



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

**MANEJO Y CALIBRACIÓN DE UN MODELO HIDROLÓGICO DE PARÁMETROS
DISTRIBUIDOS Y SU APLICACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DE EVENTOS DE
DISEÑO, EN LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

P R E S E N T A :

JESÚS MARTÍNEZ CUAXOSPA

TUTOR PRINCIPAL:

Dr. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **DR. FUENTES MARILES OSCAR ARTURO**

SECRETARIO: **DR. GRACIA SÁNCHEZ JESÚS**

VOCAL: **DR. DOMÍNGUEZ MORA RAMÓN**

1^{er} SUPLENTE: **M.I. FRANCO VÍCTOR**

2^{do} SUPLENTE: **DR. JIMÉNEZ CASTAÑEDA AMADO ABEL**

MÉXICO, DISTRITO FEDERAL, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

DR. RAMÓN DOMÍNGUEZ MORA

FIRMA

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1. CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA APLICADOS EN HIDROLOGÍA	5
2.1.1. MÉTODOS PARA OBTENER LOS PARÁMETROS POBLACIONALES	7
2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS.....	10
2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS	11
2.2.2. MODELOS MATEMÁTICOS.....	11
2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS.....	12
2.2.4. MODELOS DE PARÁMETROS CONCENTRADOS O AGREGADO	13
2.2.5. MODELOS DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS.....	14
2.3. RELACION LLUVIA – ESCURRIMIENTO	15
2.3.1. PRODUCCIÓN DEL ESCURRIMIENTO (PÉDIDAS)	15
2.3.2. HIDROGRAMAS	18
3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE).....	25
3.1. MÉTODOS EMPLEADOS EN EL MPE.....	26
3.1.1. MÉTODO DE SHEPARD (MODELO DE PRECIPITACIÓN)	26
3.1.2. MÉTODO DE NÚMERO DE CURVA (MODELO DE PRODUCCIÓN DE ESCURRIMIENTO).....	28
3.2. PÉRDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACIÓN (FACTOR DE OLVIDO)	34
3.3. MÉTODO DE CLARK MODIFICADO (MODELO DE TRANSFERENCIA DE ESCURRIMIENTO).....	35
3.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO MPE	39
3.4.1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA MPE	39
3.4.2. CONTENIDO DEL PROGRAMA Y ARCHIVOS DE ENTRADA.....	40
4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	45
4.1. BANCO NACIONAL DE DATOS DE AGUAS SUPERFICIALES (BANDAS)	45
4.2. BASE DE DATOS CLICOM	53
4.2.1. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS	54
4.2.2. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	54
4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN (PRIMERA APROXIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO)....	63

CONTENIDO

4.4.	ARCHIVO DE LLUVIAS PARA UN $Tr= 100$ AÑOS	66
5.	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	69
5.1.	CLIMA	71
5.2.	EDAFOLOGÍA	72
5.3.	GEOLOGÍA.....	74
5.4.	OROGRAFÍA.....	76
5.5.	HIDROGRAFÍA.....	76
5.6.	VEGETACIÓN Y USO DE SUELO.....	78
6.	OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS.....	81
6.1.	MODELOS DIGITALES DE TERRENO Ó ELEVACIÓN (MDT Ó MDE).....	84
6.1.2.	UNIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.....	86
6.2.	CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DEL HEC-GEOHMS	88
6.2.1.	INSTALACIÓN DEL HEC-GEOHMS.....	89
6.3.	PRE-PROCESO DE TERRENO CON INFORMACIÓN DEL MDE	90
6.3.1.	FILL SINKS (CORRECCIÓN DE CELDAS)	90
6.3.2.	FLOW DIRECTION (DIRECCIÓN DEL FLUJO).....	91
6.3.3.	FLOW ACCUMULATION (ACUMULACIÓN DEL FLUJO).....	93
6.3.4.	STREAM DEFINITION (DELINEACIÓN DE CUENCAS Y CORRIENTES)	94
6.3.5.	STREAM SEGMENTATION (SEGMENTACIÓN DE CORRIENTES).....	95
6.3.6.	CATCHMENT GRID DENILEATION (DELINEACIÓN DE SUBCUENCAS).....	96
6.3.7.	CATCHMENT POLYGON PROCESSING (PROCESAMIENTO DE SUBCUENCAS).....	97
6.3.8.	DRAINAGE LINE PROCESSING (PROCESAMIENTO DE LA LÍNEA DE DRENAJE).....	98
6.3.9.	ADJOINT CATCHMENT PROCESSING (ADICIÓN DE SUBCUENCAS).....	99
6.4.	CREACIÓN DEL PROYECTO DE CUENCA CON HEC-GEOHMS	101
6.4.1.	CREAR UN NUEVO PROYECTO	102
6.4.2.	PUNTO DE SALIDA DE LA CUENCA	102
6.4.3.	GENERACIÓN DEL PROYECTO	103
6.4.4.	UNIÓN DE SUBCUENCAS.....	104
6.4.5.	UNIÓN DE CORRIENTES	105
6.5.	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	109
6.5.1.	RIVER AUTO NAME	110
6.5.2.	BASIN AUTO NAME	110
6.5.3.	GRID CELL PROCESSING	110

6.5.4.	SELECCIÓN DEL SI Y CREACIÓN DEL ARCHIVO EN FORMATO DE MALLA	114
6.6.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA	116
6.6.1.	CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO	119
6.6.2.	ASIGNACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA.....	122
7.	APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE).....	129
7.1.	DATOS DE ENTRADA DEL MPE	130
7.2.	OBTENCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA	132
7.3.	ESCURRIMIENTOS	133
7.4.	CALIBRACIÓN DEL MPE	134
7.5.	APLICACIÓN DEL MPE A UNA TORMENTA CON $Tr = 100$ AÑOS.....	137
7.6.	RESUMEN DE RESULTADOS.....	139
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	143
A.	PARÁMETROS DE AJUSTE PARA LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN GUMBEL Y DOBLE GUMBEL.....	147
I.	ESTACIONES DE LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	149
II.	ESTACIONES DE LA ZONA ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	151
B.	TABLAS DE RESULTADOS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA BAJA).....	153
C.	TABLAS DE RESULTADOS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA ALTA)	163
D.	GRÁFICAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA BAJA)	189
E.	GRÁFICAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA ALTA)	195
F.	AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN (PROGRAMA).....	207
	PROGRAMA AX.EXE	209

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1.1 MÉTODOS Y ECUACIONES PARA EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN GUMBEL.....	9
TABLA 3.1.1 CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS TIPOS DE SUELO SEGÚN SU PERMEABILIDAD.....	31
TABLA 3.1.2 NÚMERO DE CURVA SEGÚN LA COBERTURA DEL SUELO	32
TABLA 4.1 DATOS GENERALES DE LAS ESTACIONES HIDROMÉTRICAS CONSIDERADAS (BANDAS).....	46
TABLA 4.2 GASTOS MÁXIMOS ANUALES E INSTANTÁNEOS DE LA ESTACIÓN COLIMAN (16032).....	47
TABLA 4.3 GASTOS MÁXIMOS ANUALES E INSTANTÁNEOS DE LA ESTACIÓN PEÑITAS II (16036).....	48
TABLA 4.4 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN DOBLE GUMBEL DE LA ESTACIÓN COLIMAN.....	51
TABLA 4.5 PARÁMETROS UTILIZADOS EN EL AJUSTE DE LA FUNCIÓN DOBLE GUMBEL DE LA ESTACIÓN PEÑITAS II	51
TABLA 4.6 EXTRAPOLACIÓN DE GASTOS PARA LA ESTACIÓN COLIMAN	52
TABLA 4.7 EXTRAPOLACIÓN DE GASTOS PARA LA ESTACIÓN PEÑITAS II	52
TABLA 4.8 OCURRENCIA DE EVENTOS EXTRAORDINARIOS.....	53
TABLA 4.9 GASTOS QUE SE PRESENTARON CINCO DÍAS ANTES Y CINCO DÍAS DESPUÉS A PARTIR DE EVENTOS EXTRAORDINARIOS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN COLIMAN	53
TABLA 4.10 ESTACIONES DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA	56
TABLA 4.11 DATOS DE LLUVIA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	58
TABLA 4.12 DATOS DE LLUVIA DEL EVENTO EXTREMO DE 1974.....	60
TABLA 4.13 DATOS DE LLUVIA DURANTE EL EVENTO DE 1987	61
TABLA 4.14 DATOS DE LLUVIA EN EL EVENTO MÁXIMO DE 1992	61
TABLA 4.15 DATOS DE LLUVIA PARA EL EVENTO EXTRAORDINARIO DE 1999	62
TABLA 4.16 VALORES DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (APARICIO. M. J. 2009)	63
TABLA 4.17 INFORMACIÓN DE LLUVIAS PARA EL EVENTO DEL 27/01/1992	67
TABLA 4.18 ÁREAS DE ACUERDO A LA ZONA DE LA CUENCA.....	67
TABLA 4.19 PRECIPITACIÓN ASOCIADA A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (ZONA ALTA).....	67

TABLA 4.20 PRECIPITACIÓN ASOCIADA A DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (ZONA BAJA).....	67
TABLA 4.21 HP ASOCIADA A DISTINTOS TR (MÉTODO ARITMÉTICO Y PONDERADO).....	68
TABLA 4.22 INFORMACIÓN DE LLUVIAS PARA UN TR DE 100 AÑOS	68
TABLA A-1 PARÁMETROS DE AJUSTE DE CADA ESTACIÓN, CONSIDERADAS EN LA ZONA BAJA DE LA CUENCA	149
TABLA A-2 PARÁMETROS DE AJUSTE PARA LAS ESTACIONES EN LA ZONA ALTA DE LA CUENCA.....	151
TABLA B-1 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6007	154
TABLA B-2 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6008	155
TABLA B-3 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6014	156
TABLA B-4 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6015	157
TABLA B-5 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6017	158
TABLA B-6 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6020	159
TABLA B-7 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6023	160
TABLA B-8 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 6052	161
TABLA B-9 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14352	162
TABLA C-1 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14013	164
TABLA C-2 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14014	165
TABLA C-3 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14019	166
TABLA C-4 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14031	167
TABLA C-5 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14041	168
TABLA C-6 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14043	169
TABLA C-7 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14046	170
TABLA C-8 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14050	171
TABLA C-9 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14051	172
TABLA C-10 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14052	173
TABLA C-11 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14078	174

