596	8.427	37.922	1.671	42.413	0.169	42.582	3.218	2.933
1984	05	3.70	39.66	4.962	13.720	13.720	0.000	89.271	0.000	0.000	11.353	0.365	11.353	0.000	11.353	0.858	1.245
1984	06	0.10	37.71	5.964	0.100	0.100	0.000	97.338	0.000	0.000	2.477	0.080	2.477	0.000	2.477	0.187	1.031
1984	07	0.20	20.21	5.964	0.200	0.200	0.000	79.835	0.000	0.000	0.541	0.017	0.541	0.000	0.541	0.041	0.325
1984	08	3.60	31.57	5.964	3.600	3.600	0.000	91.196	0.000	0.000	0.118	0.004	0.118	0.000	0.118	0.009	0.639
1984	09	1.60	31.60	5.964	1.600	1.600	0.000	91.232	0.000	0.000	0.026	0.001	0.026	0.000	0.026	0.002	0.966
1984	10	58.40	51.77	5.964	40.984	40.984	0.000	111.398	17.416	16.735	0.006	0.900	8.923	0.681	9.604	0.726	0.323
1984	11	71.20	51.30	5.964	46.196	46.196	0.000	110.931	25.004	23.623	6.113	1.466	18.701	1.381	20.081	1.518	3.857
1984	12	125.40	53.84	5.964	62.543	53.840	8.703	113.469	62.857	54.804	9.961	3.265	39.164	8.053	47.217	3.569	7.589
1985	01	34.30	53.43	5.094	36.363	36.363	0.000	104.353	6.640	6.538	22.188	1.064	25.672	0.101	25.774	1.948	3.867
1985	02	202.50	47.13	5.964	72.591	47.133	25.458	106.762	129.909	99.648	7.230	5.588	60.328	30.261	90.589	6.847	11.895
1985	03	172.50	50.53	3.418	83.769	50.527	33.242	84.698	114.189	90.131	37.969	6.064	85.996	24.059	110.055	8.318	0.425
1985	04	161.70	47.29	2.639	84.990	47.294	37.696	73.682	109.952	87.470	41.201	6.024	87.811	22.482	110.293	8.336	0.353
1985	05	14.70	39.66	2.194	50.221	39.662	10.559	61.596	2.175	2.164	40.935	1.431	42.088	0.011	42.099	3.182	0.307
1985	06	0.00	29.50	4.908	10.559	10.559	0.000	78.567	0.000	0.000	9.723	0.312	9.723	0.000	9.723	0.735	0.701
1985	07	0.20	20.21	5.964	0.200	0.200	0.000	79.835	0.000	0.000	2.122	0.068	2.122	0.000	2.122	0.160	1.070
1985	08	2.10	31.57	5.964	2.100	2.100	0.000	91.196	0.000	0.000	0.463	0.015	0.463	0.000	0.463	0.035	0.623
1985	09	13.80	40.40	5.964	13.197	13.197	0.000	100.031	0.603	0.602	0.101	0.036	0.422	0.001	0.422	0.032	0.855
1985	10	7.90	51.77	5.964	7.865	7.865	0.000	111.398	0.035	0.035	0.242	0.010	0.260	0.000	0.260	0.020	0.654
1985	11	66.40	51.30	5.964	44.318	44.318	0.000	110.931	22.082	20.998	0.066	1.131	11.255	1.084	12.339	0.933	2.170

1985	12	140.30	53.84	5.964	65.680	53.840	11.840	113.469	74.620	63.537	7.683	3.662	41.539	11.083	52.622	3.977	2.227
1986	01	250.30	55.70	4.780	87.025	55.701	31.324	103.490	175.116	124.252	24.880	7.477	91.090	50.863	141.953	10.729	7.030
1986	02	180.10	49.14	2.831	86.667	49.141	37.526	77.447	124.757	96.588	50.806	6.823	102.274	28.169	130.443	9.859	11.964
1986	03	158.70	52.68	2.211	89.316	52.678	36.638	74.781	106.910	85.534	46.361	6.086	91.939	21.376	113.315	8.565	5.573
1986	04	71.20	49.31	2.300	73.660	49.308	24.352	72.300	34.177	31.649	41.354	3.029	58.218	2.529	60.747	4.591	1.974
1986	05	31.50	32.59	3.529	47.376	32.589	14.787	67.866	8.476	8.311	20.582	1.108	25.011	0.165	25.176	1.903	1.241
1986	06	0.10	30.99	4.485	14.887	14.887	0.000	75.827	0.000	0.000	7.527	0.242	7.527	0.000	7.527	0.569	0.759
1986	07	6.00	0.00	5.964	6.000	0.000	6.000	59.629	0.000	0.000	1.642	0.053	1.642	0.000	1.642	0.124	0.859
1986	08	21.30	21.95	5.364	24.352	21.954	2.398	75.583	2.948	2.927	0.358	0.169	1.918	0.020	1.938	0.147	0.262
1986	09	4.90	33.20	5.725	7.298	7.298	0.000	90.429	0.000	0.000	1.147	0.037	1.147	0.000	1.147	0.087	0.909
1986	10	12.80	45.48	5.964	12.359	12.359	0.000	105.112	0.441	0.440	0.250	0.032	0.485	0.000	0.485	0.037	0.464
1986	11	38.30	61.08	5.964	31.191	31.191	0.000	120.709	7.109	6.993	0.215	0.383	3.942	0.116	4.058	0.307	0.392
1986	12	107.60	56.13	5.964	58.744	56.133	2.611	115.762	48.856	43.848	2.601	2.440	25.966	5.008	30.974	2.341	2.291
1987	01	212.50	55.51	5.703	78.752	55.508	23.244	112.526	136.359	103.400	16.581	6.090	71.679	32.959	104.638	7.909	11.757
1987	02	81.00	48.97	3.639	66.623	48.970	17.653	85.355	37.621	34.580	41.380	3.188	59.806	3.041	62.847	4.750	2.242
1987	03	22.30	52.50	4.199	36.929	36.929	0.000	94.473	3.023	3.002	21.658	0.857	23.258	0.021	23.279	1.760	0.549
1987	04	23.40	49.14	5.964	20.872	20.872	0.000	108.765	2.528	2.513	5.823	0.322	7.162	0.015	7.177	0.542	0.761
1987	05	21.40	35.42	5.964	19.120	19.120	0.000	95.048	2.280	2.267	2.189	0.192	3.397	0.012	3.409	0.258	0.490
1987	06	6.00	16.72	5.964	6.000	6.000	0.000	76.345	0.000	0.000	1.306	0.042	1.306	0.000	1.306	0.099	0.296
1987	07	3.10	17.43	5.964	3.100	3.100	0.000	77.056	0.000	0.000	0.285	0.009	0.285	0.000	0.285	0.022	0.492
1987	08	2.00	27.83	5.964	2.000	2.000	0.000	87.460	0.000	0.000	0.062	0.002	0.062	0.000	0.062	0.005	0.237
1987	09	4.20	36.08	5.964	4.200	4.200	0.000	95.709	0.000	0.000	0.014	0.000	0.014	0.000	0.014	0.001	0.019
1987	10	27.60	46.65	5.964	23.762	23.762	0.000	106.283	3.838	3.804	0.003	0.205	2.030	0.034	2.064	0.156	0.062
1987	11	50.10	53.30	5.964	37.208	37.208	0.000	112.930	12.892	12.515	1.390	0.717	8.058	0.377	8.436	0.638	0.098
1987	12	86.20	62.83	5.964	53.477	53.477	0.000	122.462	32.723	30.398	4.874	1.790	21.072	2.325	23.397	1.768	1.012
1988	01	207.80	61.24	5.964	79.183	61.235	17.948	120.864	128.617	98.886	12.165	5.706	64.858	29.731	94.589	7.149	7.502
1988	02	96.50	49.75	4.169	66.979	49.747	17.232	91.428	47.469	42.728	38.768	3.542	61.536	4.741	66.277	5.009	8.813
1988	03	122.40	51.49	4.241	72.446	51.490	20.956	93.888	67.186	58.066	24.064	3.894	55.005	9.120	64.125	4.847	8.504
1988	04	69.70	41.74	3.868	60.216	41.737	18.479	80.410	30.440	28.418	26.457	2.377	41.600	2.022	43.622	3.297	2.309
1988	05	8.00	41.67	4.116	26.297	26.297	0.000	82.816	0.183	0.183	16.151	0.529	16.249	0.000	16.249	1.228	1.611
1988	06	0.30	16.21	5.964	0.300	0.300	0.000	75.836	0.000	0.000	3.591	0.115	3.591	0.000	3.591	0.271	0.221
1988	07	0.00	16.90	5.964	0.000	0.000	0.000	76.526	0.000	0.000	0.784	0.025	0.784	0.000	0.784	0.059	1.024
1988	08	0.20	35.22	5.964	0.200	0.200	0.000	94.849	0.000	0.000	0.171	0.005	0.171	0.000	0.171	0.013	0.630
1988	09	21.80	42.45	5.964	19.560	19.560	0.000	102.074	2.240	2.228	0.037	0.121	1.225	0.012	1.236	0.093	0.903

1988	10	17.60	52.76	5.964	16.453	16.453	0.000	112.385	1.147	1.144	0.822	0.088	1.431	0.003	1.434	0.108	1.166
1988	11	11.40	52.28	5.964	11.135	11.135	0.000	111.908	0.265	0.265	0.597	0.033	0.738	0.000	0.738	0.056	1.545
1988	12	129.70	47.51	5.964	61.627	47.514	14.113	107.143	68.073	58.727	0.227	3.164	31.521	9.345	40.866	3.089	1.784
1989	01	195.00	51.74	4.553	81.019	51.742	29.277	97.258	128.094	98.577	21.497	5.989	74.025	29.518	103.542	7.826	4.650
1989	02	162.80	45.65	3.036	82.402	45.648	36.754	76.000	109.675	87.295	40.691	5.999	87.207	22.381	109.588	8.283	5.331
1989	03	164.70	48.93	2.288	87.725	48.934	38.791	71.809	113.729	89.844	40.759	6.138	88.634	23.886	112.520	8.505	7.023
1989	04	75.40	38.38	2.084	72.985	38.377	34.608	59.216	41.206	37.585	41.705	3.359	61.733	3.620	65.354	4.940	5.482
1989	05	4.90	38.31	2.503	39.417	38.312	1.105	63.334	0.091	0.091	22.827	0.738	22.875	0.000	22.875	1.729	0.813
1989	06	0.30	36.43	5.854	1.405	1.405	0.000	94.951	0.000	0.000	5.014	0.161	5.014	0.000	5.014	0.379	0.625
1989	07	5.20	19.33	5.964	5.200	5.200	0.000	78.954	0.000	0.000	1.094	0.035	1.094	0.000	1.094	0.083	1.228
1989	08	1.90	30.38	5.964	1.900	1.900	0.000	90.011	0.000	0.000	0.239	0.008	0.239	0.000	0.239	0.018	1.287
1989	09	0.80	39.03	5.964	0.800	0.800	0.000	98.656	0.000	0.000	0.052	0.002	0.052	0.000	0.052	0.004	0.959
1989	10	12.40	57.51	5.964	12.048	12.048	0.000	117.140	0.352	0.352	0.011	0.019	0.199	0.000	0.199	0.015	0.551
1989	11	54.20	56.99	5.964	39.557	39.557	0.000	116.621	14.643	14.158	0.131	0.765	7.675	0.485	8.160	0.617	0.866
1989	12	60.00	52.14	5.964	41.733	41.733	0.000	111.772	18.267	17.519	5.199	1.109	14.534	0.748	15.282	1.155	1.693
1990	01	49.40	53.06	5.964	36.836	36.836	0.000	112.686	12.564	12.206	7.532	0.898	14.037	0.359	14.395	1.088	2.745
1990	02	95.20	46.81	5.964	53.225	46.808	6.417	106.437	41.975	38.224	6.101	2.250	26.470	3.751	30.220	2.284	2.070
1990	03	90.80	50.18	5.323	57.410	50.178	7.232	103.390	39.807	36.418	15.291	2.448	34.697	3.389	38.086	2.879	2.047
1990	04	41.30	46.97	5.241	38.544	38.544	0.000	99.365	9.988	9.760	16.637	1.059	21.837	0.228	22.065	1.668	0.501
1990	05	28.90	39.37	5.964	24.364	24.364	0.000	98.996	4.536	4.489	7.195	0.472	9.586	0.048	9.634	0.728	0.267
1990	06	0.00	19.20	5.964	0.000	0.000	0.000	78.826	0.000	0.000	3.209	0.103	3.209	0.000	3.209	0.243	1.764
1990	07	0.00	0.00	5.964	0.000	0.000	0.000	59.629	0.000	0.000	0.700	0.022	0.700	0.000	0.700	0.053	0.862
1990	08	3.10	31.31	5.964	3.100	3.100	0.000	90.938	0.000	0.000	0.153	0.005	0.153	0.000	0.153	0.012	0.197
1990	09	0.20	31.34	5.964	0.200	0.200	0.000	90.972	0.000	0.000	0.033	0.001	0.033	0.000	0.033	0.003	0.667
1990	10	25.90	51.41	5.964	22.721	22.721	0.000	111.041	3.179	3.156	0.007	0.170	1.689	0.023	1.712	0.129	0.094
1990	11	89.70	58.35	5.964	53.880	53.880	0.000	117.977	35.820	33.052	1.154	1.814	18.766	2.768	21.534	1.628	2.906
1990	12	137.50	61.24	5.964	67.293	61.235	6.058	120.864	70.207	60.309	12.322	3.637	44.459	9.898	54.357	4.108	2.674
1991	01	178.50	59.75	5.359	77.914	59.749	18.165	113.321	106.644	85.363	24.714	5.382	70.201	21.281	91.481	6.914	6.426
1991	02	172.10	52.71	4.147	80.923	52.712	28.211	94.177	109.341	87.083	36.568	5.855	82.971	22.258	105.229	7.954	6.352
1991	03	153.10	49.29	3.143	82.474	49.285	33.189	80.703	98.837	80.287	39.782	5.593	82.564	18.550	101.114	7.642	8.303
1991	04	24.00	46.13	2.645	52.193	46.131	6.062	72.571	4.996	4.938	38.002	1.486	40.633	0.058	40.691	3.076	1.579
1991	05	20.40	38.61	5.358	24.241	24.241	0.000	92.176	2.221	2.210	10.096	0.443	11.274	0.011	11.285	0.853	1.338
1991	06	0.10	18.72	5.964	0.100	0.100	0.000	78.352	0.000	0.000	3.010	0.097	3.010	0.000	3.010	0.228	1.334
1991	07	3.00	19.52	5.964	3.000	3.000	0.000	79.149	0.000	0.000	0.657	0.021	0.657	0.000	0.657	0.050	0.889

