

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

PROGRAMA ESPECIAL DE TITULACIÓN (PET)

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA y OO. SS



TRABAJO FINAL DE TITULACIÓN

**Calibración del Modelo Hidrológico Thomas (abcd) para Estimación
Caudales Medios en la Cuenca del Río Tolomosa**

Por:

Grover Cruz Mejía

Proyecto elaborado en el programa especial de titulación (PET)

Marzo de 2015

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

El presente Proyecto está dedicado a toda mi familia a mis queridos padres que Dios les acogió en su gloria, a Olma y a nuestros hijo Josafat y Emely por el apoyo incondicional y tolerancia que tuvieron en todo momento, para poder llevar a cabo esta labor con gran responsabilidad, hasta su culminación.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
I.1 ANTECEDENTES	1
I.2 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
I.2.1 Análisis del problema	2
I.2.2. Descripción del problema	2
I.3. JUSTIFICACIÓN	3
I.4. OBJETIVOS	4
I.4.1. Objetivo general.....	4
I.4.2. Objetivos específicos	4
I.5 ALCANCE	4

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA

	Página
II.1. DEFINICIÓN DE HIDROLOGÍA.....	5
II.2. EL CICLO HIDROLÓGICO	6
II.3. FASES DEL CICLO HIDROLÓGICO	8
II.3.1. Precipitación	8
II.3.1.1. Variabilidad de la precipitación.....	11
II.3.1.2. Las pérdidas de la precipitación	12
II.3.2. Evaporación	12
II.3.3. Evapotranspiración	13
II.3.3.1. Retención.....	13
II.3.3.2. Intercepción	14
II.3.3.3. Almacenamiento en depresiones	14

II.3.4. Infiltración	14
II.3.5. Escorrentía.....	18
II.3.5.1. Escorrentía superficial	18
II.3.5.2. Escorrentía subterráneo	18
II.4. TRANSFORMACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA	19
II.5. HIDROGRAMAS	20
II.6. CUENCA HIDROGRÁFICA	21
II.6.1. Divisorias de aguas.....	22
II.6.2. Características físicas de una cuenca.....	22
II.6.2.1. Área de drenaje.....	23
II.6.2.2. El río principal.....	23
II.6.2.3. Forma de la cuenca.....	23
II.6.3. Características del relieve.....	25
II.6.3.1. Pendiente media de la cuenca.....	25
II.6.3.2. Histogramas de frecuencias altimétricas	25
II.6.3.3. Curva hipsométrica.....	26
II.6.3.4. Alturas características.....	26
II.6.3.5. Pendiente del cauce principal	27
II.6.3.6. Rectángulo equivalente	29
II.6.3.7. Tiempo de concentración	29
II.6.4. Características de la red de drenaje	30
II.6.4.1. Orden de la cuenca	31
II.6.4.2. Relación de bifurcación.....	32
II.6.4.3. Relación de longitud.....	33
II.6.4.4. Relación de área	33
II.6.4.5. Densidad de drenaje	33

CAPÍTULO III
RELACIÓN PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA

	Página
III.1. INTRODUCCIÓN	34
III.2. MÉTODOS PARA ESTIMAR EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....	34
III.2.1. Método racional.....	35
III.2.2. Hidrogramas sintéticos	35
III.2.2.1. Hidrograma triangular del SCS	36
III.2.2.2. Hidrograma adimensional del SCS	36
III.2.2.3. Hidrograma unitario	37
III.2.2.4. Cálculo de la precipitación neta o efectiva.....	39
III.2.3. Número de curva	39
III.2.4. Modelos	40

CAPÍTULO IV
MODELOS HIDROLÓGICOS DE
PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA

	Página
IV.1. INTRODUCCIÓN	41
IV.2. CLASIFICACIÓN DE MODELOS DE CUENCAS	42
IV.2.1. Modelos materiales versus modelos formales	42
IV.2.2. Tipos de modelos matemáticos de cuencas	43
IV.2.3. Modelos lineales versus modelos no lineales	46
IV.2.4. Modelos de tiempo invariable versus modelos de tiempo variable	47
IV.2.5. Modelos globales versus modelos distribuidos.....	47
IV.2.6. Modelos continuos versus modelos discretos	48
IV.2.7. Modelos analíticos versus modelos numéricos.....	49
IV. 2.8. Modelos de eventos aislados versus modelos continuos	49
IV.3. COMPONENTES DEL MODELO	50
IV.3.1. Precipitación	50