CONTENIDO

TABLA C-12 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14049	175
TABLA C-13 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14139	176
TABLA C-14 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14142	177
TABLA C-15 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14143	178
TABLA C-16 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14151	179
TABLA C-17 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14155	180
TABLA C-18 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14158	181
TABLA C-19 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14184	182
TABLA C-20 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14185	183
TABLA C-21 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14190	183
TABLA C-22 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14301	184
TABLA C-23 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14311	185
TABLA C-24 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14312	185
TABLA C-25 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14343	186
TABLA C-26 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14350	186
TABLA C-27 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14390	187
TABLA C-28 RESULTADOS DEL AJUSTE, ESTACIÓN 14395	187
TABLA F-1 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD, QUE EMPLEA EL PROGRAMA AX	209

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.2.1 ESQUEMA GENERAL DE UN MODELO HIDROLÓGICO CONCENTRADO CLÁSICO, CON HU (FUENTE: CARLES CORRAL)	13
FIGURA 2.3.1 HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR (FUENTE: APARICIO, 2007)	22
FIGURA 2.3.2 HIDROGRAMA UNITARIO ADIMENSIONAL	23
FIGURA 3.3.1 MODELO DE ESCURRIMIENTO DIRECTO CONCEPTUAL DEL MODELO DE CLARK (PARÁMETROS DISTRIBUIDOS)	36
FIGURA 3.3.2 ALMACENAMIENTOS DURANTE EL PASO DE UNA AVENIDA	37
FIGURA 3.4.1 PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA MPE	40
FIGURA 4.2.1 UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA	55
FIGURA 4.4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	70
FIGURA 5.1.1 CLIMA EN LA CUENCA DE ACUERDO CON LA CLASIFICACIÓN DE KOOPEN	71
FIGURA 5.2.1 EDAFOLOGÍA. (FUENTE INEGI 2010)	74
FIGURA 5.3.1 GEOLOGÍA	75
FIGURA 5.4.1 OROGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA	76
FIGURA 5.5.1 HIDROGRAFÍA DE LA CUENCA EN ESTUDIO.....	77
FIGURA 5.6.1 VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	79
FIGURA 5.6.1 ESTRUCTURA DE UN SIG (FUENTE: GEOCIVIL, HUGO F.).....	83
FIGURA 6.1.1 LINK DE DESCARGA DEL CEM (INEGI, 2011).....	84
FIGURA 6.1.2 OPCIONES DE DESCARGA DE INFORMACIÓN DE MDE.....	85
FIGURA 6.1.3 GLOBAL MAPPER. A) VISTA INICIAL, B) ARCHIVOS O CARPETAS QUE CONFORMAN EL DEM	86
FIGURA 6.1.4 CAMBIO DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS A UTM.....	87
FIGURA 6.1.5 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN EN COORDENADAS UTM	87

CONTENIDO

FIGURA 6.1.6 EXPORTAR DEM	88
FIGURA 6.2.1 INSTALACIÓN DE ARC HYDRO Y HEC-GEOHMS EN ARCMAP 9.3	89
FIGURA 6.2.2 ARCHYDRO Y HEC-GEOHMS CARGADOS EN LA PLATAFORMA DE ARCMAP 9.3.....	90
FIGURA 6.3.1 ZONAS PLANAS Y DEPRESIONES EN LOS MDE	90
FIGURA 6.3.2 RESULTADO AL CORREGIR CELDAS (RELLENAR DEPRESIONES).....	91
FIGURA 6.3.3 INTERPRETACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE FLUJO	92
FIGURA 6.3.4 DIRECCIÓN DE FLUJO.....	93
FIGURA 6.3.5 INTERPRETACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE FLUJO	93
FIGURA 6.3.6 ACUMULACIÓN DE FLUJO MEDIANTE ARCHYDRO TOOLS	94
FIGURA 6.3.7 DEFINICIÓN DE LA CORRIENTE EN LA CUENCA	95
FIGURA 6.3.8 SEGMENTACIÓN DE CORRIENTES	96
FIGURA 6.3.9 DELINEACIÓN DE SUBCUENCAS.....	97
FIGURA 6.3.10 PROCESAMIENTO DE SUBCUENCAS	98
FIGURA 6.3.11 PROCESAMIENTO DE LA LÍNEA DE DRENAJE	99
FIGURA 6.3.12 ADICIÓN DE SUBCUENCAS.....	100
FIGURA 6.4.1 UBICACIÓN DE ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	101
FIGURA 6.4.2 INICIAR UN NUEVO PROYECTO EN HEC-GEOHMS A) HMS PROJECT SETUP, B) OPCIONES POR DEFAULT, C) CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO, D) INDICACIONES PARA AGREGAR PUNTOS DE PROYECTO.....	102
FIGURA 6.4.3 PUNTO DE SALIDA DE LA CUENCA.....	103
FIGURA 6.4.4 CREACIÓN DEL PARTEAGUAS	103
FIGURA 6.4.5 PROYECTO DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	104
FIGURA 6.4.6 UNIÓN DE SUBCUENCAS	105
FIGURA 6.4.7. UNIÓN DE CORRIENTES.....	106
FIGURA 6.4.8 MENÚ DE BASIN CHARACTERISTICS	106
FIGURA 6.4.9 EJECUCIÓN DEL COMANDO SLOPE CON LA BARRA DE HERRAMIENTAS DE ARC HYDRO.....	106

FIGURA 6.4.10 LONGITUD MÁS LARGA DEL FLUJO.....	107
FIGURA 6.4.11 CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA CUENCA	107
FIGURA 6.4.12 CÁLCULO DEL CENTROIDE DE LA CORRIENTE CON MAYOR LONGITUD	108
FIGURA 6.4.13 ELEMENTOS HIDROLÓGICOS.....	108
FIGURA 6.5.1 ARCHIVO DE DATOS DE PROYECCIÓN ALBERS	109
FIGURA 6.5.2 MENÚ DE OPCIONES DE HYDROLOGIC PARAMETERS.....	110
FIGURA 6.5.3 SELECCIÓN DEL MÉTODO, TAMAÑO DE LA MALLA Y PROYECCIÓN PARA LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS.....	111
FIGURA 6.5.4 CÁLCULO DE LA MALLA.....	111
FIGURA 6.5.5 VISTA DEL NUEVO LAYER	111
FIGURA 6.5.6 VISTA DONDE SE GENERAN LOS TEMAS MODCLARK2KPROJ, SHG_LAYER1 Y SUBBASIN1PROJ.....	112
FIGURA 6.5.7 TEMA QUE CONTIENE LAS PROPIEDADES HIDROLÓGICAS EN CADA CELDA.....	113
FIGURA 6.5.8 MAPA DE LA LONGITUD DE VIAJE	113
FIGURA 6.5.9 OPCIONES DEL MENÚ HMS	114
FIGURA 6.5.10 TEMAS QUE UTILIZARÁN EL SISTEMA INTERNACIONAL.....	114
FIGURA 6.5.11 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE UNIDADES.....	115
FIGURA 6.5.12 COMANDO ADD COORDINATES.....	115
FIGURA 6.5.13 CREACIÓN DEL ARCHIVO EN FORMATO DE MALLA.....	115
FIGURA 6.6.1 VISTA CON EL TEMA MODCLARK2K Y LOS MAPAS DE A) EDAFOLOGÍA Y B) USO DE SUELO.....	116
FIGURA 6.6.2 RECORTE DEL MAPA DE NÚMERO DE CURVA AL TAMAÑO DE LA CUENCA EN ESTUDIO.....	117
FIGURA 6.6.3 SELECCIÓN DEL TEMA A RECORTAR Y DEL TEMA DE REFERENCIA.....	117
FIGURA 6.6.4 RECORTE DEL MAPA EDAFOLÓGICO DEL TAMAÑO DE LA CUENCA.....	118
FIGURA 6.6.5 MAPA DE USO DE SUELO CORTADO AL TAMAÑO DE LA CUENCA.....	118
FIGURA 6.6.6 AGREGAR UNA NUEVA COLUMNA EN EL TEMA EDAFARM.SHP	119
FIGURA 6.6.7 CARACTERÍSTICAS DE LA NUEVA COLUMNA A INTEGRAR EN EDAFARM.SHP.....	120

CONTENIDO

FIGURA 6.6.8 SE AGREGA LA COLUMNA PERMEABILIDAD AL MAPA DE EDAFOLOGÍA.	120
FIGURA 6.6.9 GRUPO HIDROLÓGICO ASIGNADO A LOS POLÍGONOS DEL SUELO	121
FIGURA 6.6.10 INTERSECCIÓN DE LOS TEMAS DE EDAFOLOGÍA Y USO DE SUELO	121
FIGURA 6.6.11 TABLA DE ATRIBUTOS DEL TEMA CNARMERIA.SHP, AL INTERCEPTAR LOS TEMAS DE TIPO Y USO DE SUELO	122
FIGURA 6.6.12 SE AGREGA UNA NUEVA COLUMNA AL TEMA CNARMERIA	123
FIGURA 6.6.13 ORDENAR GPO_HIDRO Y TIPOS EN ORDEN DESCENDENTE.....	123
FIGURA 6.6.14 SELECCIÓN DE LOS SUELOS DEL GRUPO HIDROLÓGICO A CON COBERTURA DE AGRICULTURA DE RIEGO	124
FIGURA 6.6.15 ASIGNACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA	124
FIGURA 6.6.16 TABLA RESULTANTE DE ASIGNAR EL NÚMERO DE CURVA.....	125
FIGURA 6.6.17 INTERSECCIÓN DE LOS TEMAS CNARMERIA Y MODCLARK2K_PROJECT	125
FIGURA 6.6.18 TABLA DE ATRIBUTOS, RESULTADO DE LA INTERSECCIÓN DE LOS TEMAS CNARMERIA Y MODCLARK2K_PROJECT.....	126
FIGURA 6.6.19 MENÚ DE OPCIONES DE XTOOLS PRO 7.1	126
FIGURA 6.6.20 CAMPOS QUE SE EXPORTARÁN A EXCEL.....	127
FIGURA 6.6.21 EXPORTACIÓN DE DATOS A EXCEL A) ORIGINAL B) EN EL ORDEN REQUERIDO PARA EL MPE	127
FIGURA 6.6.22 CAMBIAR FORMATO A .TXT.....	128
FIGURA 6.6.23 ARCHIVO MODCLARKCNMIX.TXT.....	128
FIGURA 7.1.1 ARCHIVO DE REGISTRO DE LLUVIAS (LLUVIAS_ARMERIA2.TXT)	130
FIGURA 7.1.2 ARCHIVO DE CELDAS PARA EL MODELO DE CLARK (CLARK.TXT).....	130
FIGURA 7.1.3 ARCHIVO DE ESCURRIMIENTOS MEDIDOS (GASTO_ARM.TXT).....	131
FIGURA 7.1.4 INFORMACIÓN DE ENTRADA DEL MPE (FECHAS E INTERVALO DE TIEMPO).....	131
FIGURA 7.1.5 INGRESO DE ARCHIVOS DE TEXTO (LLUVIA Y CELDAS)	131
FIGURA 7.2.1 PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA.....	132
FIGURA 7.2.2 HIETOGRAMA DE LA CUENCA ARMERÍA	132