1991	08	0.00	30.64	5.964	0.000	0.000	0.000	90.272	0.000	0.000	0.143	0.005	0.143	0.000	0.143	0.011	1.174
1991	09	5.70	39.33	5.964	5.700	5.700	0.000	98.959	0.000	0.000	0.031	0.001	0.031	0.000	0.031	0.002	1.062
1991	10	18.10	50.50	5.964	16.834	16.834	0.000	110.126	1.266	1.263	0.007	0.068	0.680	0.004	0.683	0.052	0.980
1991	11	29.90	50.04	5.964	25.412	25.412	0.000	109.670	4.488	4.442	0.463	0.254	2.829	0.047	2.876	0.217	0.679
1991	12	122.70	52.52	5.964	61.569	52.517	9.052	112.146	61.131	53.488	1.723	2.930	30.225	7.644	37.868	2.862	0.492
1992	01	62.60	53.27	5.059	50.473	50.473	0.000	103.848	21.179	20.180	19.910	1.724	30.663	0.999	31.662	2.393	3.396
1992	02	100.10	55.73	5.964	56.561	55.731	0.830	115.360	43.539	39.517	11.714	2.500	32.771	4.022	36.793	2.781	3.584
1992	03	12.30	57.68	5.881	12.778	12.778	0.000	116.482	0.352	0.352	16.988	0.564	17.175	0.000	17.176	1.298	1.764
1992	04	22.20	53.99	5.964	20.072	20.072	0.000	113.621	2.128	2.117	3.835	0.237	4.964	0.011	4.974	0.376	0.290
1992	05	1.50	47.08	5.964	1.500	1.500	0.000	106.706	0.000	0.000	1.610	0.052	1.610	0.000	1.610	0.122	0.073
1992	06	0.00	29.39	5.964	0.000	0.000	0.000	89.023	0.000	0.000	0.351	0.011	0.351	0.000	0.351	0.027	0.451
1992	07	0.00	0.00	5.964	0.000	0.000	0.000	59.629	0.000	0.000	0.077	0.002	0.077	0.000	0.077	0.006	0.000
1992	08	50.80	0.00	5.964	30.392	0.000	30.392	59.629	20.408	19.479	0.017	1.047	10.396	0.929	11.326	0.856	0.124
1992	09	0.00	24.81	2.924	30.392	24.813	5.579	54.051	0.000	0.000	7.117	0.229	7.117	0.000	7.117	0.538	0.157
1992	10	28.60	51.62	5.406	29.821	29.821	0.000	105.670	4.357	4.313	1.553	0.282	3.852	0.044	3.896	0.294	0.361
1992	11	47.20	41.65	5.964	34.747	34.747	0.000	101.274	12.453	12.101	1.914	0.712	8.362	0.352	8.714	0.659	0.093
1992	12	97.80	49.93	5.964	54.646	49.934	4.712	109.563	43.154	39.200	4.837	2.262	25.725	3.954	29.679	2.243	0.835
1993	01	249.10	43.50	5.493	77.468	43.495	33.973	98.412	176.344	124.869	15.371	7.205	81.909	51.475	133.384	10.082	9.614
1993	02	45.30	44.73	2.566	62.755	44.733	18.022	70.389	16.518	15.904	48.956	2.427	57.431	0.614	58.045	4.387	3.252
1993	03	96.60	46.73	4.162	66.240	46.726	19.514	88.333	48.383	43.466	16.491	2.866	39.653	4.916	44.569	3.369	6.444
1993	04	35.90	40.97	4.013	46.082	40.973	5.109	81.089	9.332	9.132	19.473	1.116	24.339	0.199	24.538	1.855	1.379
1993	05	7.70	36.30	5.453	12.751	12.751	0.000	90.819	0.058	0.058	7.584	0.247	7.615	0.000	7.615	0.576	0.684
1993	06	1.00	18.05	5.964	1.000	1.000	0.000	77.682	0.000	0.000	1.676	0.054	1.676	0.000	1.676	0.127	0.219
1993	07	0.00	16.02	5.964	0.000	0.000	0.000	75.649	0.000	0.000	0.366	0.012	0.366	0.000	0.366	0.028	1.032
1993	08	14.30	26.63	5.964	13.516	13.516	0.000	86.257	0.784	0.783	0.080	0.045	0.497	0.001	0.498	0.038	1.308
1993	09	4.90	40.84	5.964	4.900	4.900	0.000	100.471	0.000	0.000	0.303	0.010	0.303	0.000	0.303	0.023	1.413
1993	10	68.80	56.65	5.964	45.998	45.998	0.000	116.283	22.802	21.648	0.066	1.166	11.602	1.154	12.756	0.964	1.700
1993	11	65.80	61.94	5.964	45.393	45.393	0.000	121.569	20.407	19.478	7.920	1.301	18.300	0.929	19.229	1.453	2.788
1993	12	195.70	66.47	5.964	79.523	66.467	13.056	126.096	116.177	91.365	8.842	5.195	57.527	24.813	82.339	6.223	6.720
1994	01	331.30	53.52	4.659	91.568	53.515	38.053	100.089	252.788	158.894	35.296	9.674	119.964	93.894	213.859	16.164	12.909
1994	02	181.10	44.96	2.158	87.555	44.959	42.596	66.536	131.597	100.638	65.730	7.520	119.356	30.959	150.315	11.361	14.659
1994	03	89.20	51.29	1.704	82.122	51.290	30.832	68.323	49.674	44.506	51.096	4.033	74.812	5.168	79.980	6.045	7.015
1994	04	95.20	44.45	2.880	73.645	44.454	29.191	73.251	52.387	46.672	27.404	3.389	52.273	5.716	57.989	4.383	1.743
1994	05	26.60	42.71	3.045	49.867	42.713	7.154	73.152	5.924	5.843	23.024	1.053	26.138	0.081	26.219	1.982	1.449

1994	06	0.00	36.66	5.249	7.154	7.154	0.000	89.131	0.000	0.000	7.158	0.230	7.158	0.000	7.158	0.541	0.953
1994	07	0.00	27.40	5.964	0.000	0.000	0.000	87.033	0.000	0.000	1.562	0.050	1.562	0.000	1.562	0.118	1.050
1994	08	0.00	32.74	5.964	0.000	0.000	0.000	92.373	0.000	0.000	0.341	0.011	0.341	0.000	0.341	0.026	0.804
1994	09	4.10	35.15	5.964	4.100	4.100	0.000	94.778	0.000	0.000	0.074	0.002	0.074	0.000	0.074	0.006	1.010
1994	10	21.00	50.80	5.964	19.108	19.108	0.000	110.433	1.892	1.883	0.016	0.102	1.020	0.008	1.028	0.078	0.975
1994	11	57.00	46.04	5.964	39.722	39.722	0.000	105.673	17.278	16.608	0.691	0.915	9.541	0.671	10.212	0.772	0.965
1994	12	127.30	55.73	5.964	63.492	55.727	7.765	115.356	63.808	55.526	6.216	3.184	35.804	8.282	44.086	3.332	1.848
1995	01	141.70	55.94	5.188	71.533	55.937	15.596	107.802	77.932	65.923	21.634	4.238	56.762	12.010	68.772	5.198	2.502
1995	02	199.70	48.53	4.404	80.740	48.529	32.211	92.563	134.556	102.359	28.796	6.426	83.339	32.196	115.536	8.732	4.965
1995	03	167.80	48.92	2.743	85.854	48.920	36.934	76.338	114.157	90.110	43.665	6.246	91.682	24.047	115.729	8.747	7.683
1995	04	38.10	46.45	2.270	62.535	46.454	16.081	69.150	12.499	12.144	42.437	2.016	48.908	0.355	49.263	3.723	2.059
1995	05	0.40	41.76	4.356	16.481	16.481	0.000	85.308	0.000	0.000	13.695	0.440	13.695	0.000	13.695	1.035	0.874
1995	06	0.00	25.40	5.964	0.000	0.000	0.000	85.027	0.000	0.000	2.989	0.096	2.989	0.000	2.989	0.226	0.905
1995	07	0.00	28.22	5.964	0.000	0.000	0.000	87.848	0.000	0.000	0.652	0.021	0.652	0.000	0.652	0.049	0.870
1995	08	3.50	38.74	5.964	3.500	3.500	0.000	98.368	0.000	0.000	0.142	0.005	0.142	0.000	0.142	0.011	1.221
1995	09	19.80	40.66	5.964	18.030	18.030	0.000	100.292	1.770	1.762	0.031	0.096	0.970	0.007	0.978	0.074	1.340
1995	10	17.00	50.09	5.964	15.939	15.939	0.000	109.719	1.061	1.058	0.650	0.078	1.214	0.003	1.217	0.092	0.963
1995	11	40.50	49.66	5.964	31.848	31.848	0.000	109.288	8.652	8.480	0.528	0.473	5.047	0.172	5.219	0.394	0.761
1995	12	100.30	47.47	5.964	54.772	47.467	7.305	107.096	45.528	41.148	3.212	2.315	25.139	4.379	29.518	2.231	0.271
1996	01	225.20	58.32	5.234	83.799	58.317	25.482	110.641	148.706	110.347	15.728	6.436	74.528	38.359	112.888	8.532	5.460
1996	02	175.00	53.78	3.416	85.518	53.775	31.743	87.923	114.964	90.612	43.731	6.275	92.015	24.351	116.366	8.795	8.333
1996	03	118.80	56.30	2.789	82.368	56.304	26.064	84.190	68.175	58.803	42.634	4.530	73.969	9.371	83.340	6.299	3.190
1996	04	72.60	49.28	3.357	66.429	49.284	17.145	82.849	32.236	29.977	30.778	2.600	46.752	2.259	49.011	3.704	3.121
1996	05	36.90	39.68	4.250	44.403	39.678	4.725	82.163	9.642	9.429	17.664	1.074	22.688	0.213	22.901	1.731	1.565
1996	06	0.00	22.73	5.492	4.725	4.725	0.000	77.635	0.000	0.000	7.298	0.234	7.298	0.000	7.298	0.552	1.135
1996	07	0.30	13.89	5.964	0.300	0.300	0.000	73.517	0.000	0.000	1.593	0.051	1.593	0.000	1.593	0.120	0.885
1996	08	23.20	27.80	5.964	20.190	20.190	0.000	87.433	3.010	2.989	0.348	0.172	1.940	0.021	1.961	0.148	1.298
1996	09	10.30	39.04	5.964	10.106	10.106	0.000	98.665	0.194	0.194	1.167	0.048	1.270	0.000	1.271	0.096	0.997
1996	10	7.30	47.38	5.964	7.283	7.283	0.000	107.013	0.017	0.017	0.325	0.011	0.335	0.000	0.335	0.025	1.186
1996	11	51.90	47.35	5.964	37.541	37.541	0.000	106.975	14.359	13.893	0.077	0.749	7.481	0.466	7.947	0.601	0.817
1996	12	155.00	49.71	5.964	67.002	49.710	17.292	109.339	87.998	72.984	5.091	4.086	43.981	15.013	58.995	4.459	3.018
1997	01	227.20	53.17	4.235	86.286	53.165	33.121	95.502	158.206	115.493	27.765	7.099	89.307	42.713	132.020	9.978	8.668
1997	02	211.10	43.20	2.651	86.507	43.198	43.309	69.706	157.714	115.231	48.237	7.742	109.639	42.483	152.122	11.498	12.764
1997	03	83.70	47.70	1.632	80.385	47.701	32.684	64.021	46.624	42.042	52.608	3.949	75.011	4.582	79.593	6.016	4.881