IV.3.2. Abstracciones hidrológicas	55
IV.3.3. Esguerrimiento.....	58
IV.4. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y APLICACIÓN	60
IV.5. CALIBRACIÓN DEL MODELO Y VERIFICACIÓN	61
IV.6. MODELOS DE BALANCE HÍDRICOS EN CUENCAS	65
IV.6.1. Modelos con pocos parámetros.....	66
IV.6.2. Modelos con muchos parámetros.....	68

CAPÍTULO V

MODELO HIDROLÓGICO THOMAS (abcd) PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

Página

V.1. INTRODUCCIÓN	70
V.2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO (abcd).....	70
V.3. ERROR EN LA CALIBRACIÓN DEL MODELO.....	74
V.3.1. Estadísticos.....	74

CAPÍTULO VI

CALIBRACIÓN Y APLICACIÓN DEL MODELO EN LA CUENCA DEL RÍO TOLOMOSA

Página

VI.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA TOLOMOSA	80
VI.1.1 Ubicación geográfica de las cuencas de aporte.....	80
VI.1.2. Delimitación de la cuenca de aporte	81
VI.1.3. Caracterización climática.....	82
VI.2. PROPIEDADES DE LAS CUENCAS EN ESTUDIO	85

VI.2.1. Área.....	85
VI.2.2. Perímetro.....	86
VI.2.3. Longitud del río principal	86
VI.2.4. Índice de compacidad o Gravelius	87
VI.2.5. Índice de pendiente global	88
VI.2.6. Tiempo de concentración.....	89
VI.2.7. Análisis de precipitaciones	90
VI.2.8. Análisis de consistencia	90
VI.2.9. Determinación de volúmenes y caudales medios	93
VI.2.10. Determinación de la evaporación de referencia.....	97
VI.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	98
VI.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO	99
VI.5. VALIDACIÓN DEL MODELO	106
VI.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN	108
VI.7. GENERACIÓN DE CAUDALES APARTIR DE PRECIPITACIONES.....	111

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
VII.1. CONCLUSIONES.....	112
VII.2. RECOMENDACIONES	114

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA.1. El ciclo hidrológico	7
FIGURA.2. Formación de las gotas de lluvia	10
FIGURA.3. Zona del agua subsuperficial.....	16
FIGURA.4. Distribución de humedad del perfil de suelo.....	17
FIGURA.5. Agua subterránea.....	18
FIGURA.6. Hidrograma de tormenta.....	20
FIGURA.7. Cuenca hidrográfica de Tolomosa.....	22
FIGURA.8. Histograma de frecuencia altimétrica de una cuenca	25
FIGURA.9. Curva hipsométrica	26
FIGURA.10. Perfil longitudinal de un cauce.....	28
FIGURA.11. Rectángulo equivalente	29
FIGURA.12. Ejemplo lluvia sobre un canal	30
FIGURA.13. Red de drenaje	31
FIGURA.14. Orden de los cauces de una cuenca	32
FIGURA.15. Hidrograma adimensional	37
FIGURA.16. Hidrograma unitario	37
FIGURA.17.18. Hidrogramas unitarios	38
FIGURA.19. Tipos de distribución de lluvia temporal.....	54
FIGURA.20. Esquema de una cuenca natural	72
FIGURA.21. Estructura del modelo abcd.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA.1. Estimación de caudales globales de agua	8
TABLA.2. Resumen climatológico estación San Andrés	83
TABLA.3. Resumen climatológico estación San Jacinto	83
TABLA.4. Resumen climatológico estación San Jacinto Sud	84
TABLA.5. Resumen climatológico estación Aeropuerto	85
TABLA.6. Evapotranspiración de referencia cuenca Tolomosa	97

ÍNDICE DE MAPAS

	Página
MAPA.1. Ubicación de la zona de estudio	80
MAPA.2. Ubicación de la presa de la cuenca	81
MAPA.3. Delimitación de la cuenca de aporte	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 1. CAUDALES DIARIOS AFORADOS EN LA ESTACIÓN
SAN JACINTO

ANEXO N° 2. PRECIPITACIONES FUENTE SENAMHI