FIGURA 7.3.1 ESCURRIMIENTOS OBSERVADOS, MPE.....	133
FIGURA 7.3.2 PRIMERA APROXIMACIÓN DE AJUSTE, MPE	134
FIGURA 7.4.1 SEGUNDA APROXIMACIÓN, UTILIZANDO EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (KIRPICH)	135
FIGURA 7.4.2 PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN 2ª APROXIMACIÓN	135
FIGURA 7.4.3 HIDROGRAMA CALIBRADO	136
FIGURA 7.4.4 RESULTADOS DEL HIDROGRAMA CALIBRADO	136
FIGURA 7.4.5 TABLA RESUMEN	137
FIGURA 7.5.1 HIDROGRAMA ASOCIADO A UNA LLUVIA CON $Tr=100$ AÑOS.....	138
FIGURA 7.5.2 TABLA RESUMEN (LLUVIA CON $Tr=100$ AÑOS).....	138
FIGURA 7.6.1 AJUSTE DE LOS PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DEL MPE	139

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 4-1 AJUSTE DE GASTOS MÁXIMOS CON LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DOBLE GUMBEL (COLIMAN)	49
GRÁFICA 4-2 AJUSTE DE GASTOS INSTANTÁNEOS CON LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DOBLE GUMBEL (COLIMAN). 50	
GRÁFICA 4-3 AJUSTE DE GASTOS MÁXIMOS CON LA FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DOBLE GUMBEL (PEÑITAS II)	50
GRÁFICA 4-4 AJUSTE DE GASTOS INSTANTÁNEOS CON LA FUNCIÓN DE DISTR. DOBLE GUMBEL (PEÑITAS II).....	51
GRÁFICA E-1 ESTACIÓN 14013 ATEMAJAC DE BRIZUELA, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	197
GRÁFICA E-2 ESTACIÓN 14014 ATENGO, ATENGO (SMN), AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	197
GRÁFICA E-3 ESTACIÓN 14019 AUTLÁN, AUTLÁN, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	197
GRÁFICA E-4 ESTACIÓN 14031 VENUSTIANO CARRANZA, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	198
GRÁFICA E-5 ESTACIÓN 14041 CHIQUILISTLÁN, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	198
GRÁFICA E-6 ESTACIÓN 14043 EJUTLA, EJUTLA, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	198
GRÁFICA E-7 ESTACIÓN 14046 EL CHANTE, AUTLÁN, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	199
GRÁFICA E-8 ESTACIÓN 14050 EL GRULLO, EL GRULLO, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	199
GRÁFICA E-9 ESTACIÓN 14051 EL LIMÓN, EL LIMÓN (SMN), AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	199
GRÁFICA E-10 ESTACIÓN 14052 EL NOGAL, TAPALPA, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS	200
GRÁFICA E-11 ESTACIÓN 14078 JUCHITLÁN, JUCHITLÁN, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	200
GRÁFICA E-12 ESTACIÓN 14094 MANANTLÁN, AUTLÁN, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	200
GRÁFICA E-13 ESTACIÓN 14139 TACOTÁN, UNIÓN DE TULA, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	201
GRÁFICA E-14 ESTACIÓN 14142 TAPALPA, TAPALPA (SMN), AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	201
GRÁFICA E-15 ESTACIÓN 14143 TECOLOTLÁN, TECOLOTLÁN, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	201
GRÁFICA E-16 ESTACIÓN 14151 TOLIMÁN, TOLIMÁN (SMN), AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	202
GRÁFICA E-17 ESTACIÓN 14155 TUXCACUESCO, TUXCACUESCO, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD.....	202
GRÁFICA E-18 ESTACIÓN 14158 UNIÓN DE TULA, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD.....	202

GRÁFICA E-19 ESTACIÓN 14184 TAPALPA, TAPALPA (DGE), AJUSTE GUMBEL MOMENTOS	203
GRÁFICA E-20 ESTACIÓN 14185 TECOLOTLÁN, TECOLOTLÁN, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	203
GRÁFICA E-21 ESTACIÓN 14190 TOLIMÁN, TOLIMÁN (DGE), AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	203
GRÁFICA E-22 ESTACIÓN 14301 TENAMAXTLÁN, TENAMAXTLÁN, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	204
GRÁFICA E-23 ESTACIÓN 14311 CANOAS, TOLIMÁN, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS.....	204
GRÁFICA E-24 ESTACIÓN 14312 CUAUTLA, CUAUTLA, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD.....	204
GRÁFICA E-25 ESTACIÓN 14343 PRESA BASILIO BADILLO, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS	205
GRÁFICA E-26 ESTACIÓN 14350 EL ROSARIO, TUXCACUESCO, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS	205
GRÁFICA E-27 ESTACIÓN 14390 EL CORCOVADO, AUTLÁN, AJUSTE GUMBEL MOMENTOS	205
GRÁFICA E-28 ESTACIÓN 14395 IXTLAHUACÁN STGO, U. TULA, AJUSTE GUMBEL MÁXIMA VEROSIMILITUD	206

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas frecuentes en hidrología es modelar la relación entre precipitación y escurrimiento. Esto por las limitaciones existentes debidas a la poca densidad de redes y equipos de medición, ocasionando que no se cuente con una muy buena información de la distribución espacial y temporal de la lluvia. Sin embargo, se han logrado avances en las técnicas de interpolación, se cuenta con cuencas experimentales que contienen redes más densas de medición continua, que con el tiempo se han ido integrando avances tecnológicos como los radares meteorológicos utilizados en el trabajo desarrollado por Méndez B. (2005) que permite estimar mejor la distribución espacial de la lluvia.

Con lo anterior es necesario contar con un buen modelo matemático que permita estimar los escurrimientos en una cuenca, cuyos resultados pueden ser utilizados en el diseño de distintas obras hidráulicas ya sean para administración del recurso hídrico, protección de inundaciones o encauzamiento de ríos. Por lo tanto, en este trabajo se aplicará y calibrará el Modelo para Pronóstico de Escurrimientos (MPE) para obtener hidrogramas asociados a distintos periodos de retorno y compararlos con los obtenidos a través de información hidrométrica. Es importante que, este modelo servirá como una base del conocimiento y predicción de escurrimientos en ésta cuenca, además, es posible comprobar que tan satisfactorios pueden ser los resultados obtenidos.

El presente documento muestra la aplicación de la modelación distribuida de la relación lluvia-escurrimiento, mediante el Modelo para Pronóstico de Escurrimientos (MPE) aplicado en la cuenca

1. INTRODUCCIÓN

del río Armería, la cual se encuentra comprendida entre los Estados de Jalisco y Colima. El punto de drenaje se considera en el cruce del río Armería con el Puente vehicular de la Carretera cuyas coordenadas son de latitud y longitud

Con Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE), es posible pronosticar escurrimientos de una cuenca, mediante la aplicación de modelos de parámetros distribuidos, basados en el método proporcionado por el Soil Conservation Service (SCS). El MPE considera el secado del suelo después de una lluvia y para la transferencia de escurrimiento utiliza el método de Clark modificado. La información de entrada en el modelo, consta de datos de precipitación e hidrométricos, además, de los parámetros hidrológicos, obtenidos con base en la aplicación de Sistema de Información Geográfica (SIG). Los resultados que se obtienen de este programa en la cuenca son: precipitación media, hietograma, lluvia en exceso, pérdidas y el hidrograma de salida.

OBJETIVO GENERAL

Adaptar y calibrar el programa Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE), publicado en Domínguez M.R. 2008 y pronosticar los escurrimientos producidos en la cuenca del Río Armería a través de un modelo de Parámetros Distribuidos, finalmente contribuir a una correcta estimación del escurrimiento en la cuenca ante un evento hidrometeorológico extremo como el ocurrido en Enero de 1992.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilación y ajuste de datos climatológicos e hidrométricos (gastos máximos e instantáneos) mediante funciones de distribución de probabilidad incluidas en el programa AX, cuya fuente de información de datos fueron principalmente las bases de datos CLICOM y BANDAS.

Identificación de eventos extremos ocurridos en la cuenca del río Armería, registrados por las estaciones hidrométricas para determinar el evento a reproducir con el programa MPE.

Realizar un análisis del terreno y delimitar la cuenca del Río Armería con el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), utilizando los programas HEC-GeoHMS ArcHydro y ArcGIS 9.0

Obtención de los parámetros hidrológicos en forma de malla con base en los SIG, los cuales se utilizarán en el módelo de parámetros distribuidos del MPE.

Realizar el análisis hidrológico con el programa MPE y obtener para el evento extremo presentado en Enero de 1992, los parámetros de calibración que permitan reproducir el proceso lluvia – escurrimiento.

Obtener el hidrograma mediante el Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) asociado a lluvias que corresponden al periodo de retorno de 100 años

Comparar gastos de diseño obtenidos de datos hidrométricos con los obtenidos de una tormenta de diseño y un modelo lluvia – escurrimiento, y verificar si la metodología puede aplicarse en una cuenca que no cuente con datos hidrométricos.

A continuación se menciona de manera breve el contenido de cada uno de los capítulos:

Posterior a la introducción, en el capítulo dos, se presenta el marco teórico considerado en la elaboración de un estudio de hidrología. En éste se dan a conocer conceptos de probabilidad y estadística, y métodos utilizados para la obtención de parámetros poblacionales. También se da una descripción y clasificación de lo que son los modelos hidrológicos (parámetros concentrados y distribuidos). Además, se presentan conceptos que se deben considerar en un modelo lluvia – escurrimiento y los tipos de hidrogramas que pueden ser utilizados en una cuenca de acuerdo con la disponibilidad de información (hidrométrica y/o lluvia).

El capítulo tres hace referencia a los métodos que emplea el Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) en su proceso de cálculo, descripción de la plataforma, calibración, requerimientos de instalación del MPE y resultados que se pueden obtener.