1997	04	47.60	37.23	2.695	61.330	37.232	24.098	64.177	18.954	18.150	26.834	1.837	36.505	0.804	37.309	2.820	2.392
1997	05	26.40	31.53	3.554	44.454	31.526	12.928	67.057	6.045	5.960	12.484	0.721	15.660	0.084	15.744	1.190	0.524
1997	06	0.00	19.62	4.671	12.928	12.928	0.000	66.323	0.000	0.000	4.901	0.157	4.901	0.000	4.901	0.370	0.808
1997	07	0.00	25.37	5.964	0.000	0.000	0.000	84.999	0.000	0.000	1.069	0.034	1.069	0.000	1.069	0.081	1.116
1997	08	23.00	27.20	5.964	20.036	20.036	0.000	86.827	2.964	2.944	0.233	0.166	1.802	0.020	1.823	0.138	1.182
1997	09	52.10	44.12	5.964	37.311	37.311	0.000	103.750	14.789	14.295	1.126	0.804	8.743	0.494	9.238	0.698	1.191
1997	10	0.80	57.45	5.964	0.800	0.800	0.000	117.078	0.000	0.000	5.466	0.176	5.466	0.000	5.466	0.413	1.144
1997	11	76.00	56.79	5.964	48.824	48.824	0.000	116.420	27.176	25.552	1.193	1.412	14.809	1.623	16.432	1.242	1.602
1997	12	128.90	64.37	5.964	66.181	64.367	1.814	123.996	62.719	54.699	9.592	3.248	38.739	8.020	46.759	3.534	2.812
1998	01	306.90	59.19	5.783	88.819	59.190	29.629	117.005	219.895	145.238	22.069	8.515	99.461	74.657	174.119	13.160	7.355
1998	02	164.90	53.31	3.001	86.311	53.311	33.000	83.311	108.218	86.369	57.857	6.500	103.879	21.849	125.728	9.503	8.835
1998	03	94.90	57.43	2.664	78.901	57.425	21.476	84.054	48.999	43.963	44.167	3.781	67.594	5.036	72.629	5.490	2.977
1998	04	39.80	48.53	3.816	50.381	48.527	1.854	86.680	10.895	10.624	25.693	1.396	31.355	0.271	31.625	2.390	1.840
1998	05	0.00	34.07	5.779	1.854	1.854	0.000	91.841	0.000	0.000	9.487	0.305	9.487	0.000	9.487	0.717	0.287
1998	06	0.30	27.24	5.964	0.300	0.300	0.000	86.872	0.000	0.000	2.070	0.066	2.070	0.000	2.070	0.156	0.105
1998	07	0.00	24.22	5.964	0.000	0.000	0.000	83.852	0.000	0.000	0.452	0.015	0.452	0.000	0.452	0.034	0.300
1998	08	0.40	30.30	5.964	0.400	0.400	0.000	89.928	0.000	0.000	0.099	0.003	0.099	0.000	0.099	0.007	0.929
1998	09	0.00	37.35	5.964	0.000	0.000	0.000	96.982	0.000	0.000	0.022	0.001	0.022	0.000	0.022	0.002	1.126
1998	10	20.50	46.19	5.964	18.653	18.653	0.000	105.818	1.847	1.839	0.005	0.099	0.985	0.008	0.993	0.075	1.393
1998	11	75.50	44.40	5.964	46.651	44.404	2.247	104.033	28.849	27.026	0.673	1.474	15.074	1.823	16.897	1.277	1.667
1998	12	122.30	51.94	5.740	62.831	51.938	10.893	109.320	61.716	53.935	10.017	3.221	38.757	7.781	46.538	3.517	2.081
1999	01	162.30	60.37	4.875	78.480	60.374	18.106	109.111	94.713	77.544	21.883	4.871	63.203	17.169	80.372	6.075	2.617
1999	02	242.70	48.23	4.153	85.253	48.228	37.025	89.752	175.553	124.472	33.094	7.753	99.421	51.081	150.502	11.375	12.637
1999	03	229.90	50.98	2.261	93.591	50.975	42.616	73.579	173.334	123.353	52.679	8.322	118.409	49.982	168.391	12.727	15.349
1999	04	104.50	45.44	1.702	82.501	45.435	37.066	62.448	64.615	56.136	56.544	4.833	86.457	8.479	94.936	7.175	5.969
1999	05	4.50	41.07	2.257	41.487	41.074	0.413	63.638	0.079	0.079	32.840	1.059	32.882	0.000	32.882	2.485	1.443
1999	06	0.30	27.06	5.923	0.713	0.713	0.000	86.277	0.000	0.000	7.195	0.231	7.195	0.000	7.195	0.544	0.198
1999	07	0.00	27.22	5.964	0.000	0.000	0.000	86.847	0.000	0.000	1.570	0.050	1.570	0.000	1.570	0.119	0.229
1999	08	0.10	29.39	5.964	0.100	0.100	0.000	89.018	0.000	0.000	0.343	0.011	0.343	0.000	0.343	0.026	0.306
1999	09	17.70	34.55	5.964	16.322	16.322	0.000	94.174	1.378	1.374	0.075	0.076	0.807	0.004	0.811	0.061	0.176
1999	10	65.20	45.23	5.964	43.011	43.011	0.000	104.862	22.189	21.095	0.518	1.150	11.759	1.094	12.853	0.971	1.803
1999	11	20.10	50.31	5.964	18.408	18.408	0.000	109.942	1.692	1.685	7.817	0.342	8.715	0.007	8.721	0.659	1.069
1999	12	77.70	56.71	5.964	49.443	49.443	0.000	116.343	28.257	26.506	2.321	1.499	16.445	1.751	18.196	1.375	0.636
2000	01	239.90	55.52	5.964	80.405	55.520	24.885	115.149	159.495	116.179	10.187	6.571	72.094	43.316	115.410	8.723	7.771

2000	02	189.50	50.72	3.475	85.266	50.716	34.550	85.460	129.119	99.183	44.651	6.765	97.502	29.937	127.439	9.632	13.778
2000	03	147.10	53.62	2.509	86.956	53.620	33.336	78.699	94.694	77.531	45.965	5.643	87.279	17.162	104.441	7.894	0.000
2000	04	15.60	49.37	2.630	46.980	46.980	0.000	75.662	1.956	1.947	38.345	1.336	39.382	0.009	39.391	2.977	1.444
2000	05	7.50	41.87	5.964	7.476	7.476	0.000	101.495	0.024	0.024	9.079	0.293	9.091	0.000	9.091	0.687	0.779
2000	06	3.70	15.12	5.964	3.700	3.700	0.000	74.750	0.000	0.000	1.990	0.064	1.990	0.000	1.990	0.150	0.637
2000	07	1.20	1.67	5.964	1.200	1.200	0.000	61.295	0.000	0.000	0.434	0.014	0.434	0.000	0.434	0.033	0.200
2000	08	5.40	26.48	5.964	5.400	5.400	0.000	86.105	0.000	0.000	0.095	0.003	0.095	0.000	0.095	0.007	0.158
2000	09	0.00	42.56	5.964	0.000	0.000	0.000	102.188	0.000	0.000	0.021	0.001	0.021	0.000	0.021	0.002	0.654
2000	10	73.70	43.79	5.964	45.925	43.787	2.138	103.416	27.775	26.082	0.005	1.402	13.903	1.693	15.596	1.179	1.025
2000	11	9.00	54.15	5.751	11.041	11.041	0.000	111.642	0.097	0.097	9.526	0.311	9.578	0.000	9.578	0.724	0.614
2000	12	136.50	55.74	5.964	65.484	55.738	9.746	115.367	71.016	60.905	2.114	3.341	34.568	10.111	44.679	3.377	1.167
2001	01	173.70	50.76	4.990	75.779	50.759	25.020	100.643	107.667	86.018	22.704	5.352	68.540	21.649	90.189	6.817	11.711
2001	02	205.20	48.65	3.462	85.661	48.649	37.012	83.259	144.559	108.047	36.368	6.975	93.942	36.512	130.454	9.860	14.129
2001	03	192.30	48.77	2.262	89.961	48.768	41.193	71.385	139.351	105.111	47.395	7.172	103.405	34.240	137.645	10.404	11.109
2001	04	80.30	42.42	1.844	76.715	42.416	34.299	60.852	44.778	40.535	48.729	3.744	70.328	4.243	74.571	5.636	5.000
2001	05	34.40	35.71	2.534	57.463	35.714	21.749	61.044	11.236	10.948	25.437	1.405	31.271	0.288	31.558	2.385	1.066
2001	06	0.50	25.71	3.789	22.249	22.249	0.000	63.594	0.000	0.000	9.549	0.307	9.549	0.000	9.549	0.722	0.116
2001	07	16.50	17.34	5.964	15.139	15.139	0.000	76.964	1.361	1.357	2.084	0.140	2.807	0.004	2.811	0.212	0.225
2001	08	16.80	22.72	5.964	15.454	15.454	0.000	82.344	1.346	1.342	0.950	0.103	1.665	0.004	1.670	0.126	0.204
2001	09	7.90	40.40	5.964	7.861	7.861	0.000	100.024	0.039	0.039	0.697	0.024	0.718	0.000	0.718	0.054	0.341
2001	10	7.50	52.11	5.964	7.478	7.478	0.000	111.736	0.022	0.022	0.166	0.007	0.178	0.000	0.178	0.013	0.876
2001	11	30.60	59.91	5.964	26.209	26.209	0.000	119.540	4.391	4.347	0.044	0.235	2.360	0.045	2.405	0.182	0.539
2001	12	49.80	60.72	5.964	37.655	37.655	0.000	120.353	12.145	11.809	1.597	0.686	7.890	0.335	8.225	0.622	1.074
2002	01	151.10	56.43	5.964	68.570	56.432	12.138	116.061	82.530	69.183	4.661	3.868	41.526	13.347	54.873	4.147	1.705
2002	02	237.90	49.03	4.750	82.741	49.034	33.707	96.525	167.297	120.264	26.283	7.308	90.367	47.033	137.400	10.385	11.291
2002	03	150.80	53.66	2.593	86.968	53.658	33.310	79.580	97.540	79.429	49.656	5.864	91.980	18.111	110.091	8.321	9.432
2002	04	61.20	43.72	2.633	67.280	43.716	23.564	70.036	27.230	25.600	39.843	2.656	53.484	1.630	55.114	4.166	4.890
2002	05	27.50	36.36	3.607	44.907	36.363	8.544	72.428	6.157	6.070	18.044	0.906	21.278	0.087	21.365	1.615	1.707
2002	06	2.00	31.78	5.110	10.544	10.544	0.000	82.867	0.000	0.000	6.154	0.198	6.154	0.000	6.154	0.465	0.380
2002	07	14.10	6.49	5.964	13.131	6.492	6.639	66.121	0.969	0.967	1.343	0.095	1.858	0.002	1.860	0.141	0.463
2002	08	3.10	22.78	5.300	9.739	9.739	0.000	75.770	0.000	0.000	0.646	0.021	0.646	0.000	0.646	0.049	2.719
2002	09	4.00	36.53	5.964	4.000	4.000	0.000	96.154	0.000	0.000	0.141	0.005	0.141	0.000	0.141	0.011	0.634
2002	10	51.30	47.45	5.964	37.266	37.266	0.000	107.077	14.034	13.589	0.031	0.731	7.272	0.446	7.717	0.583	0.911
2002	11	97.50	53.98	5.964	55.434	53.983	1.451	113.612	42.066	38.299	4.969	2.218	25.378	3.766	29.144	2.203	1.160

2002	12	147.30	60.25	5.819	69.972	60.248	9.724	118.426	78.779	66.528	15.071	4.060	50.521	12.252	62.773	4.745	4.404
2003	01	182.00	61.24	4.992	81.075	61.244	19.831	111.149	110.649	87.910	27.585	5.611	74.429	22.739	97.167	7.344	5.227
2003	02	216.90	52.66	3.981	86.315	52.658	33.657	92.456	150.416	111.286	38.124	7.206	97.424	39.130	136.555	10.321	8.476
2003	03	192.40	50.31	2.598	89.334	50.311	39.023	76.283	136.723	103.609	48.961	7.141	104.170	33.114	137.285	10.376	7.052
2003	04	29.00	43.95	2.061	59.908	43.946	15.962	64.552	8.115	7.964	48.522	1.986	52.766	0.151	52.917	4.000	1.146
2003	05	7.90	37.31	4.368	23.707	23.707	0.000	80.976	0.156	0.156	13.497	0.442	13.580	0.000	13.580	1.026	1.157
2003	06	0.80	25.11	5.964	0.800	0.800	0.000	84.740	0.000	0.000	3.002	0.096	3.002	0.000	3.002	0.227	1.142
2003	07	0.00	22.09	5.964	0.000	0.000	0.000	81.722	0.000	0.000	0.655	0.021	0.655	0.000	0.655	0.050	1.129
2003	08	1.70	22.20	5.964	1.700	1.700	0.000	81.829	0.000	0.000	0.143	0.005	0.143	0.000	0.143	0.011	1.549
2003	09	18.90	30.95	5.964	17.185	17.185	0.000	90.580	1.715	1.708	0.031	0.093	0.942	0.007	0.948	0.072	1.500
2003	10	5.20	48.45	5.964	5.200	5.200	0.000	108.077	0.000	0.000	0.631	0.020	0.631	0.000	0.631	0.048	0.735
2003	11	24.20	50.40	5.964	21.481	21.481	0.000	110.027	2.719	2.702	0.138	0.150	1.577	0.017	1.595	0.121	0.381
2003	12	133.20	60.42	5.964	66.114	60.415	5.699	120.044	67.086	57.992	1.017	3.150	31.918	9.094	41.013	3.100	2.193
2004	01	226.30	52.62	5.394	80.475	52.615	27.860	106.545	151.524	111.891	21.400	6.701	81.023	39.633	120.656	9.119	11.605
2004	02	214.20	51.97	3.178	89.342	51.972	37.370	83.741	152.718	112.541	45.533	7.511	105.502	40.177	145.679	11.011	10.163
2004	03	149.40	53.17	2.226	88.483	53.170	35.313	75.429	98.287	79.924	51.036	5.935	93.624	18.363	111.987	8.464	4.013
2004	04	63.70	45.83	2.432	69.910	45.829	24.081	70.145	29.103	27.249	40.325	2.760	54.845	1.854	56.699	4.285	4.076
2004	05	0.00	30.30	3.556	24.081	24.081	0.000	65.852	0.000	0.000	18.751	0.602	18.751	0.000	18.751	1.417	0.905
2004	06	3.50	17.44	5.964	3.500	3.500	0.000	77.069	0.000	0.000	4.092	0.131	4.092	0.000	4.092	0.309	0.807
2004	07	4.90	17.99	5.964	4.900	4.900	0.000	77.615	0.000	0.000	0.893	0.029	0.893	0.000	0.893	0.067	0.910
2004	08	6.00	27.41	5.964	6.000	6.000	0.000	87.037	0.000	0.000	0.195	0.006	0.195	0.000	0.195	0.015	0.992
2004	09	21.70	42.00	5.964	19.477	19.477	0.000	101.633	2.223	2.211	0.043	0.120	1.221	0.011	1.232	0.093	1.199
2004	10	4.10	50.55	5.964	4.100	4.100	0.000	110.182	0.000	0.000	0.817	0.026	0.817	0.000	0.817	0.062	0.539
2004	11	19.60	53.32	5.964	18.059	18.059	0.000	112.950	1.541	1.536	0.178	0.088	0.997	0.006	1.002	0.076	0.311
2004	12	76.50	61.59	5.964	49.721	49.721	0.000	121.221	26.779	25.201	0.600	1.374	14.029	1.578	15.606	1.180	0.328
2005	01	161.10	55.77	5.964	70.134	55.770	14.364	115.399	90.966	75.015	9.334	4.332	49.307	15.952	65.259	4.932	2.551
2005	02	217.10	48.50	4.528	81.744	48.500	33.244	93.766	149.720	110.904	29.432	6.906	88.529	38.815	127.345	9.625	11.735
2005	03	103.80	56.00	2.639	80.477	56.003	24.474	82.389	56.567	49.960	46.925	4.192	73.547	6.606	80.153	6.058	2.684
2005	04	78.70	48.54	3.516	66.792	48.543	18.249	83.698	36.382	33.531	28.485	2.717	46.353	2.852	49.204	3.719	2.299
2005	05	0.00	36.74	4.139	18.249	18.249	0.000	78.117	0.000	0.000	18.461	0.593	18.461	0.000	18.461	1.395	0.342
2005	06	0.00	18.74	5.964	0.000	0.000	0.000	78.369	0.000	0.000	4.029	0.129	4.029	0.000	4.029	0.304	0.681
2005	07	0.20	26.92	5.964	0.200	0.200	0.000	86.545	0.000	0.000	0.879	0.028	0.879	0.000	0.879	0.066	0.599
2005	08	3.30	22.65	5.964	3.300	3.300	0.000	82.275	0.000	0.000	0.192	0.006	0.192	0.000	0.192	0.014	0.786
2005	09	14.70	35.31	5.964	13.919	13.919	0.000	94.935	0.781	0.780	0.042	0.043	0.457	0.001	0.459	0.035	0.356

2005	10	6.30	48.62	5.964	6.299	6.299	0.000	108.250	0.001	0.001	0.294	0.009	0.294	0.000	0.294	0.022	0.168
2005	11	50.10	53.10	5.964	37.191	37.191	0.000	112.727	12.909	12.531	0.065	0.676	6.742	0.378	7.120	0.538	0.198
2005	12	162.80	55.88	5.964	70.460	55.877	14.583	115.506	92.340	75.947	4.590	4.229	45.060	16.394	61.453	4.645	0.948
2006	01	215.50	54.22	4.506	84.483	54.224	30.259	99.271	145.600	108.628	28.737	6.761	86.621	36.972	123.594	9.342	7.594
2006	02	192.10	51.99	2.938	88.634	51.988	36.646	81.359	133.724	101.877	45.942	6.951	100.228	31.847	132.075	9.983	9.052
2006	03	213.60	55.00	2.299	94.670	55.001	39.669	77.984	155.576	114.085	47.231	7.649	108.023	41.491	149.513	11.301	10.185
2006	04	32.50	47.73	1.996	62.497	47.731	14.766	67.691	9.672	9.459	51.970	2.177	57.011	0.214	57.224	4.325	4.659
2006	05	0.00	35.14	4.487	14.766	14.766	0.000	79.998	0.000	0.000	14.795	0.475	14.795	0.000	14.795	1.118	0.567
2006	06	1.10	24.45	5.964	1.100	1.100	0.000	84.080	0.000	0.000	3.229	0.104	3.229	0.000	3.229	0.244	1.035
2006	07	0.00	14.77	5.964	0.000	0.000	0.000	74.400	0.000	0.000	0.705	0.023	0.705	0.000	0.705	0.053	0.814
2006	08	5.10	29.10	5.964	5.100	5.100	0.000	88.729	0.000	0.000	0.154	0.005	0.154	0.000	0.154	0.012	0.834
2006	09	19.40	33.34	5.964	17.603	17.603	0.000	92.964	1.797	1.790	0.034	0.097	0.987	0.008	0.995	0.075	0.445
2006	10	27.40	49.57	5.964	23.714	23.714	0.000	109.195	3.686	3.654	0.661	0.218	2.608	0.031	2.640	0.200	0.249
2006	11	101.20	50.35	5.964	55.680	50.348	5.332	109.977	45.520	41.142	1.479	2.259	23.402	4.378	27.780	2.100	0.213
2006	12	127.60	58.66	5.431	67.952	58.655	9.297	112.952	64.980	56.411	15.348	3.525	45.407	8.569	53.976	4.080	1.185
2007	01	165.30	57.82	5.034	77.076	57.817	19.259	108.149	97.521	79.416	23.950	5.038	66.269	18.104	84.373	6.377	6.827
2007	02	168.80	45.75	4.038	78.087	45.754	32.333	86.124	109.973	87.483	34.229	5.801	80.846	22.490	103.335	7.810	6.794
2007	03	213.10	47.93	2.730	88.979	47.930	41.049	75.227	156.454	114.557	39.418	7.423	100.461	41.897	142.358	10.760	6.430
2007	04	74.30	45.38	1.858	76.344	45.376	30.968	63.956	39.006	35.746	50.438	3.541	69.486	3.259	72.745	5.498	2.667
2007	05	23.70	37.60	2.867	49.515	37.602	11.913	66.264	5.153	5.091	24.061	1.046	26.774	0.061	26.835	2.028	1.655
2007	06	0.90	32.48	4.773	12.813	12.813	0.000	80.192	0.000	0.000	7.110	0.228	7.110	0.000	7.110	0.537	1.157
2007	07	6.00	21.72	5.964	6.000	6.000	0.000	81.348	0.000	0.000	1.551	0.050	1.551	0.000	1.551	0.117	1.266
2007	08	0.00	33.65	5.964	0.000	0.000	0.000	93.277	0.000	0.000	0.339	0.011	0.339	0.000	0.339	0.026	0.553
2007	09	29.20	36.90	5.964	24.456	24.456	0.000	96.528	4.744	4.692	0.074	0.255	2.574	0.052	2.626	0.198	0.488
2007	10	26.80	52.64	5.964	23.385	23.385	0.000	112.264	3.415	3.388	1.730	0.238	3.535	0.027	3.562	0.269	0.663
2007	11	15.60	52.23	5.964	14.796	14.796	0.000	111.856	0.804	0.802	1.615	0.095	2.042	0.002	2.044	0.154	0.328
2007	12	26.80	53.52	5.964	23.409	23.409	0.000	113.144	3.391	3.364	0.645	0.202	2.438	0.027	2.465	0.186	1.846
2008	01	244.20	55.19	5.964	80.678	55.186	25.492	114.815	163.522	118.301	1.370	6.402	64.408	45.221	109.629	8.286	10.364
2008	02	154.40	51.39	3.415	82.094	51.390	30.704	85.527	97.798	79.600	43.502	5.675	85.918	18.198	104.116	7.869	7.048
2008	03	74.20	51.39	2.893	70.716	51.388	19.328	80.313	34.188	31.658	38.563	2.940	55.432	2.530	57.962	4.381	4.510
2008	04	6.60	45.06	4.031	25.849	25.849	0.000	85.362	0.079	0.079	19.976	0.646	20.018	0.000	20.018	1.513	0.777
2008	05	7.40	30.71	5.964	7.376	7.376	0.000	90.335	0.024	0.024	4.388	0.142	4.401	0.000	4.401	0.333	0.766
2008	06	0.80	26.69	5.964	0.800	0.800	0.000	86.322	0.000	0.000	0.966	0.031	0.966	0.000	0.966	0.073	0.926
2008	07	1.30	19.60	5.964	1.300	1.300	0.000	79.224	0.000	0.000	0.211	0.007	0.211	0.000	0.211	0.016	0.557