El capítulo cuatro se describen las bases de datos con las cuales se desarrolló el trabajo de tesis, registrados en el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) y CLICOM. Se realizan los correspondientes ajustes de distribución de probabilidad y extrapolación de datos, de información hidrométrica y de precipitación para distintos periodos de retorno. También se identifica con base en los datos hidrométricos, fecha de ocurrencia de eventos extremos y definición del evento utilizado en el MPE.

En el capítulo cinco se describen físicamente la cuenca del río Armería, ubicación, área, clima, edafología, geología, orografía, hidrografía y vegetación y uso de suelo.

En el capítulo seis se presenta el procedimiento para la obtención de los parámetros hidrológicos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la plataforma ArcGIS 9. Se muestra el proceso para la manipulación de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) con el software Global Mapper. También, se dan a conocer las funciones, características y aplicaciones de la barra de herramientas del HEC-GeoHMS (extensión de ArcGIS) aplicadas al MDT. Y finalmente el desarrollo para la obtención de los parámetros hidrológicos de la cuenca.

El capítulo siete corresponde a la aplicación del Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) en donde se introduce la información obtenida de las bases de datos (BANDAS y CLICOM) y la generada mediante los Sistemas de Información Geográfica (modelo de Clark) y se obtienen resultados.

Finalmente en el capítulo ocho, se presentan las conclusiones de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo siete, así como las recomendaciones acerca de la aplicación del MPE en la cuenca del Río Armería.

2. ANTECEDENTES

2.1. *CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA APLICADOS EN HIDROLOGÍA*

Los procesos hidrológicos varían en tiempo y espacio, así como en el diseño y planeación de las diferentes obras hidráulicas, las cuales están ligadas a eventos futuros. Por ello, la probabilidad y estadística han sido herramientas valiosas en los análisis hidrológicos, que permiten mediante principios matemáticos facilitar la interpretación y evaluación de los datos disponibles, y realizar pronósticos más apegados a la realidad.

De acuerdo con el concepto de aleatoriedad, los procesos en hidrología pueden ser analizados y explicados con base en la ciencia probabilística. Estos métodos estadísticos permiten presentar, organizar y reducir datos haciendo una fácil interpretación y evaluación de la información, haciendo posible la predicción de avenidas o precipitaciones. Así, los fenómenos hidrológicos son parcialmente predecibles o determinísticos y aleatorios, modelados como procesos estocásticos.

Springall (1986) afirma que cualquier registro de datos hidrológicos representa solo una muestra de estos, por lo que no es posible contar con población total de datos debido a que están ligados a los fenómenos naturales donde los resultados varían continuamente.

Por lo anterior, frecuentemente es necesario extrapolar los datos con los que se dispone con el fin de encontrar los valores de lluvia correspondientes a un determinado periodo de retorno (T_r). En general, el T_r es mucho mayor que el número de años de registro. Para lograr esta extrapolación asociada a los distintos periodos de retorno se recurre a realizar el ajuste de datos mediante las diferentes distribuciones de probabilidad, es decir, que cuando se grafican los datos disponibles

2. ANTECEDENTES

con sus respectivos periodos de retorno, se observa que la línea obtenida mediante las distintas distribuciones de probabilidad tenga el menor error posible y se ajuste a los datos medidos, extendiéndola hasta el T_r deseado.

Cuando se maneja información hidrológica, conviene describir variables aleatorias, las cuales pueden ser discretas o continuas. Cada una de estas variables puede representar un evento X en conjunto con la función que determine la posibilidad de que una observación x esté dentro de un rango específico, es decir, el proceso de observación o registro se conoce como experimento, y las respuestas obtenidas de éste como resultados. Por lo que las alturas de lluvia (h_p) se consideran como variables continuas (Springall, 1986).

En estadística existen funciones de distribución de probabilidad teóricas, pero solo algunas pueden ser utilizadas en registros de datos hidrológicos, seleccionando la que mejor se adapte al registro de datos de la zona de estudio.

Existen distintos modelos en la bibliografía sobre este tema, estos modelos se denominan funciones de distribución de probabilidad. Dentro de los más conocidos tenemos los que se enlistan a continuación:

- ❖ Binomial o de Bernoulli
- ❖ Poisson
- ❖ Hipergeométrica
- ❖ Uniforme
- ❖ Normal
- ❖ Log-normal (de dos y tres parámetros)
- ❖ Exponencial (con uno y dos parámetros)
- ❖ Gamma de dos parámetros
- ❖ Gamma de tres parámetros (Pearson Tipo III)
- ❖ General de valores extremos I (Gumbel)
- ❖ Doble Gumbel o Gumbel de dos poblaciones

El presente trabajo describe a detalle la aplicación de las distribuciones Gumbel y Doble Gumbel ya que fueron las funciones que se ajustaron a los registros de precipitación y de gasto de cada una de las estaciones climatológicas e hidrométricas consideradas. Dentro de los modelos es importante estimar los parámetros poblacionales, determinados a partir de alguno de los siguientes métodos: momentos, máxima verosimilitud, probabilidad pesada, mínimos cuadrados, momentos L y de máxima entropía (Escalante, 2002).

Nombre	Función	Parámetros
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-t}}$ donde $t = \alpha(x - \beta)$	α : Parámetro de forma β : Parámetro de escala
DOBLE GUMBEL	$F(x) = p \left[e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right] + (1 - p) \left[e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right]$	α_1 : Parámetro de forma (1ª población) β_1 : Parámetro de escala (1ª población) α_2 : Parámetro de forma (2ª población) β_2 : Parámetro de escala (2ª población) p : Parámetro de asociación

2.1.1. MÉTODOS PARA OBTENER LOS PARÁMETROS POBLACIONALES

En este apartado se describen cuatro de las técnicas para estimar los parámetros poblacionales donde las tres primeras corresponden para un ajuste de la distribución Gumbel y una cuarta basada en el método de mínimos cuadrados para la distribución de dos poblaciones, es decir, para la distribución Doble Gumbel.

✓ **Método de momentos**

Es de todos los métodos el más sencillo, con él se puede encontrar un estimador para uno o más parámetros poblacionales. Para ello, se plantea un sistema de ecuaciones cuyo tamaño es función del número de parámetros a estimar, esto se hace al igualar los momentos poblacionales con los muestrales (Jiménez et al, 1997).

✓ **Método de máxima verosimilitud**

2. ANTECEDENTES

El objetivo de este método es maximizar la función de verosimilitud $L(x)$, encontrando el mejor ajuste de cada función de probabilidad. Esta función se define como:

$$L = \prod_{i=1}^N f(X_i)$$

donde

\prod Es el operador que indica el producto de los valores que representa su argumento. Se define como $\prod x_i = x_1 * x_2 * x_3 * x_4 * x_5 * x_6 * x_m$

✓ Método de momentos L

Este método es semejante al de momentos convencionales. La ventaja es que puede caracterizar a un mayor número de distribuciones y está virtualmente libre de sesgo en muestras grandes y pequeñas. En este caso se tienen cuatro estimadores, la media, una descripción de escala la cual se basa en la diferencia esperada entre dos observaciones seleccionadas aleatoriamente, el sesgo y la curtosis. Los momentos L pueden estimarse en función de los momentos de probabilidad pesada:

$$Br = E\{X[F(x)]^r\}$$

donde

r: representa el momento convencional con respecto al origen

En la Tabla 2.1.1 se encuentran las ecuaciones que deben resolverse para encontrar el ajuste a la distribución Gumbel, momentos y máxima verosimilitud (Domínguez et al. 1992) y momentos L (Escalante 2002)

Tabla 2.1.1 Métodos y ecuaciones para el ajuste de la función Gumbel

METODO	ECUACIONES
MOMENTOS	$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \text{ desv}$ $\beta = \text{media} - (0.45 * \text{desv})$
MAXIMA VEROSIMILITUD	$\sum_{i=1}^N x_i e^{-\alpha x_i} - \left(\text{media} - \frac{1}{\alpha} \right) \sum_{i=1}^N e^{-\alpha x_i} = 0$ $\beta = \frac{1}{\alpha} \ln \left(\frac{N}{\sum_{i=1}^N e^{-\alpha x_i}} \right)$
MOMENTOS L	$\alpha = \lambda_1 - 0.577216\beta$ $\beta = \frac{\lambda_2}{\ln(2)}$ <p>donde</p> $\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $\lambda_2 = 2 \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} x_i (n-i) \right] - \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \right]^2$

✓ **Método de mínimos cuadrados**

Sea una función $f(x, a_1, a_2, a_3, \dots, a_m)$ donde $a_i, i = 1, 2, 3, \dots, m$ son los parámetros a estimar. El método obtiene el conjunto de parámetros al minimizar la suma de los cuadrados de todas las desviaciones entre los valores observados y calculados. Matemáticamente, esta suma se expresa como:

$$S = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_0(i) - y_c(i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_0(i) - f(y_c)]^2$$

Matemáticamente la suma se expresa como

$$S = \sum_{i=1}^n d_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_0(i) - y_c(i)]^2 = \sum_{i=1}^n [y_0(i) - f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)]^2$$

Donde

2. ANTECEDENTES

$y_0(i), y_c(i)$ son los valores observados y calculados de “ y ”, $n > m$ representa el número de observaciones. El mínimo de S puede obtenerse diferenciando parcialmente la ecuación anterior con respecto a cada parámetro e igualando a cero.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a_1} \left[\sum_{i=1}^n [y_0(i) - f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)]^2 \right] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial a_2} \left[\sum_{i=1}^n [y_0(i) - f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)]^2 \right] &= 0 \\ &\vdots \\ \frac{\partial}{\partial a_m} \left[\sum_{i=1}^n [y_0(i) - f(x_i; a_1, a_2, \dots, a_m)]^2 \right] &= 0 \end{aligned}$$

El sistema de ecuaciones anterior se resuelve por aproximaciones sucesivas, siendo el método del máximo ascenso uno de los más utilizados del país (González, 1970).

2.2. MODELOS HIDROLÓGICOS

En los modelos hidrológicos, se representa el sistema físico real (cuenca hidrográfica) y cada uno de sus componentes del ciclo hidrológico. En algunos modelos hidrológicos se describe el proceso lluvia- escurrimiento (superficial y subsuperficial), considerando subprocesos de generación del escurrimiento, es decir, intercepción, evapotranspiración, infiltración o almacenamiento por detención superficial. También se consideran componentes del flujo, ya sean explícita o implícitamente, como por ejemplo, el que se presenta sobre el terreno, interflujo, el cercano a la superficie, subsuperficial o el flujo canalizado.