2008	08	0.30	29.22	5.964	0.300	0.300	0.000	88.844	0.000	0.000	0.046	0.001	0.046	0.000	0.046	0.003	0.413
2008	09	0.00	33.34	5.964	0.000	0.000	0.000	92.969	0.000	0.000	0.010	0.000	0.010	0.000	0.010	0.001	0.359
2008	10	26.00	50.56	5.964	22.770	22.770	0.000	110.191	3.230	3.206	0.002	0.172	1.711	0.024	1.735	0.131	0.372
2008	11	31.60	59.21	5.964	26.855	26.855	0.000	118.838	4.745	4.693	1.171	0.290	3.672	0.052	3.724	0.281	0.229
2008	12	184.90	57.33	5.964	74.466	57.327	17.139	116.956	110.434	87.775	1.969	4.781	48.741	22.660	71.401	5.397	1.878
2009	01	102.10	53.60	4.250	68.764	53.600	15.164	96.091	50.475	45.148	32.485	3.470	56.543	5.327	61.870	4.676	3.759
2009	02	182.50	50.24	4.448	79.506	50.238	29.268	94.704	118.158	92.585	23.577	5.733	72.912	25.573	98.485	7.444	5.827
2009	03	101.70	49.32	3.037	75.439	49.316	26.123	79.677	55.529	49.149	38.957	3.893	65.147	6.380	71.526	5.406	5.745
2009	04	56.60	46.98	3.351	60.977	46.983	13.994	80.489	21.746	20.694	26.450	1.962	37.477	1.052	38.529	2.912	2.284
2009	05	1.00	35.38	4.565	14.994	14.994	0.000	81.015	0.000	0.000	13.329	0.428	13.329	0.000	13.329	1.007	0.398
2009	06	0.00	13.96	5.964	0.000	0.000	0.000	73.588	0.000	0.000	2.909	0.093	2.909	0.000	2.909	0.220	0.250
2009	07	9.80	17.18	5.964	9.603	9.603	0.000	76.807	0.197	0.197	0.635	0.031	0.740	0.000	0.740	0.056	0.285
2009	08	1.20	22.48	5.964	1.200	1.200	0.000	82.106	0.000	0.000	0.210	0.007	0.210	0.000	0.210	0.016	0.339
2009	09	14.20	38.64	5.964	13.525	13.525	0.000	98.264	0.675	0.674	0.046	0.038	0.405	0.001	0.406	0.031	0.349
2009	10	15.00	50.10	5.964	14.276	14.276	0.000	109.732	0.724	0.723	0.256	0.047	0.641	0.001	0.642	0.049	0.367
2009	11	86.70	56.05	5.964	52.474	52.474	0.000	115.676	34.226	31.690	0.320	1.714	17.206	2.535	19.742	1.492	0.849
2009	12	83.90	63.12	5.964	52.707	52.707	0.000	122.748	31.193	29.073	11.643	1.937	27.135	2.120	29.255	2.211	2.494
2010	01	245.80	55.34	5.964	80.908	55.340	25.568	114.969	164.892	119.016	13.158	6.819	76.578	45.876	122.454	9.255	12.588
2010	02	235.10	52.28	3.407	90.049	52.281	37.768	86.343	170.619	121.971	46.336	8.044	111.330	48.648	159.978	12.092	9.680
2010	03	75.10	53.44	2.187	76.461	53.440	23.021	75.302	36.406	33.551	54.655	3.559	72.533	2.855	75.389	5.698	5.103
2010	04	27.20	48.24	3.662	44.931	44.931	0.000	84.851	5.290	5.226	24.179	1.057	26.964	0.065	27.029	2.043	1.557
2010	05	5.10	38.49	5.964	5.100	5.100	0.000	98.118	0.000	0.000	7.185	0.231	7.185	0.000	7.185	0.543	0.620
2010	06	0.40	33.34	5.964	0.400	0.400	0.000	92.967	0.000	0.000	1.568	0.050	1.568	0.000	1.568	0.119	0.329
2010	07	0.20	25.06	5.964	0.200	0.200	0.000	84.686	0.000	0.000	0.342	0.011	0.342	0.000	0.342	0.026	0.334
2010	08	1.20	32.99	5.964	1.200	1.200	0.000	92.623	0.000	0.000	0.075	0.002	0.075	0.000	0.075	0.006	0.367
2010	09	2.20	37.78	5.964	2.200	2.200	0.000	97.408	0.000	0.000	0.016	0.001	0.016	0.000	0.016	0.001	0.409
2010	10	9.20	46.22	5.964	9.098	9.098	0.000	105.849	0.102	0.101	0.004	0.006	0.058	0.000	0.058	0.004	0.208
2010	11	2.30	47.65	5.964	2.300	2.300	0.000	107.276	0.000	0.000	0.038	0.001	0.038	0.000	0.038	0.003	0.189
2010	12	176.60	51.73	5.964	71.116	51.726	19.390	111.355	105.484	84.619	0.008	4.548	45.099	20.866	65.964	4.986	2.400
2011	01	211.20	56.70	4.025	87.559	56.696	30.863	96.936	143.031	107.191	30.905	6.754	88.023	35.840	123.862	9.362	5.144
2011	02	226.80	47.19	2.877	88.836	47.187	41.649	75.954	168.827	121.053	45.890	7.980	110.395	47.774	158.169	11.955	14.513
2011	03	194.50	47.92	1.798	91.549	47.920	43.629	65.900	144.600	108.070	54.222	7.550	111.809	36.530	148.339	11.212	7.764
2011	04	68.00	46.60	1.600	77.022	46.601	30.421	62.602	34.607	32.016	51.299	3.368	68.360	2.590	70.950	5.363	3.425
2011	05	0.50	39.57	2.922	30.921	30.921	0.000	68.781	0.000	0.000	22.887	0.735	22.887	0.000	22.887	1.730	0.784

2011	06	0.20	27.87	5.964	0.200	0.200	0.000	87.497	0.000	0.000	4.994	0.160	4.994	0.000	4.994	0.377	0.440
2011	07	10.10	25.55	5.964	9.895	9.895	0.000	85.177	0.205	0.205	1.090	0.046	1.199	0.000	1.199	0.091	0.561
2011	08	0.80	33.78	5.964	0.800	0.800	0.000	93.405	0.000	0.000	0.313	0.010	0.313	0.000	0.313	0.024	0.387
2011	09	1.00	38.08	5.964	1.000	1.000	0.000	97.708	0.000	0.000	0.068	0.002	0.068	0.000	0.068	0.005	0.364
2011	10	13.60	46.84	5.964	13.061	13.061	0.000	106.472	0.539	0.538	0.015	0.029	0.302	0.001	0.302	0.023	0.361
2011	11	22.10	55.98	5.964	20.030	20.030	0.000	115.609	2.070	2.060	0.200	0.117	1.298	0.010	1.308	0.099	0.236
2011	12	132.10	53.63	5.964	63.942	53.632	10.310	113.261	68.158	58.791	0.796	3.185	32.123	9.367	41.490	3.136	3.275
2012	01	238.30	49.48	4.933	82.186	49.483	32.703	98.802	166.425	119.813	21.644	7.135	85.488	46.612	132.100	9.984	12.819
2012	02	260.30	46.39	2.693	90.823	46.388	44.435	73.315	202.180	137.292	48.479	8.936	121.637	64.888	186.525	14.098	19.414
2012	03	129.10	49.69	1.520	88.290	49.685	38.605	64.880	85.245	71.081	60.718	5.770	98.594	14.164	112.759	8.523	9.623
2012	04	92.20	44.41	2.103	77.899	44.414	33.485	65.439	52.906	47.083	39.208	3.790	64.297	5.823	70.120	5.300	8.329
2012	05	7.50	38.01	2.615	40.626	38.007	2.619	64.152	0.359	0.359	25.750	0.846	25.942	0.000	25.942	1.961	1.542
2012	06	0.40	30.75	5.702	3.019	3.019	0.000	87.761	0.000	0.000	5.750	0.185	5.750	0.000	5.750	0.435	0.577
2012	07	0.90	27.58	5.964	0.900	0.900	0.000	87.206	0.000	0.000	1.255	0.040	1.255	0.000	1.255	0.095	0.489
2012	08	1.10	30.79	5.964	1.100	1.100	0.000	90.414	0.000	0.000	0.274	0.009	0.274	0.000	0.274	0.021	0.497
2012	09	8.70	40.52	5.964	8.623	8.623	0.000	100.144	0.077	0.077	0.060	0.006	0.101	0.000	0.101	0.008	0.386
2012	10	30.10	52.52	5.964	25.630	25.630	0.000	112.149	4.470	4.424	0.041	0.239	2.398	0.046	2.445	0.185	0.539
2012	11	34.70	55.71	5.964	28.721	28.721	0.000	115.339	5.979	5.896	1.625	0.369	4.767	0.082	4.849	0.366	0.585
2012	12	202.20	56.09	5.964	76.352	56.092	20.260	115.721	125.848	97.241	2.508	5.307	54.324	28.607	82.931	6.268	7.053
2013	01	151.50	53.18	3.938	79.564	53.183	26.381	92.552	92.196	75.849	36.060	5.235	76.477	16.347	92.824	7.016	8.014
2013	02	176.80	49.65	3.326	84.257	49.649	34.608	82.897	118.924	93.055	35.569	6.144	85.154	25.869	111.024	8.391	8.262
2013	03	66.00	53.88	2.503	71.786	53.877	17.909	78.899	28.821	27.002	41.745	2.792	56.134	1.819	57.953	4.380	10.699
2013	04	4.10	44.77	4.173	22.009	22.009	0.000	86.485	0.000	0.000	18.971	0.609	18.971	0.000	18.971	1.434	0.763
2013	05	7.20	39.92	5.964	7.184	7.184	0.000	99.548	0.016	0.016	4.140	0.134	4.148	0.000	4.148	0.314	0.422
2013	06	7.60	26.76	5.964	7.567	7.567	0.000	86.385	0.033	0.033	0.909	0.031	0.927	0.000	0.927	0.070	0.470
2013	07	9.00	26.22	5.964	8.889	8.889	0.000	85.850	0.111	0.111	0.210	0.013	0.270	0.000	0.270	0.020	0.662
2013	08	2.50	28.46	5.964	2.500	2.500	0.000	88.090	0.000	0.000	0.086	0.003	0.086	0.000	0.086	0.007	0.307
2013	09	0.00	38.13	5.964	0.000	0.000	0.000	97.756	0.000	0.000	0.019	0.001	0.019	0.000	0.019	0.001	0.321
2013	10	35.00	48.37	5.964	28.568	28.568	0.000	107.998	6.432	6.337	0.004	0.341	3.381	0.095	3.476	0.263	0.481
2013	11	33.40	53.69	5.964	27.816	27.816	0.000	113.320	5.584	5.512	2.315	0.371	5.252	0.072	5.324	0.402	0.461
2013	12	152.60	54.71	5.964	68.282	54.710	13.572	114.339	84.318	70.435	2.518	3.867	40.051	13.883	53.934	4.076	2.701
2014	01	214.40	49.70	4.607	81.721	49.700	32.021	95.757	146.250	108.989	26.272	6.702	84.349	37.261	121.610	9.192	6.429
2014	02	34.60	44.33	2.761	56.586	44.329	12.257	71.937	10.035	9.805	45.536	1.989	50.761	0.230	50.991	3.854	1.951
2014	03	106.20	45.35	4.738	64.117	45.350	18.767	92.722	54.340	48.215	13.518	3.026	39.210	6.125	45.334	3.426	2.842

2014	04	44.70	39.84	4.087	49.397	39.841	9.556	80.703	14.070	13.622	20.558	1.392	27.817	0.448	28.265	2.136	1.766
2014	05	0.90	34.20	5.009	10.456	10.456	0.000	84.269	0.000	0.000	9.461	0.304	9.461	0.000	9.461	0.715	0.437
2014	06	0.00	30.34	5.964	0.000	0.000	0.000	89.966	0.000	0.000	2.064	0.066	2.064	0.000	2.064	0.156	0.202
2014	07	1.40	21.30	5.964	1.400	1.400	0.000	80.926	0.000	0.000	0.451	0.014	0.451	0.000	0.451	0.034	0.205
2014	08	1.80	30.61	5.964	1.800	1.800	0.000	90.242	0.000	0.000	0.098	0.003	0.098	0.000	0.098	0.007	0.267
2014	09	42.80	36.83	5.964	32.144	32.144	0.000	96.456	10.656	10.397	0.021	0.560	5.562	0.259	5.821	0.440	0.325
2014	10	23.80	44.49	5.964	21.057	21.057	0.000	104.116	2.743	2.725	3.802	0.269	5.254	0.017	5.271	0.398	0.272
2014	11	22.30	49.00	5.964	20.057	20.057	0.000	108.624	2.243	2.231	1.825	0.179	3.014	0.012	3.025	0.229	0.229
2014	12	97.70	54.26	5.964	55.551	54.259	1.292	113.888	42.149	38.368	1.213	2.101	21.658	3.780	25.438	1.923	0.885
2015	01	155.50	43.47	5.835	65.602	43.468	22.134	101.805	91.190	75.167	14.277	4.499	54.331	16.023	70.354	5.318	4.541
2015	02	120.50	41.94	3.750	71.801	41.938	29.863	79.434	70.832	60.770	30.566	4.248	62.949	10.062	73.011	5.518	7.608
2015	03	111.20	46.72	2.977	76.617	46.723	29.894	76.489	64.447	56.009	28.863	3.937	58.708	8.438	67.146	5.075	4.327
2015	04	115.60	38.28	2.974	74.098	38.279	35.819	68.014	71.396	61.184	26.753	4.148	59.356	10.211	69.567	5.258	5.036
2015	05	6.70	35.68	2.382	42.216	35.678	6.538	59.488	0.304	0.303	28.182	0.921	28.344	0.000	28.344	2.142	1.319
2015	06	0.00	32.56	5.310	6.538	6.538	0.000	85.647	0.000	0.000	6.261	0.201	6.261	0.000	6.261	0.473	0.348
2015	07	0.20	24.03	5.964	0.200	0.200	0.000	83.656	0.000	0.000	1.366	0.044	1.366	0.000	1.366	0.103	0.283
2015	08	4.30	29.48	5.964	4.300	4.300	0.000	89.113	0.000	0.000	0.298	0.010	0.298	0.000	0.298	0.023	0.283
2015	09	17.60	38.99	5.964	16.302	16.302	0.000	98.614	1.298	1.294	0.065	0.072	0.755	0.004	0.759	0.057	0.364
2015	10	15.90	42.98	5.964	14.974	14.974	0.000	102.608	0.926	0.924	0.487	0.065	0.979	0.002	0.981	0.074	0.419
2015	11	37.80	53.11	5.964	30.488	30.488	0.000	112.743	7.312	7.189	0.444	0.401	4.274	0.123	4.397	0.332	0.855
2015	12	89.60	52.61	5.964	52.768	52.614	0.154	112.243	36.832	33.912	2.722	1.910	20.793	2.920	23.713	1.792	1.043
2016	01	80.90	58.03	5.949	50.933	50.933	0.000	117.501	30.121	28.140	12.979	1.929	27.973	1.981	29.955	2.264	1.367
2016	02	323.70	51.07	5.964	84.736	51.072	33.664	110.701	238.964	153.319	13.109	8.661	94.807	85.646	180.452	13.639	12.360
2016	03	44.60	58.15	2.597	63.980	58.145	5.835	84.111	14.283	13.822	58.852	2.633	66.218	0.462	66.679	5.040	3.032
2016	04	84.00	44.05	5.381	53.707	44.050	9.657	97.844	36.129	33.315	17.890	2.365	35.643	2.814	38.456	2.907	2.472
2016	05	1.10	34.20	4.999	10.757	10.757	0.000	84.169	0.000	0.000	16.071	0.516	16.071	0.000	16.071	1.215	0.394
2016	06	10.70	22.69	5.964	10.423	10.423	0.000	82.319	0.277	0.276	3.507	0.127	3.654	0.000	3.654	0.276	0.500
2016	07	1.60	25.73	5.964	1.600	1.600	0.000	85.356	0.000	0.000	0.866	0.028	0.866	0.000	0.866	0.065	0.337
2016	08	5.10	28.71	5.964	5.100	5.100	0.000	88.335	0.000	0.000	0.189	0.006	0.189	0.000	0.189	0.014	0.390
2016	09	1.80	34.47	5.964	1.800	1.800	0.000	94.099	0.000	0.000	0.041	0.001	0.041	0.000	0.041	0.003	0.322
2016	10	50.60	42.42	5.964	36.441	36.441	0.000	102.044	14.159	13.705	0.009	0.737	7.312	0.454	7.766	0.587	0.335
2016	11	19.80	46.58	5.964	18.122	18.122	0.000	106.206	1.678	1.671	5.007	0.251	5.898	0.007	5.904	0.446	0.284
2016	12	70.60	54.17	5.964	46.377	46.377	0.000	113.800	24.223	22.925	1.703	1.287	13.919	1.298	15.217	1.150	0.131
2017	01	208.50	52.04	5.964	75.421	52.043	23.378	111.672	133.079	101.502	8.744	5.736	62.831	31.576	94.407	7.136	8.634

2017	02	159.70	49.40	3.626	80.771	49.398	31.373	85.649	102.307	82.562	38.977	5.689	82.971	19.745	102.716	7.764	4.617
2017	03	230.90	47.88	2.826	89.679	47.883	41.796	76.139	172.594	122.977	38.657	7.851	104.187	49.617	153.804	11.625	15.384
2017	04	44.10	41.79	1.784	68.017	41.790	26.227	59.624	17.879	17.161	53.347	2.636	62.492	0.717	63.209	4.777	4.274
2017	05	30.70	36.48	3.341	48.956	36.480	12.476	69.882	7.971	7.826	17.909	0.996	22.078	0.146	22.224	1.680	1.085
2017	06	1.80	29.37	4.717	14.276	14.276	0.000	76.528	0.000	0.000	6.766	0.217	6.766	0.000	6.766	0.511	0.704
2017	07	10.30	28.36	5.964	10.082	10.082	0.000	87.991	0.218	0.218	1.476	0.059	1.592	0.000	1.592	0.120	0.399
2017	08	0.00	29.79	5.964	0.000	0.000	0.000	89.416	0.000	0.000	0.402	0.013	0.402	0.000	0.402	0.030	0.287
2017	09	14.80	37.95	5.964	14.023	14.023	0.000	97.583	0.777	0.776	0.088	0.045	0.501	0.001	0.502	0.038	0.284
2017	10	13.20	44.11	5.964	12.701	12.701	0.000	103.736	0.499	0.498	0.302	0.036	0.568	0.001	0.568	0.043	0.364
2017	11	25.50	51.98	5.964	22.451	22.451	0.000	111.613	3.049	3.027	0.248	0.171	1.861	0.022	1.882	0.142	0.497
2017	12	126.30	53.43	5.964	62.630	53.431	9.199	113.060	63.670	55.422	1.160	3.016	30.692	8.249	38.941	2.943	1.975
2018	01	155.00	47.15	5.044	71.468	47.154	24.314	97.585	92.730	76.210	20.493	4.754	61.103	16.520	77.623	5.867	6.916
2018	02	135.40	47.52	3.532	77.366	47.515	29.851	82.830	82.348	69.055	32.304	4.749	69.101	13.293	82.394	6.228	9.445
2018	03	210.00	46.30	2.979	86.854	46.300	40.554	76.078	152.998	112.693	32.268	7.093	92.318	40.305	132.623	10.024	5.307
2018	04	28.80	40.69	1.908	60.820	40.688	20.132	59.764	8.533	8.366	48.197	1.998	52.655	0.167	52.822	3.992	2.716
2018	05	2.10	31.81	3.951	22.232	22.232	0.000	71.304	0.000	0.000	13.573	0.436	13.573	0.000	13.573	1.026	0.946
2018	06	12.90	22.47	5.964	12.321	12.321	0.000	82.095	0.579	0.578	2.962	0.126	3.270	0.001	3.271	0.247	0.166
2018	07	20.10	22.63	5.964	17.890	17.890	0.000	82.256	2.210	2.198	0.858	0.146	2.029	0.011	2.040	0.154	0.194
2018	08	4.30	26.06	5.964	4.300	4.300	0.000	85.690	0.000	0.000	0.990	0.032	0.990	0.000	0.990	0.075	0.173
2018	09	6.10	34.98	5.964	6.100	6.100	0.000	94.606	0.000	0.000	0.216	0.007	0.216	0.000	0.216	0.016	0.203
2018	10	57.00	46.70	5.964	39.797	39.797	0.000	106.330	17.203	16.538	0.047	0.890	8.860	0.665	9.525	0.720	0.258
2018	11	5.20	53.58	5.964	5.200	5.200	0.000	113.213	0.000	0.000	6.050	0.194	6.050	0.000	6.050	0.457	0.218
2018	12	67.90	52.05	5.964	45.019	45.019	0.000	111.682	22.881	21.719	1.320	1.210	12.893	1.162	14.055	1.062	0.488

APÉNDICE 1.2. CALIBRACIÓN, Caudales simulados

ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	1975	7.577	9.305	8.311	3.227	0.783	0.171	0.037	0.008	0.049	0.115	0.256	7.235	3.090
2	1976	12.314	7.967	6.996	3.094	0.939	0.241	0.053	0.239	0.530	0.288	0.100	2.019	2.898
3	1977	1.435	5.433	7.327	3.085	0.785	0.171	0.037	0.008	0.002	0.150	1.427	3.050	1.909
4	1978	11.020	4.375	2.881	1.433	0.392	0.085	0.019	0.004	0.002	0.131	1.444	2.375	2.013
5	1979	2.219	5.185	6.293	2.748	0.716	0.156	0.034	0.007	0.002	0.577	1.460	2.363	1.813
6	1980	1.258	1.583	4.374	2.148	0.539	0.118	0.026	0.046	0.033	0.396	0.592	1.661	1.064
7	1981	10.112	9.426	5.468	2.605	0.857	0.187	0.041	0.009	0.007	0.008	0.370	2.933	2.669
8	1982	5.091	4.362	5.425	3.119	1.036	0.226	0.049	0.011	0.364	0.743	1.615	1.723	1.980
9	1983	0.739	1.447	1.254	1.008	0.453	0.099	0.022	0.005	0.234	0.177	0.056	1.372	0.572
10	1984	4.364	10.688	7.946	3.218	0.858	0.187	0.041	0.009	0.002	0.726	1.518	3.569	2.761
11	1985	1.948	6.847	8.318	8.336	3.182	0.735	0.160	0.035	0.032	0.020	0.933	3.977	2.877
12	1986	10.729	9.859	8.565	4.591	1.903	0.569	0.124	0.147	0.087	0.037	0.307	2.341	3.271
13	1987	7.909	4.750	1.760	0.542	0.258	0.099	0.022	0.005	0.001	0.156	0.638	1.768	1.492
14	1988	7.149	5.009	4.847	3.297	1.228	0.271	0.059	0.013	0.093	0.108	0.056	3.089	2.102
15	1989	7.826	8.283	8.505	4.940	1.729	0.379	0.083	0.018	0.004	0.015	0.617	1.155	2.796
16	1990	1.088	2.284	2.879	1.668	0.728	0.243	0.053	0.012	0.003	0.129	1.628	4.108	1.235
17	1991	6.914	7.954	7.642	3.076	0.853	0.228	0.050	0.011	0.002	0.052	0.217	2.862	2.488
18	1992	2.393	2.781	1.298	0.376	0.122	0.027	0.006	0.856	0.538	0.294	0.659	2.243	0.966
19	1993	10.082	4.387	3.369	1.855	0.576	0.127	0.028	0.038	0.023	0.964	1.453	6.223	2.427
20	1994	16.164	11.361	6.045	4.383	1.982	0.541	0.118	0.026	0.006	0.078	0.772	3.332	3.734
21	1995	5.198	8.732	8.747	3.723	1.035	0.226	0.049	0.011	0.074	0.092	0.394	2.231	2.543
22	1996	8.532	8.795	6.299	3.704	1.731	0.552	0.120	0.148	0.096	0.025	0.601	4.459	2.922
23	1997	9.978	11.498	6.016	2.820	1.190	0.370	0.081	0.138	0.698	0.413	1.242	3.534	3.165
24	1998	13.160	9.503	5.490	2.390	0.717	0.156	0.034	0.007	0.002	0.075	1.277	3.517	3.027
25	1999	6.075	11.375	12.727	7.175	2.485	0.544	0.119	0.026	0.061	0.971	0.659	1.375	3.633
26	2000	8.723	9.632	7.894	2.977	0.687	0.150	0.033	0.007	0.002	1.179	0.724	3.377	2.949
27	2001	6.817	9.860	10.404	5.636	2.385	0.722	0.212	0.126	0.054	0.013	0.182	0.622	3.086
28	2002	4.147	10.385	8.321	4.166	1.615	0.465	0.141	0.049	0.011	0.583	2.203	4.745	3.069
29	2003	7.344	10.321	10.376	4.000	1.026	0.227	0.050	0.011	0.072	0.048	0.121	3.100	3.058
Nº DATOS		29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
MEDIA		6.84	7.36	6.41	3.29	1.13	0.29	0.07	0.07	0.11	0.30	0.81	2.98	2.47
DESV.STD		3.99	3.14	2.82	1.75	0.72	0.20	0.05	0.16	0.19	0.34	0.59	1.46	0.81
Q.MAXIMO		16.164	11.498	12.727	8.336	3.182	0.735	0.212	0.856	0.698	1.179	2.203	7.235	3.734
Q.MINIMO		0.739	1.447	1.254	0.376	0.122	0.027	0.006	0.004	0.001	0.008	0.056	0.622	0.572