El objetivo principal de un modelo hidrológico es determinar con eficiencia y precisión los componentes del ciclo hidrológico en una cuenca y estimar el comportamiento y magnitud (abundancia y carencia) del agua en fenómenos poco frecuentes. El uso de estos modelos es primordial en la valoración, simulación y predicción de daños causados por inundaciones, también son importantes en el diseño, planeación, gestión y toma de decisiones de los recursos hidráulicos en una cuenca.

2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Los modelos son una representación simplificada de la realidad que considera todas las componentes relevantes para solución de un problema específico en estudio (Domínguez, 1990).

Una clasificación de los modelos es:

- Modelos a escala. (Modelos Físicos). Con este tipo de modelos se simulan estructuras para proyectos específicos o situaciones particulares, obteniendo resultados confiables para dichos problemas. Estos modelos no son de gran importancia en estudios hidrológicos ya que en una cuenca lo que se requiere es saber las características y determinar los escurrimientos en la totalidad de ésta.
- Modelos analógicos. Son sistemas que los cuales reproducen en un medio físico diferente el comportamiento de un prototipo. Se desarrollan con base en la analogía eléctrica ofreciendo un amplio panorama comparado con los modelos a escala. Sin embargo, tiene limitaciones en la práctica debido a que depende de modelos matemáticos que deben calibrarse muy bien.
- Modelos matemáticos. Mediante ecuaciones simulan el prototipo que relaciona las variables de entrada y salida. Estas variables están en función del tiempo y espacio, pueden ser variables probabilísticas o aleatorias sin un valor fijo en un punto en particular del espacio y tiempo. Sin embargo, están descritas a través de distribuciones de probabilidad. Los modelos matemáticos son los que más se utilizan en la hidrología.

2.2.2. MODELOS MATEMÁTICOS

En este tipo de modelos se da la combinación de dos componentes básicas, la componente física y la estocástica. En la primera se expresa todo el conocimiento previo acerca del fenómeno representado, la segunda es expresada en términos estadísticos lo que no puede explicarse en el conocimiento previo.

Estos modelos se clasifican en:

- ✚ Determinísticos, los cuales no consideran aleatoriedad, las variables que intervienen en el modelo tienen un valor fijo en un punto en particular del espacio y del tiempo. La salida de este depende solo de una entrada, es decir, para dos entradas diferentes el sistema producirá dos diferentes salidas.
- ✚ No determinísticos o estocásticos, las variables son solamente aleatorias (no hay precisión en las variables) por lo que se dice que son modelos basados en la probabilidad. Estos

2. ANTECEDENTES

modelos tienen salidas parcialmente aleatorias, donde la salida depende de una o más entradas.

- ✚ Paramétricos, este tipo de modelos consideran variables aleatorias y no aleatorias del fenómeno, es decir, poseen una componente determinística (física) y una estocástica, por lo que conciben una mejor representación de la realidad.

Se dice que los modelos determinísticos hacen pronósticos, mientras que los estocásticos sirven para hacer predicciones. Dado que un fenómeno hidrológico se compone de variables aleatorias y variables que son conocidas, los modelos más utilizados son los modelos paramétricos. Estos modelos paramétricos se ubican más hacia el lado determinista y se dividen en concentrados y distribuidos.

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS HIDROLÓGICOS

Los modelos hidrológicos se clasifican de acuerdo con la forma en que se describen sus componentes mediante los criterios siguientes:

- I. **Descripción de los procesos.** En estos procesos se determina el tipo de variables que intervienen (aleatorias o no), las cuales intervienen en la salida del sistema. Estos se clasifican en determinísticos, estocásticos o mixtos. En el primero no se considera la aleatoriedad por lo que una entrada produce una sola y solo una salida. El segundo, es descrito por las leyes de la probabilidad y finalmente el tercero se presenta cuando alguno de los componentes son determinísticos y otros probabilísticos.
- II. **Escala espacial.** Puesto que un fenómeno hidrológico cambia en sus tres dimensiones en el espacio, es difícil realizar la modelación en la práctica de estas variaciones. Si un modelo es determinístico cuyas variables que intervienen en los componentes son promediadas en el espacio, se dice que el modelo es concentrado o agregado. Pero, si las variables dependen de dimensiones del espacio, el modelo es distribuido. En los modelos estocásticos, se habla de modelos relacionados con el espacio o independientes del mismo. Mediante esta clasificación de escala espacial es posible hacer una clasificación en función del tamaño de la cuenca que son: pequeñas cuencas (área < 100km²), cuencas medianas (100 <= área <= 1,000 km²) y grandes cuencas (área > 1,000 km²).
- III. **Escala temporal.** Esta escala se define como una combinación entre dos intervalos de tiempo. En el primero, existen componente de entrada y ecuaciones de cálculo. Mientras que en el segundo se utiliza para la componente de salida. En función del

segundo intervalo, se distinguen dos tipos de modelos: *continuos* (diario, mensual, anual) y *de eventos*.

2.2.4. MODELOS DE PARÁMETROS CONCENTRADOS O AGREGADO

Estos modelos se basan en la hipótesis de sistema lineal (modelos del tipo de función de transferencia) y consiste en identificar y estimar funciones que permiten la transformación de una serie temporal de entrada, en una serie de salida. Con la relación que existe entre dos series de tiempo, al utilizar los valores pasados y presentes de éstas series, es posible determinar una predicción.

Los modelos de parámetros concentrados tratan a una cuenca como una sola entidad y una sola entrada de lluvia (lluvia promedio), donde el gasto de salida se genera a partir de una dinámica global del sistema, por lo que pierde validez ya que el escurrimiento varía con el tiempo en donde influyen factores como: urbanización, reforestación, construcción de obras de control, erosión, cambios en el clima, etc.

Este concepto es utilizado por los Hidrogramas unitarios, en el que se supone que la cuenca es un sistema lineal invariante en el tiempo donde la lluvia efectiva es la causante del escurrimiento (Figura 2.2.1).

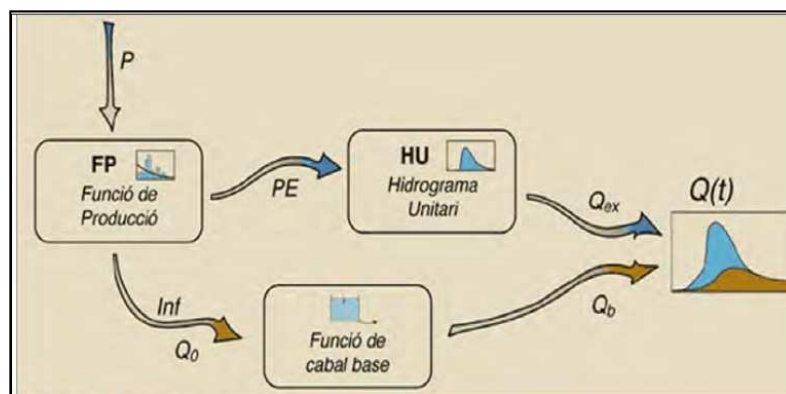


Figura 2.2.1 Esquema general de un modelo hidrológico concentrado clásico, con HU (Fuente: Carles Corral)

Estos modelos no consideran datos de variabilidad espacial de la precipitación o los parámetros del modelo. En cuencas pequeñas es muy útil, debido a su estructura simple y a la facilidad de actualizar sus parámetros. En éste no interesan las coordenadas espaciales que caracterizan al sistema o a las funciones hidrológicas por lo que solo se suponen concentradas en un punto ó

2. ANTECEDENTES

promedio en el espacio. Otra de sus características es que su magnitud puede obtenerse a través de procedimientos de interpolación basada en principios geométricos.

2.2.5. MODELOS DE PARÁMETROS DISTRIBUIDOS

En estos modelos interviene un mayor número de variables, y se considera que la cuenca está formada por un conjunto de elementos con características uniformes en cada uno de ellos y simulan los procesos físicos que ocurren en cada elemento, tales como infiltración, escurrimiento sobre la superficie, flujo de corrientes, etc. La falta de datos con suficiente densidad en la cuenca es una limitante para el uso de estos modelos.

Son los modelos que se aproximan más a la realidad al aceptar que el escurrimiento es una respuesta hidrológica continua en el espacio y en el tiempo que afecta de diversas maneras la superficie de toda la cuenca. Este tipo de modelos se caracterizan por considerar procesos internos del sistema, como coordenadas espaciales y funciones, es decir, que el proceso hidrológico ocurre en varios puntos del espacio definiendo las variables del modelo como funciones de las dimensiones espaciales.

Un modelo de parámetros distribuidos divide al sistema en celdas (unidad de discretización espacial en la que se divide una cuenca donde se tiene área constante y forma regular) a cada una de las cuales le asigna parámetros y factores uniformes, tales como el uso de suelo, tipo de suelo, pendiente, etc. Se basa en los principios físicos de conservación de la materia, manteniendo el balance de agua entre la lluvia, escurrimiento, evaporación e infiltración.

Para que un modelo se considere distribuido, la cuenca deberá subdividirse en elementos computacionales más pequeños (celdas) debido a que las características del terreno varían a lo largo y ancho de la cuenca. Las ventajas son las siguientes:

1. Permite el análisis de los distintos elementos que influyen en la respuesta hidrológica y que pueden modificarse por la intervención humana en la cuenca o parte de ella, entre los factores que se pueden modificar están la vegetación y el uso de suelo principalmente.
2. Con una muy buena calibración, este modelo permite obtener una aproximación cuantitativa de la modificación de la respuesta hidrológica de la cuenca ante eventos de precipitación extrema, provocada por la intervención humana.
3. Se obtienen los caudales de manera simultánea en diferentes puntos de la cuenca. El modelo puede servir para mejorar la evaluación de riesgo ya que permite conocer el estado del sistema en cualquier punto de la red de drenaje.

En general, para realizar la simulación del proceso hidrológico en una cuenca, la mayoría de los modelos hidrológicos distribuidos se componen de dos submodelos conceptuales, el de producción de escurrimiento que se encarga de representar la producción de las distintas componentes del escurrimiento y el de traslación que se refiere al viaje del escurrimiento y la acumulación de éste hacia aguas abajo en la red de drenaje hasta la salida de la cuenca (Méndez, 2005).