APÉNDICE 1.3. VALIDACIÓN, Caudales simulados

ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	2004	9.12	11.01	8.46	4.29	1.42	0.31	0.07	0.01	0.09	0.06	0.08	1.18	3.008
2	2005	4.93	9.63	6.06	3.72	1.40	0.30	0.07	0.01	0.03	0.02	0.54	4.64	2.613
3	2006	9.34	9.98	11.30	4.33	1.12	0.24	0.05	0.01	0.08	0.20	2.10	4.08	3.569
4	2007	6.38	7.81	10.76	5.50	2.03	0.54	0.12	0.03	0.20	0.27	0.15	0.19	2.830
5	2008	8.29	7.87	4.38	1.51	0.33	0.07	0.02	0.00	0.00	0.13	0.28	5.40	2.357
6	2009	4.68	7.44	5.41	2.91	1.01	0.22	0.06	0.02	0.03	0.05	1.49	2.21	2.127
7	2010	9.26	12.09	5.70	2.04	0.54	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	4.99	2.898
8	2011	9.36	11.95	11.21	5.36	1.73	0.38	0.09	0.02	0.01	0.02	0.10	3.14	3.615
9	2012	9.98	14.10	8.52	5.30	1.96	0.43	0.09	0.02	0.01	0.18	0.37	6.27	3.937
10	2013	7.02	8.39	4.38	1.43	0.31	0.07	0.02	0.01	0.00	0.26	0.40	4.08	2.198
11	2014	9.19	3.85	3.43	2.14	0.72	0.16	0.03	0.01	0.44	0.40	0.23	1.92	1.876
12	2015	5.32	5.52	5.08	5.26	2.14	0.47	0.10	0.02	0.06	0.07	0.33	1.79	2.181
13	2016	2.26	13.64	5.04	2.91	1.21	0.28	0.07	0.01	0.00	0.59	0.45	1.15	2.301
14	2017	7.14	7.76	11.62	4.78	1.68	0.51	0.12	0.03	0.04	0.04	0.14	2.94	3.067
15	2018	5.87	6.23	10.02	3.99	1.03	0.25	0.15	0.07	0.02	0.72	0.46	1.06	2.489
Nº DATOS	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MEDIA	7.21	9.15	7.42	3.70	1.24	0.29	0.07	0.02	0.07	0.20	0.47	3.00	2.74	
DESV.STD	2.27	2.98	2.95	1.45	0.60	0.15	0.04	0.02	0.12	0.22	0.57	1.83	0.61	
Q.MAXIMO	9.984	14.098	11.625	5.498	2.142	0.537	0.154	0.075	0.440	0.720	2.100	6.268	3.937	
Q.MINIMO	2.264	3.854	3.426	1.434	0.314	0.070	0.016	0.003	0.001	0.004	0.003	0.186	1.876	

APÉNDICE 2. MODELO DE LUTZ SCHOLZ

APÉNDICE 2.1. CALIBRACIÓN, Precipitación efectiva III (mm)

PRECIPITACION EFECTIVA III (mm)														
ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL
1	1975	155.50	126.00	96.10	4.70	0.20	0.10	0.00	0.00	3.80	4.60	6.30	163.30	560.60
2	1976	192.20	70.60	81.70	7.20	4.00	0.30	1.00	6.30	7.90	2.40	3.50	44.80	421.90
3	1977	7.80	117.10	106.80	5.70	0.80	0.00	0.10	1.10	1.60	5.60	24.60	48.20	319.40
4	1978	205.30	8.00	34.80	6.00	0.30	0.60	0.00	0.00	1.70	5.20	25.20	31.40	318.50
5	1979	20.50	100.00	87.40	5.90	0.00	0.00	0.10	1.30	0.00	11.10	20.50	31.50	278.30
6	1980	5.60	23.20	84.00	5.10	0.10	0.00	1.40	3.50	2.20	8.60	8.20	25.90	167.80
7	1981	205.30	117.70	32.70	10.20	1.10	0.50	0.00	0.40	2.20	2.20	8.60	66.20	447.10
8	1982	88.60	44.20	83.10	12.80	0.10	0.00	0.00	0.00	7.90	10.10	23.50	16.80	287.10
9	1983	1.40	24.40	9.70	10.90	0.20	0.50	0.00	0.30	6.40	3.10	2.50	26.20	85.60
10	1984	84.00	183.30	79.20	6.40	0.90	0.00	0.00	0.90	0.40	13.60	19.30	65.80	453.80
11	1985	6.90	142.80	112.80	101.90	3.30	0.00	0.00	0.50	3.10	1.90	16.90	80.50	470.60
12	1986	190.60	120.40	99.00	19.40	6.40	0.00	1.50	4.50	1.20	2.90	7.80	47.10	500.80
13	1987	152.80	25.10	4.70	4.90	4.50	1.50	0.80	0.50	1.00	5.70	10.80	28.80	241.10
14	1988	148.10	37.00	62.50	18.50	1.90	0.10	0.00	0.00	4.60	3.90	2.70	70.00	349.30
15	1989	135.30	103.00	104.90	21.70	1.20	0.10	1.30	0.50	0.20	2.90	12.10	14.20	397.40
16	1990	10.60	35.80	32.20	8.40	5.90	0.00	0.00	0.80	0.00	5.30	31.40	77.80	208.20
17	1991	118.80	112.40	93.40	5.00	4.40	0.00	0.80	0.00	1.40	4.00	6.10	62.90	409.20
18	1992	15.30	40.10	2.80	4.70	0.40	0.00	0.00	11.00	0.00	5.80	9.90	38.10	128.10
19	1993	189.40	9.40	37.00	7.30	1.90	0.20	0.00	3.20	1.20	18.10	16.70	136.00	420.40
20	1994	271.60	121.40	31.00	35.90	5.50	0.00	0.00	0.00	1.00	4.50	13.10	67.60	551.60
21	1995	82.00	140.00	108.10	7.70	0.10	0.00	0.00	0.90	4.30	3.80	8.30	40.30	395.50
22	1996	165.50	115.30	58.70	20.10	7.50	0.00	0.10	4.90	2.40	1.80	11.30	95.30	482.90
23	1997	167.50	151.40	27.00	10.10	5.40	0.00	0.00	4.80	11.40	0.20	22.00	69.20	469.00
24	1998	247.20	105.20	35.60	8.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	4.40	21.80	62.40	484.90
25	1999	102.60	183.00	170.20	44.20	1.10	0.10	0.00	0.00	3.90	16.40	4.30	23.10	548.90
26	2000	180.20	129.80	87.40	3.50	1.80	0.90	0.30	1.30	0.00	20.70	2.20	76.80	504.90
27	2001	114.00	145.50	132.60	24.70	7.00	0.10	3.70	3.70	1.90	1.80	6.20	10.70	451.90
28	2002	91.40	178.20	91.10	14.70	5.60	0.50	3.20	0.80	1.00	11.10	37.80	87.60	523.00
29	2003	122.30	157.20	132.70	5.90	1.90	0.20	0.00	0.40	4.10	1.30	5.10	73.50	504.60
Nº DATOS	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
PROMEDIO	119.94	98.88	73.08	15.23	2.53	0.20	0.49	1.78	2.65	6.31	13.40	58.00	392.50	
DESV.STD	77.99	54.88	42.04	19.29	2.48	0.34	0.95	2.54	2.81	5.30	9.33	34.81	131.09	
PREC. AL 75%	67.34	61.86	44.72	2.22	0.86	-0.03	-0.15	0.07	0.75	2.74	7.11	34.52	304.07	
C. V.	0.65	0.56	0.58	1.27	0.98	1.70	1.92	1.42	1.06	0.84	0.70	0.60	0.33	
P.MIMIMO	1.40	8.00	2.80	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	10.70	85.60	
P.MAXIMO	271.60	183.30	170.20	101.90	7.50	1.50	3.70	11.00	11.40	20.70	37.80	163.30	560.60	

APÉNDICE 2.2. CALIBRACIÓN, Valores aleatorios Z

Números Aleatorios (0,1)*

(*) = (Media=0, desv std = 1)

ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.12	-0.42	-1.18	1.01	-0.83	1.35	0.48	-0.63	-0.16	-0.34	-0.94	-0.13
2	-1.36	-1.92	0.66	-0.06	-0.33	-0.46	0.84	1.14	1.70	1.60	-2.01	-0.22
3	0.42	-1.10	-0.12	0.00	-0.17	-0.43	0.39	0.15	-1.52	-0.33	0.77	-0.28
4	0.38	-1.28	-0.98	0.60	-0.79	-0.04	0.39	0.76	-1.42	-1.44	0.26	1.75
5	-0.02	0.21	-2.12	1.65	-1.55	-0.72	-0.35	0.68	-0.75	1.04	1.47	0.45
6	-2.06	-0.10	0.13	-1.09	0.03	0.23	1.80	-0.26	-1.68	0.07	-0.52	-0.32
7	-0.11	0.85	0.28	0.90	0.70	0.55	-0.10	-0.02	0.20	-0.39	0.74	1.50
8	-1.50	-0.60	-0.78	-0.71	0.20	-0.21	0.16	-0.09	1.21	1.03	0.53	-0.07
9	-1.26	-0.60	0.10	-0.28	0.78	0.87	-1.77	-0.22	0.13	0.08	-1.51	-0.12
10	0.41	1.15	0.73	-0.64	-0.25	0.36	-1.23	0.80	-0.21	-0.15	0.40	-1.25
11	-1.56	1.44	-0.73	-1.15	0.72	1.26	-1.80	0.48	0.63	1.19	0.02	0.38
12	1.45	2.13	-0.13	-0.72	-1.68	0.30	0.53	-0.26	-2.19	-1.00	-0.21	-0.94
13	-0.44	-0.10	-1.57	-0.15	0.25	-0.13	-0.86	0.20	-0.75	-0.36	0.60	-0.81
14	0.45	0.51	0.75	0.31	-0.88	0.80	0.03	-0.63	-0.76	-0.01	-0.82	1.36
15	-2.02	2.35	1.27	0.05	0.33	0.06	1.79	-0.06	-0.12	1.25	-1.19	1.29
16	-1.53	-0.06	1.27	-0.22	-1.21	1.58	1.03	-1.12	-0.19	1.03	-0.25	1.71
17	0.65	-0.75	-2.01	-1.55	-0.87	-0.20	0.50	-0.64	-0.47	-1.22	-0.29	-0.92
18	-0.47	-1.66	1.06	-1.49	-0.68	1.35	-0.46	-1.22	-2.30	0.08	0.12	-1.25
19	0.19	-0.91	-0.92	-2.22	-0.68	-0.68	0.81	0.45	-0.44	-1.80	-0.28	-0.25
20	0.92	-0.12	-0.22	0.56	-0.14	0.07	0.40	2.15	-0.36	-0.19	-1.85	0.87
21	0.10	1.33	0.74	-0.65	-1.30	2.10	1.07	0.22	-0.01	0.45	-0.63	0.79
22	0.46	-0.98	-0.05	0.36	-0.76	0.82	0.03	-0.44	1.47	-0.46	0.58	-1.73
23	-0.40	2.04	0.22	-1.14	0.34	-0.66	-1.97	0.58	-2.74	0.99	0.63	1.76
24	-1.37	1.45	-0.18	0.24	0.79	1.54	0.20	0.56	0.27	0.01	1.77	-0.96
25	1.54	0.69	-0.64	1.42	0.90	0.28	-1.76	-0.34	-0.81	1.01	-0.26	0.10
26	0.81	0.56	0.71	0.42	-0.62	0.11	-0.35	-0.87	-0.32	-2.77	-0.55	0.10
27	0.61	0.63	0.09	-0.24	0.40	0.04	-1.85	-1.09	-0.31	-1.22	-0.30	-0.64
28	0.55	0.22	0.56	-0.29	-0.54	1.14	-0.36	-0.53	1.66	0.62	-0.89	0.93
29	0.81	-0.75	0.01	1.05	0.78	-0.15	-0.28	1.41	0.15	-0.58	-1.80	0.26
MEDIA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DESV.STD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MAYOR	1.537	2.349	1.272	1.654	0.896	2.097	1.803	2.154	1.700	1.604	1.773	1.763
MENOR	-2.061	-1.919	-2.123	-2.216	-1.676	-0.723	-1.967	-1.216	-2.738	-2.769	-2.015	-1.727