2.3. RELACION LLUVIA – ESCURRIMIENTO

2.3.1. PRODUCCIÓN DEL ESCURRIMIENTO (PÉDIDAS)

Se da el nombre de pérdida a la diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida, por lo que la infiltración es la porción más considerable de éstas. La infiltración es un factor muy importante en la relación lluvia – escurrimiento, así como en problemas de diseño y predicción asociados con la dimensión y operación de las diversas obras hidráulicas (Aparicio 2001). Los métodos para calcular la infiltración y los criterios para estimar las pérdidas en *cuencas aforadas* se mencionan a continuación:

➤ Capacidad de infiltración o índice de infiltración (ϕ)

Para este criterio se necesita un registro simultáneo de precipitación y escurrimiento de una tormenta (cuenca aforada). En este criterio se supone que este índice ϕ es constante durante toda la tormenta. El método da resultados satisfactorios, un ejemplo es que este índice ayuda a determinar el hietograma de precipitación en exceso y conserva el volumen del escurrimiento. Su inconveniente es que no considera la influencia de la humedad inicial del suelo sino que un promedio de la infiltración en la cuenca.

➤ Índice de precipitación antecedente (IPA)

Relaciona el índice de infiltración media con las condiciones de humedad del suelo, es útil en problemas de pronóstico de avenidas a corto plazo. Se involucra un índice de precipitación antecedente (IPA) para determinar las condiciones de humedad del suelo. Para aplicar este criterio

2. ANTECEDENTES

se necesitan los registros de lluvias y el índice de infiltración media de varias tormentas dentro de la cuenca. El IPA se define mediante la siguiente ecuación:

$$IPA_{j+1} = K(IPA_j) + P_j$$

➤ **Coefficiente de escurrimiento (Ce)**

Para emplear este criterio se debe contar con el registro simultáneo de precipitación y escurrimiento para una determinada tormenta. Se considera que las pérdidas son proporcionales a la intensidad de la lluvia, e interviene una constante de proporcionalidad llamada coeficiente de escurrimiento C_e (dimensional). En este criterio se omite la influencia de la humedad inicial del suelo y por ello es necesario analizar varias tormentas con el objetivo de obtener la variación de los indicadores de las pérdidas. Chow (1994) definió el coeficiente de escurrimiento como la relación que existe entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen llovido en una cuenca, éste coeficiente se calcula como:

$$C_e = \frac{V_{ED}}{V_{LL}}$$

V_{ED} : Volumen de escurrimiento directo

V_{LL} : Volumen llovido

➤ **United States Soil Conservation Service (USSCS)**

Desarrollado en 1972, es bastante utilizado en la actualidad para cuestiones de diseño por ser un modelo de producción de escurrimientos superficiales. Éste método supone la existencia de un umbral por debajo del cual las precipitaciones no provocan escurrimiento, rebasado este umbral, comienza el encharcamiento y escurrimiento en la superficie. La ventaja de este modelo es que solo tiene un parámetro (S) y se estima con base en varias parejas de valores (P y C_e), para ello es necesario contar con registros simultáneos de lluvia y escurrimiento de tormentas registradas en el pasado (Aparicio, 2001). La relación entre el coeficiente de escurrimiento y la altura de precipitación total de una tormenta se da por la ecuación:

$$C_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P^2 + 0.8SP}$$

➤ **Criterio utilizado en Gran Bretaña**

Consiste en calcular el coeficiente de escurrimiento y la precipitación total, para tormentas registradas en años anteriores, se le ajusta una función que relaciona ambas variables. La desventaja es que considera una relación lineal entre el C_e y la magnitud de la precipitación. En lluvias de gran intensidad puede dar como resultado valores de C_e mayores a uno careciendo de sentido por lo que se debe tener cuidado al utilizarla.

$$C_e = a_0 + a_1(P - \bar{P})$$

Donde

\bar{P} : promedio de las alturas de lluvia máxima

Para **cuencas no aforadas** se tienen los siguientes casos:

➤ **Modelo de Horton**

Esta formulación creada en 1940 es una de las más empleadas en hidrología. Horton observó que al comenzar una lluvia, la capacidad de infiltración comienza con un valor máximo (f_0) el cual va decreciendo exponencialmente a lo largo del tiempo hasta alcanzar un valor más o menos constante (f_c) que coincide con la conductividad hidráulica de saturación. Este modelo ignora la influencia de la humedad inicial del suelo y depende directamente del tiempo y la estimación de los tres parámetros f_c , f_0 y α . Suele dar buenos resultados pero habrá que manejarla con mucho cuidado.

$$f_p(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-(\alpha t)}$$

➤ **Método de los números de escurrimiento**

Propuesto por el U.S. Soil Conservation Service, el cual relaciona la altura de lluvia total P con la altura de lluvia efectiva P_e . En este, el número de escurrimiento depende del uso del suelo, tratamiento (surcos, terrazas, etc.), composición (gravas, arenas, arcillas, etc.), pendiente y el estado de humedad inicial presente en la cuenca. En éste método no es necesario que la cuenca este aforada por lo que se ha utilizado en cuencas que tienen información hidrométrica nula con resultados aceptables. El método se encuentra definido por medio de tablas para distintos usos de suelo, vegetación y condiciones de humedad antecedente, por lo que es el más utilizado en el mundo.

2. ANTECEDENTES

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P - \frac{2,032}{N} + 20.32}$$

donde:

Las unidades de precipitación son en cm

➤ *Determinación de la capacidad de infiltración por infiltrómetros*

El infiltrómetro es un cilindro enterrado en el suelo, que se alimenta con agua en el que se puede medir la variación del tirante dentro del cilindro a través del tiempo, con lo que se conoce la velocidad de infiltración en el punto de la medición. Con base en mediciones realizadas en puntos estratégicos de las cuencas (de acuerdo con las características del suelo) es posible determinar la capacidad de infiltración media.

$$\bar{\theta} = \frac{1}{A_c} \sum v_i a_i$$

Las fórmulas anteriores son empíricas y de parámetros concentrados relativamente sencillas en las que no se toma en cuenta la variabilidad de pérdidas durante la tormenta.

2.3.2. HIDROGRAMAS

En el diseño de obras de aprovechamiento o de protección se debe contar con información de escurrimientos en una sección de interés sobre la corriente en estudio. Dado que en muchas ocasiones se tiene información casi nula, el diseñador tiene que recurrir a realizar estimaciones a partir de los datos existentes de precipitación, estimando los escurrimientos a partir de las características de la cuenca y la distribución de la lluvia en la cuenca en el tiempo.

Cuando es analizado el sistema (cuenca), tratando de encontrar las leyes que rigen la transformación de las entradas o estímulo (precipitación) en salidas (escurrimiento) sin tomar en cuenta explícitamente las características del sistema, se dice que estos modelos que resultan son de caja negra.

➤ **Hidrograma unitario**

Desarrollado por Sherman en 1932, el cual se basa en tres hipótesis: la primera menciona que el tiempo base es constante, segunda es linealidad o proporcionalidad y tercera la superposición de causas y efectos (Aparicio 2000), de acuerdo con esto, éste es el hidrograma de escurrimiento directo que resulta de 1mm (o de 1 cm, 1 pulgada, etc.) de precipitación en exceso ocurrida de manera uniforme en la cuenca de estudio con una intensidad constante en una duración igual a la efectiva (Chow, 1994).

Este concepto se ha utilizado de forma extensa en la mayor parte del mundo y ha ido mejorando con el paso del tiempo. En principio fue publicado como hidrograma unitario tradicional el cual presentaba muchas limitaciones, entre ellas: solo se conocía la función de transformación, es decir, el hidrograma unitario era el mismo en la etapa de calibración para lluvias con una misma duración además de que no consideraba las variaciones en la intensidad de la lluvia.

Para excluir la primera limitante fue utilizado el método de la curva S, partiendo de una secuencia de lluvias generando un hidrograma igual a la suma de los hidrogramas que produciría cada lluvia en particular (superposición de causas y efectos).

Después fueron desarrollados algunos métodos que superaron estas limitaciones, que también se apoyaron en los principios del hidrograma unitario. Un método que toma en cuenta las variaciones de la intensidad de la lluvia respecto al tiempo cuando se cuenta de información confiable de estas variaciones, es el conocido como método matricial o también llamado hidrograma unitario instantáneo. En este método se resuelve un sistema de ecuaciones lineal, formuladas a partir de la existencia de errores en la determinación de la precipitación media con el objetivo de obtener resultados que carecen de sentido como los valores negativos obtenidos al calcular algunas ordenadas del HU.

$$\sum_{i=1}^{N_Q} U_i \phi_{pp}(i-j) = \theta_{pQ}(j-i) \quad \text{para } j = 1, 2, 3, \dots, N_u$$

Donde

$$\phi_{pp}(\sigma) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_Q} P_i + P_{i+\sigma} & \text{para } \sigma = 1, 2, 3, \dots, N_p - 1 \\ 0 & \text{para } 0 \geq N_p \end{cases}$$

2. ANTECEDENTES

$$\phi_{pQ}(\tau) = \begin{cases} \sum_{i=1}^{N_Q} P_i + Q_{i-\tau} & \text{para } \tau = 1, 2, 3, \dots, N_p - 1 \\ 0 & \text{para } \tau \geq N_U \end{cases}$$

Con $\phi_{pp}(-\tau) = P_{pp}(\tau)$, y considerando $P_i = 0$ para $i \geq N_p$

donde

P_i , representa la i -ésima lluvia del hietograma

Q_i , representa la i -ésima ordenada del hidrograma

U_i , representa la i -ésima ordenada del hidrograma unitario

En este caso el número de ordenadas del hidrograma final N_Q está ligado con el número de barras del hietograma N_p al número de ordenadas del hietograma unitario N_U como se muestra a continuación.

$$N_Q = N_p + N_U - 1$$

➤ **Hidrograma unitario sintético**

Si en una zona de estudio no se dispone de registros simultáneos de lluvia y escurrimiento, se infiere un hidrograma unitario a partir de las características físicas de la cuenca con ayuda de hidrogramas unitarios obtenidos de otros lugares cercanos, cuyas características se han relacionado con la cuenca en estudio. Estos hidrogramas se denominan sintéticos. Los más conocidos son: hidrograma unitario triangular (U.S.B.R.) y el adimensional (S.C.S.).

I. Hidrograma Unitario Triangular (HUT)

Desarrollado por Mockus en 1957, el hidrograma propuesto con base en ésta metodología se muestra en la

Figura 2.3.1 . El gasto pico se calcula como:

$$q_p = \frac{0.555A_c}{t_b} \quad \text{o} \quad q_p = \frac{0.208A_c}{t_p}$$

q_p , gasto pico unitario, en m³/s/mm

A_c , área de la cuenca, en km²

T_b , tiempo base, en h

Mockus determino que el tiempo base puede ser calculado en función del tiempo pico, como:

$$t_b = 2.67t_p$$

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

$$t_r = 0.6t_c$$

$$t_c = 0.000325 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

donde:

L , longitud del cauce principal, en km

S , pendiente del cauce principal

t_r , tiempo de retraso, en h

t_c , tiempo de concentración, en h

t_p , tiempo pico, en h

El Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) considera en su proceso de cálculo todo un hietograma de lluvias.

2. ANTECEDENTES

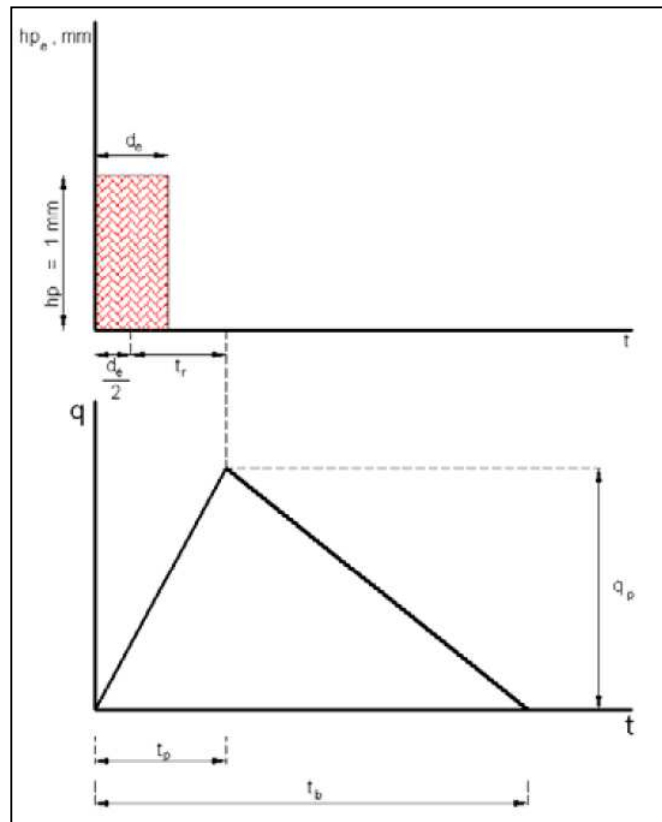


Figura 2.3.1 Hidrograma Unitario Triangular (Fuente: Aparicio, 2007)

II. Hidrograma unitario adimensional

Es un método propuesto por el Soil Conservation Service (CSC), y permite definir con mayor detalle la forma del hidrograma. Se obtiene a partir de varios hidrogramas registrados en una gran variedad de cuencas. Solo basta con multiplicar las ordenadas por el gasto pico q_p y las abscisas por el tiempo pico t_p . Este hidrograma se muestra en la Figura 2.3.2.

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

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

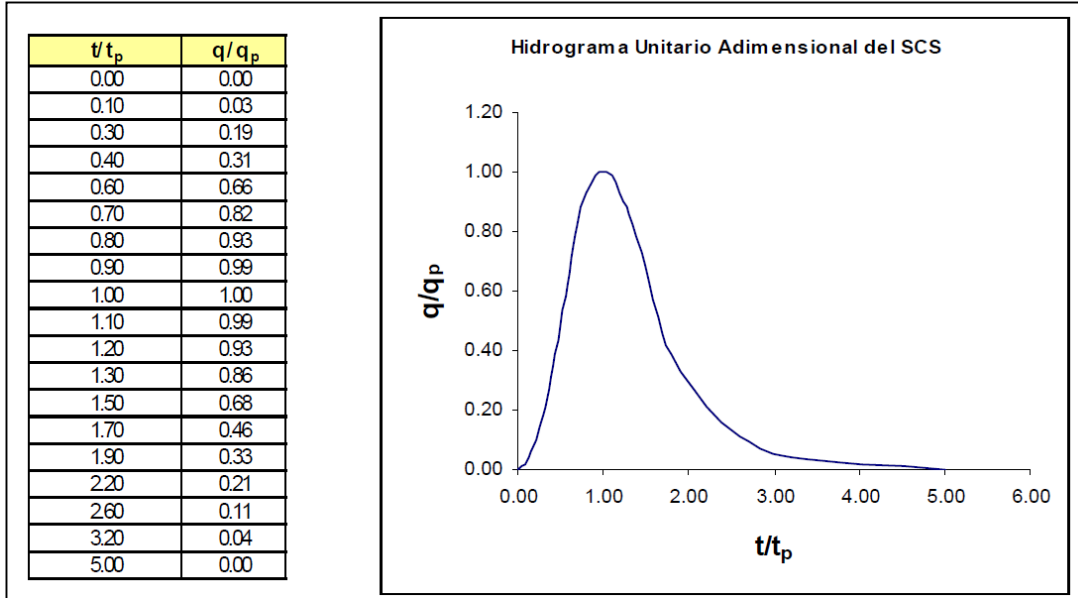


Figura 2.3.2 Hidrograma unitario Adimensional

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Este modelo fue desarrollado con el objetivo de pronosticar escurrimientos de una cuenca mediante un modelo de parámetros distribuidos.

La información necesaria para el funcionamiento del MPE, corresponde a la información de estaciones pluviográficas instaladas en la cuenca además de archivos que contienen los parámetros hidrológicos en forma de malla. Los resultados obtenidos con este modelo pueden ser guardados en archivos con formato de texto (.txt), estos son:

- Área de la cuenca
- Precipitación media de la cuenca
- Hietograma de precipitación
- Pérdidas
- Lluvia e exceso
- Gastos (total, directo, base y máximo)
- Hidrograma de escurrimiento de la cuenca

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

El MPE de uso general y se puede aplicar a cualquier cuenca, siempre y cuando se disponga con la información necesaria para generar archivos de entrada, necesarios para el funcionamiento del modelo.

3.1. MÉTODOS EMPLEADOS EN EL MPE

3.1.1. MÉTODO DE SHEPARD (MODELO DE PRECIPITACIÓN)

El método de Shepard, se aplica para obtener la precipitación distribuida considerando la interpolación de lluvias registradas en las estaciones pluviográficas y consiste en obtener una media pesada de los valores de los N sitios próximos al punto de interpolación, utiliza como peso el inverso de la distancia del punto por interpolar a los puntos dato que lo rodean.

La función $hp: z = hp(x, y)$ para $(x, y) \in B$, donde B es una región arbitraria del plano x, y , si se interpola para los puntos (x_j, y_j) dados por la función:

$$\phi(x, y) = \sum_{j=0}^N w_j(x, y) hp_j \quad (1.1)$$

Esta ecuación se le llama método global o general de Shepard ya que considera todos los puntos N.

El factor de peso de cada estación se determina como

$$w_j(x, y) = \frac{\frac{1}{r_j^\mu}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{r_i^\mu}}, \quad 0 < \mu < \infty \quad (1.2)$$

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

$$r_j(x, y) = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}, \quad j = 0, \dots, N \quad (1.3)$$

donde

$\emptyset(x, y)$ punto a interpolar

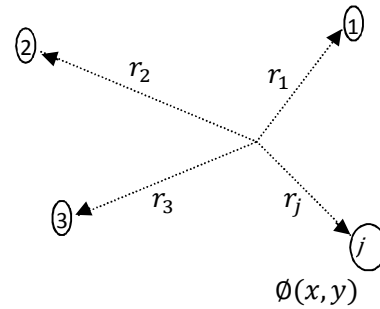
N número de estaciones de lluvia

w_j factor de peso en la estación j

hp_j lluvia en la estación j

$r_j(x, y)$ distancia desde el punto (x, y) a la estación j

μ coeficiente de calibración $2 \leq \mu \leq 6$



Shepard hace una modificación en el cálculo de $w_j(x, y)$, utilizando solo los puntos (x_j, y_j) de un círculo de radio R alrededor del punto (x, y) , este procedimiento es llamado método local de Shepard y w se calcula con los parámetros de Franke-Little:

$$\xi_j(x, y) = \begin{cases} 1 - \frac{r_j(x, y)}{R} & \text{para } 0 < r_j(x, y) < R \\ 0 & \text{para } r_j(x, y) \geq R \end{cases} \quad (1.4)$$

donde

R distancia máxima a considerar para hacer interpolación

$r_j(x, y)$ distancia desde el punto (x, y) a la estación j

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Por lo que la ecuación para determinar el factor de peso (w) resulta como:

$$w_j(x, y) = \frac{\xi_j(x, y)}{\sum_{i=0}^N \xi_{j_i}^{\mu}(x, y)} \quad (1.5)$$

3.1.2. MÉTODO DE NÚMERO DE CURVA (MODELO DE PRODUCCIÓN DE ESCURRIMIENTO)

Este método fue creado por el Soil Conservation Service (SCS-CN) y toma como base la ecuación del balance hídrico y las siguientes dos hipótesis, la primera establece que la razón entre el volumen de escurrimiento directo y el escurrimiento potencial máximo es igual a la razón entre la infiltración real y la infiltración potencial máxima. La segunda establece que la infiltración inicial es una fracción de la retención potencial. La ecuación de balance hídrico así como las hipótesis expresadas en forma matemática son las siguientes:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (1.6)$$

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F_a}{S} \quad (1.7)$$

$$I_a = \lambda S \quad (1.8)$$

Donde

P precipitación total

I_a infiltración inicial

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

F_a infiltración acumulada

P_e precipitación efectiva

S infiltración potencial máxima

El método supone que $I_a = 0.2S$ para aplicaciones prácticas.

Al hacer una combinación de las ecuaciones 1.6, 1.7 y 1.8 se obtiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}; \quad I_a \leq P \quad (1.9)$$

Al sustituir $I_a = 0.2S$ en 1.9

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (1.10)$$

El valor de S , en centímetros está dado por

$$S = \frac{2540 - (25.4CN)}{CN} \quad (1.11)$$

Al sustituir 1.11 en 1.10 se tiene

$$P_e = \frac{\left(P - \frac{508}{CN} + 5.08\right)^2}{P - \frac{2032}{CN} + 20.32} \quad (1.12)$$

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Donde CN es el número de curva el cual se calcula de acuerdo a las tablas 1 y 2, conociendo el uso y tipo de suelo con:

P precipitación total, en cm.