APÉNDICE 2.3. CALIBRACIÓN, Generación de caudales

ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	1975	13.041	9.568	7.568	0.500	0.154	0.158	0.144	0.140	0.424	0.498	0.605	12.361	3.763
2	1976	16.071	5.411	6.469	0.679	0.452	0.160	0.221	0.641	0.744	0.343	0.388	3.492	2.923
3	1977	0.805	8.896	8.404	0.567	0.206	0.137	0.151	0.231	0.249	0.576	1.987	3.746	2.163
4	1978	17.170	0.730	2.829	0.594	0.162	0.185	0.143	0.151	0.257	0.536	2.028	2.503	2.274
5	1979	1.854	7.626	6.888	0.594	0.133	0.135	0.145	0.251	0.135	1.011	1.685	2.501	1.913
6	1980	0.603	1.876	6.642	0.514	0.153	0.142	0.258	0.414	0.293	0.811	0.750	2.076	1.211
7	1981	17.166	8.956	2.676	0.910	0.235	0.182	0.140	0.176	0.307	0.312	0.789	5.106	3.080
8	1982	7.485	3.444	6.566	1.093	0.154	0.139	0.142	0.144	0.741	0.934	1.903	1.397	2.012
9	1983	0.261	1.962	0.896	0.954	0.167	0.184	0.127	0.167	0.620	0.385	0.316	2.100	0.678
10	1984	7.119	13.867	6.276	0.615	0.213	0.143	0.131	0.221	0.169	1.196	1.588	5.056	3.050
11	1985	0.715	10.838	8.863	7.759	0.406	0.150	0.127	0.187	0.377	0.301	1.405	6.168	3.108
12	1986	15.961	9.167	7.801	1.587	0.627	0.143	0.257	0.491	0.214	0.362	0.723	3.659	3.416
13	1987	12.813	2.019	0.497	0.506	0.495	0.252	0.194	0.185	0.210	0.583	0.953	2.290	1.750
14	1988	12.431	2.914	4.984	1.527	0.285	0.154	0.141	0.140	0.479	0.447	0.336	5.389	2.436
15	1989	11.350	7.867	8.268	1.765	0.240	0.148	0.251	0.183	0.154	0.379	1.037	1.213	2.738
16	1990	1.021	2.819	2.645	0.768	0.592	0.152	0.148	0.198	0.139	0.563	2.489	5.976	1.459
17	1991	10.005	8.547	7.353	0.503	0.479	0.139	0.204	0.140	0.242	0.445	0.595	4.841	2.791
18	1992	1.420	3.129	0.370	0.481	0.171	0.150	0.137	0.987	0.124	0.594	0.882	2.983	0.952
19	1993	15.851	0.838	3.000	0.671	0.287	0.150	0.146	0.396	0.227	1.531	1.388	10.317	2.900
20	1994	22.668	9.226	2.541	2.831	0.569	0.141	0.143	0.161	0.213	0.492	1.107	5.206	3.775
21	1995	6.951	10.628	8.511	0.712	0.143	0.156	0.148	0.216	0.462	0.442	0.757	3.162	2.691
22	1996	13.873	8.763	4.685	1.648	0.719	0.146	0.148	0.521	0.331	0.281	0.990	7.260	3.280
23	1997	14.032	11.487	2.235	0.888	0.565	0.136	0.126	0.521	0.974	0.168	1.792	5.332	3.188
24	1998	20.627	8.025	2.897	0.748	0.151	0.159	0.142	0.157	0.142	0.485	1.785	4.804	3.344
25	1999	8.670	13.842	13.303	3.459	0.237	0.150	0.127	0.143	0.426	1.421	0.460	1.870	3.676
26	2000	15.093	9.859	6.910	0.406	0.280	0.209	0.160	0.239	0.138	1.725	0.301	5.889	3.434
27	2001	9.607	11.035	10.401	1.988	0.690	0.148	0.404	0.423	0.280	0.275	0.602	0.937	3.066
28	2002	7.733	13.479	7.195	1.239	0.574	0.186	0.377	0.203	0.227	1.008	2.963	6.703	3.491
29	2003	10.296	11.900	10.408	0.590	0.298	0.154	0.138	0.187	0.448	0.241	0.509	5.643	3.401
Nº DATOS	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
MEDIA	10.09	7.54	5.80	1.28	0.34	0.16	0.18	0.28	0.34	0.63	1.14	4.48	2.69	
DESV.STD	6.46	4.11	3.25	1.44	0.19	0.03	0.07	0.20	0.21	0.41	0.70	2.61	0.86	
Q.MAXIMO	22.668	13.867	13.303	7.759	0.719	0.252	0.404	0.987	0.974	1.725	2.963	12.361	3.775	
Q.MINIMO	0.261	0.730	0.370	0.406	0.133	0.135	0.126	0.140	0.124	0.168	0.301	0.937	0.678	

APÉNDICE 2.4. VALIDACIÓN, Generación de caudales

ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	2004	13.976	11.696	7.088	1.313	0.132	0.209	0.217	0.261	0.486	0.211	0.458	1.815	3.155
2	2005	8.565	11.921	3.506	1.920	0.158	0.142	0.144	0.210	0.378	0.273	0.933	7.857	3.001
3	2006	13.062	10.046	12.039	0.631	0.148	0.166	0.142	0.245	0.452	0.584	3.225	5.234	3.831
4	2007	8.902	8.295	12.005	1.726	0.529	0.155	0.249	0.140	0.592	0.569	0.395	0.556	2.843
5	2008	15.451	7.232	1.773	0.267	0.281	0.168	0.164	0.173	0.152	0.560	0.619	9.505	3.029
6	2009	3.642	9.325	3.360	1.119	0.173	0.149	0.316	0.174	0.383	0.404	2.297	2.173	1.960
7	2010	15.574	13.254	1.807	0.552	0.240	0.159	0.144	0.159	0.166	0.319	0.184	8.887	3.454
8	2011	12.712	12.642	10.583	1.467	0.146	0.141	0.321	0.162	0.146	0.384	0.501	5.547	3.729
9	2012	14.958	15.141	5.503	2.641	0.289	0.159	0.147	0.174	0.287	0.617	0.660	10.801	4.281
10	2013	7.758	8.904	1.441	0.217	0.282	0.301	0.301	0.199	0.142	0.704	0.642	7.097	2.332
11	2014	12.977	0.663	3.691	0.824	0.179	0.131	0.164	0.188	0.810	0.535	0.506	2.980	1.971
12	2015	8.095	4.692	4.083	4.282	0.268	0.139	0.133	0.229	0.436	0.411	0.715	2.477	2.163
13	2016	2.232	19.902	0.869	2.179	0.177	0.320	0.180	0.258	0.186	0.994	0.449	1.560	2.442
14	2017	12.495	7.631	13.382	0.823	0.620	0.177	0.330	0.146	0.396	0.367	0.540	5.128	3.503
15	2018	8.061	5.808	11.767	0.573	0.196	0.365	0.460	0.224	0.242	1.155	0.238	1.453	2.545
Nº DATOS		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MEDIA		10.56	9.81	6.19	1.37	0.25	0.19	0.23	0.20	0.35	0.54	0.82	4.87	2.95
DESV.STD		4.18	4.62	4.53	1.08	0.14	0.07	0.10	0.04	0.19	0.26	0.83	3.32	0.71
Q.MAXIMO		15.574	19.902	13.382	4.282	0.620	0.365	0.460	0.261	0.810	1.155	3.225	10.801	4.281
Q.MINIMO		2.232	0.663	0.869	0.217	0.132	0.131	0.133	0.140	0.142	0.211	0.184	0.556	1.960

APÉNDICE 3. MODELO SWAT. Generación de caudales (m3/s)

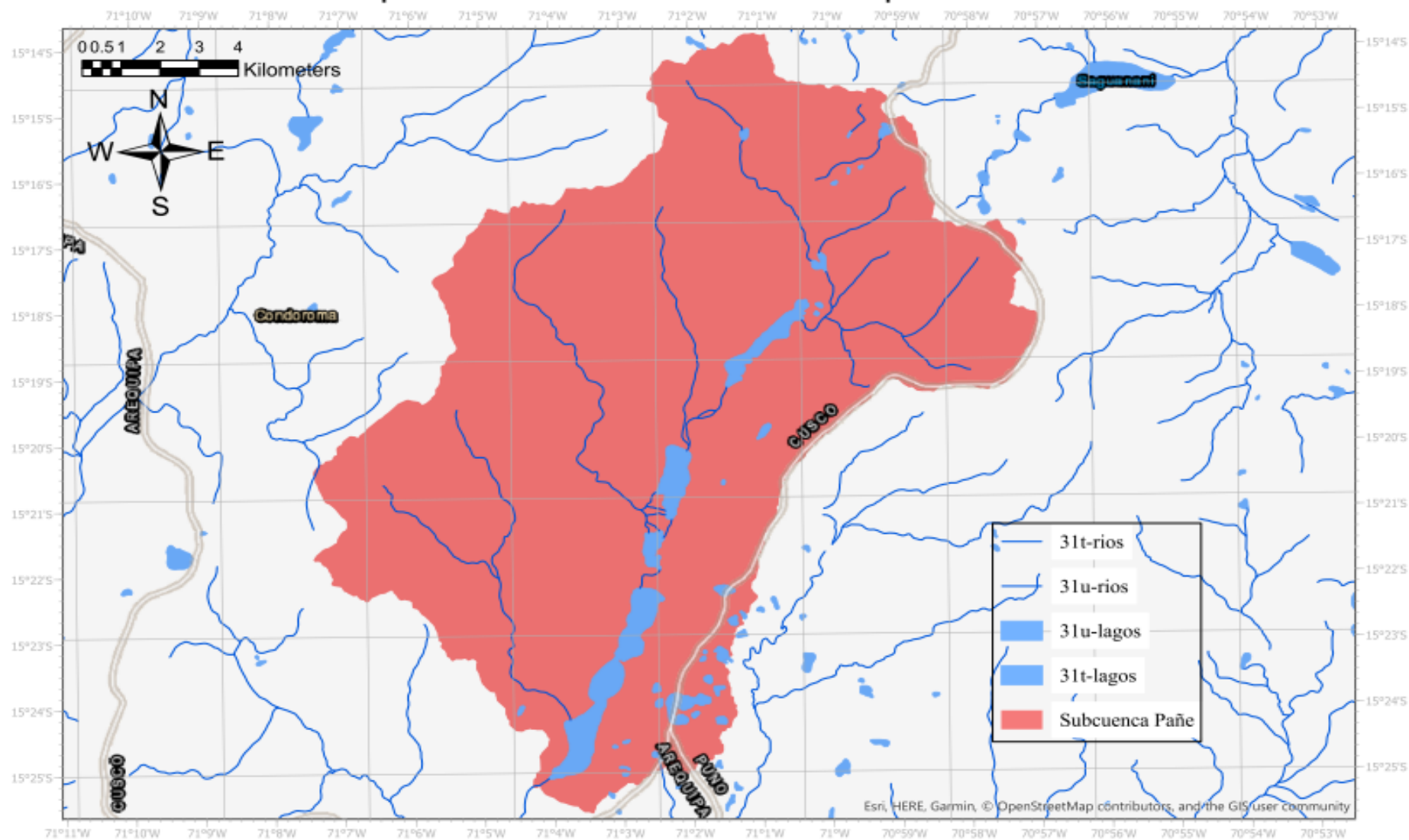
ITEM	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	TOTAL
1	2004	6.22	10.20	7.08	5.55	2.29	0.73	0.14	0.07	0.21	0.02	0.19	0.69	2.781
2	2005	3.38	7.03	4.66	4.46	2.05	0.68	0.07	0.04	0.13	0.04	0.64	2.52	2.142
3	2006	5.49	9.00	9.59	5.56	2.95	1.09	0.13	0.08	0.19	0.24	1.37	2.28	3.166
4	2007	5.07	6.46	9.01	5.65	3.09	1.14	0.19	0.03	0.27	0.33	0.16	0.29	2.640
5	2008	5.28	5.14	4.05	2.26	0.90	0.09	0.02	0.00	0.00	0.20	0.24	3.27	1.788
6	2009	2.29	5.36	5.34	3.89	1.65	0.37	0.13	0.02	0.11	0.13	0.96	1.26	1.793
7	2010	6.04	9.25	5.86	3.45	1.48	0.22	0.04	0.01	0.01	0.07	0.01	3.12	2.463
8	2011	6.22	8.58	9.78	6.51	3.00	1.20	0.24	0.04	0.01	0.12	0.23	2.34	3.189
9	2012	6.50	10.04	8.60	6.30	3.01	1.13	0.15	0.05	0.09	0.25	0.48	3.97	3.379
10	2013	4.18	6.72	4.91	2.58	1.03	0.18	0.10	0.02	0.00	0.34	0.37	2.31	1.894
11	2014	6.17	2.82	3.72	1.80	0.42	0.04	0.01	0.01	0.39	0.23	0.24	1.16	1.418
12	2015	2.84	4.28	3.77	4.37	1.92	0.73	0.07	0.04	0.13	0.12	0.43	1.47	1.680
13	2016	1.40	10.98	3.78	3.63	1.24	0.31	0.05	0.05	0.01	0.59	0.24	0.66	1.912
14	2017	4.61	5.52	9.39	5.14	3.04	1.13	0.22	0.03	0.13	0.11	0.26	1.92	2.624
15	2018	3.66	4.96	8.47	4.26	2.23	0.79	0.27	0.06	0.05	0.71	0.05	0.74	2.186
Nº DATOS		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
MEDIA		4.62	7.09	6.53	4.36	2.02	0.65	0.12	0.04	0.12	0.23	0.39	1.87	2.34
DESV.STD		1.60	2.46	2.39	1.44	0.88	0.42	0.08	0.02	0.11	0.20	0.36	1.09	0.61
Q.MAXIMO		6.496	10.980	9.784	6.509	3.091	1.199	0.267	0.079	0.386	0.712	1.369	3.971	3.379
Q.MINIMO		1.401	2.822	3.719	1.800	0.421	0.043	0.014	0.005	0.000	0.019	0.013	0.291	1.418



ANEXO 8. MAPAS



Mapa Base de la Subcuenca de la represa El Pañe





Mapa de estaciones de precipitación