I_a infiltración inicial, en cm.

F_a infiltración acumulada, en cm.

P_e precipitación efectiva, en cm.

S infiltración potencial máxima, en cm.

Es necesario tener clasificado el tipo de suelo de acuerdo a su permeabilidad, siendo esta: muy alta, buena, media y baja, la cual se relaciona con el grupo hidrológico A, B, C y D (Tabla 3.1.1).

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Tabla 3.1.1 Clasificación hidrológica de los tipos de suelo según su permeabilidad

Clave de clasificación FAO	Suelos	Tipo hidrológico de suelo	Permeabilidad	Propiedades
T Q J O U	Andosoles Arenosoles Fluvisoles Histosoles Ranker	A	Muy alta	Arenas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo)
X, Y I, E Z D F R	Calcisoles (antes xerosol y yermosol) Leptosoles (antes litosoles y rendizinas) Solonchaks Podzoles Ferralsoles Regosoles	B	Buena	Arenas finas y limos
H K N C	Feozems Kastanozems Nitosoles Chernozems	C	Media	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
- A B G L V W S D - -	Alisoles Acrisoles Cambisoles Gleysoles Luvisoles Vertisoles Planosoles Solonetz Podzoluisoles Plintosoles Lixisoles	D	Baja	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)

El número de curva se determina a partir del grupo hidrológico al que pertenece el suelo, así como de la cubierta vegetal y la pendiente del terreno. (Véase Tabla 3.1.2)

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Tabla 3.1.2 Número de curva según la cobertura del suelo

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (INEGI)		GRUPO HIDROLÓGICO			
		A	B	C	D
AGRICULTURA (de humedad, de riego, de temporal)	Condición hidrológica mala	72	81	88	91
	Condición hidrológica regular	67	76	83	86
	Condición hidrológica buena	62	71	78	81
ÁREA SIN VEGETACIÓN APARENTE		77	86	91	94
ASENTAMIENTO HUMANO	Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc	82	88	91	93
	Condición hidrológica regular	49	69	79	84
	Condición hidrológica buena	39	61	74	80
	Residencial 50 % ó más área impermeable	77	85	90	92
	Residencial 50 % ó menos área impermeable	61	75	83	87
	Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
	Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
	Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc	98	98	98	98
	Calles y carreteras (pavimentados con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
	Calles y carreteras de grava	76	85	89	91
Calles y carreteras de tierra	72	82	87	89	
BOSQUE (cultivado, de encino, encino-pino, oyamel, pino, tascate, mesófilo de montaña)	Condición hidrológica mala	45	66	77	83
	Condición hidrológica regular	36	60	73	79
	Condición hidrológica buena	25	55	70	77
CARDONAL		54	71	80	89
CHAPARRAL (ARBUSTOS)		20	48	65	73
CUERPO DE AGUA		100	100	100	100
EROSIÓN		68	79	86	89
MANGLAR		100	100	100	100
MATORRAL (con izotes, con rosetófilos acaules, crasicuale, desértico micrófilo, desértico rosetófilo, espinoso, inerme, subinerme, subtropical)	Condición hidrológica mala	48	67	77	83
	Condición hidrológica regular	34	58	71	78
	Condición hidrológica buena	20	48	65	73
MEZQUITAL		68	79	86	92
NOPALERA		39	61	74	84
PALMAR		45	66	77	83

(Continuación)

PASTIZAL (cultivado, halófilo, inducido, natural, natural-huizachal)	Condición hidrológica mala	68	79	86	89
	Condición hidrológica regular	49	69	79	84
	Condición hidrológica buena	39	61	74	80
PLANTACIÓN FORESTAL	Condición hidrológica mala	55	73	82	86
	Condición hidrológica regular	44	65	76	82
	Condición hidrológica buena	32	58	72	79
PRADERA DE ALTA MONTAÑA		30	58	71	78
SABANA		45	66	77	83
SELVA (baja caducifolia, baja caducifolia y subcaducifolia, baja espinosa, mediana subcaducifolia)		45	66	77	83
TULAR		68	79	86	92
VEGETACIÓN HALÓFILA		68	79	100	100
VEGETACIÓN SECUNDARIA		68	79	86	89

- **Definición de la condición hidrológica**

Suelos agrícolas

Mala: tiene menos del 25% del terreno cubierto

Regular: tiene entre el 25 y 50% del terreno cubierto

Buena: tiene más del 50% del terreno cubierto

Uso forestal

Mala: tiene menos del 30% del terreno cubierto

Regular: tiene entre el 30 y 70% del terreno cubierto

Buena: tiene más del 70% del terreno cubierto

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

3.2. PÉRDIDAS POR EVAPOTRANSPIRACIÓN (FACTOR DE OLVIDO)

En el cálculo de la precipitación se agregó un parámetro que considera el secado del suelo después de una tormenta, llamado “factor de olvido”, éste factor hace que la aportación de lluvias antecedentes disminuyan conforme pasa el tiempo. Así, este parámetro también considera las pérdidas por evapotranspiración presentadas en el intervalo de tiempo entre una tormenta y otra. De no tomarse en cuenta este parámetro, en un segundo evento de lluvia, la saturación del suelo aumentaría ocasionando que escurra todo lo que llueve, y esto no se ve en la realidad.

Cuando se utiliza el factor de olvido, se calcula una precipitación acumulada “neta”

$$Pa_n = P_1 * fx^{n-1} + P_2 * fx^{n-2} + \dots \dots \dots P_n * fx^{n-n} \quad (1.13)$$

donde

Pa_n precipitación acumulada neta en el intervalo de tiempo n, en cm.

P_n precipitación en el intervalo de tiempo n, en cm.

fx factor de olvido, menor de uno.

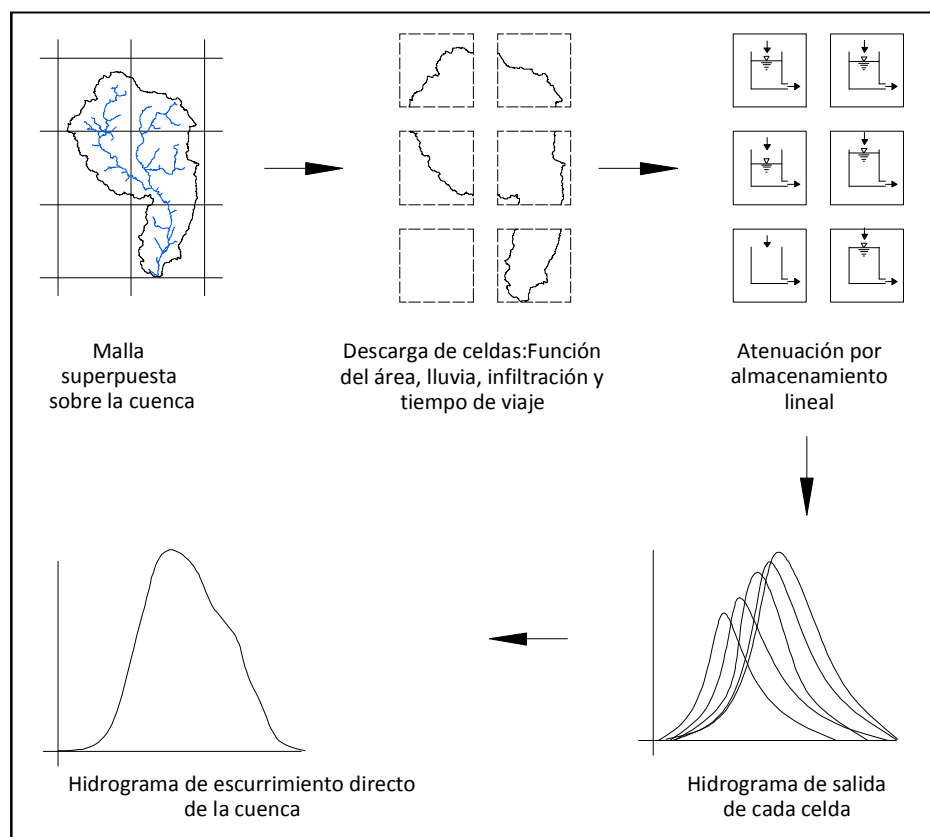
Por lo que la precipitación acumulada neta (Pa_n) sustituye a la acumulada total P en la ecuación 1.12 para estimar la precipitación efectiva.

En el caso de que se requiera calibrar eventos de varios días, es recomendable aumentar el valor de fx si se requiere una menor evapotranspiración y mayor escurrimiento o viceversa, siempre y cuando $0 \leq fx \leq 1$.

3.3. MÉTODO DE CLARK MODIFICADO (MODELO DE TRANSFERENCIA DE ESCURRIMIENTO)

La transferencia del escurrimiento desde cualquier punto de la cuenca hasta la salida se modela por medio de una agregación simple y un hidrograma unitario distribuido. Uno de los métodos más utilizados es el hidrograma unitario distribuido de Clark modificado (Figura 3.3.1), en que el escurrimiento producido en cada celda es trasladado hasta la salida de la cuenca después de haber transcurrido un intervalo de tiempo igual al tiempo de viaje desde X celda hasta la salida, combinando un mapa de isócronas, es decir, curvas con igual tiempo de viaje con la regulación en un embalse lineal.

El modelo de Clark requiere la estimación de tres parámetros con los cuales se determina el hidrograma de la cuenca, el histograma (tiempo-área), tiempo de concentración (T_c) y el coeficiente de atenuación por almacenamiento (k).



3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Figura 3.3.1 Modelo de escurrimiento directo conceptual del modelo de Clark (parámetros distribuidos)

Se define como tiempo de concentración (T_c) al tiempo que le toma a la precipitación excedente para alcanzar la salida de la cuenca desde el punto hidráulicamente más alejado. Es una medida de retraso puro, en el que no se toma en cuenta el efecto de almacenamiento. El MPE calcula el tiempo de concentración mediante la ecuación de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 \times \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right)$$

Donde

T_c tiempo de concentración, en h

L longitud del cauce principal, en m

S pendiente del cauce principal

El coeficiente de atenuación por almacenamiento es una medida de retraso causado por el efecto del almacenamiento natural

$$k = 0.6T_c$$

Siendo

k el coeficiente de almacenamiento, en h

T_c tiempo de concentración, en h

Al escurrimiento transitado se le aplica el método de Muskingum el cual utiliza la ecuación de continuidad pero en forma discreta para considerar el tiempo de retraso por almacenamiento.

$$I - O = \frac{dV}{dt}$$

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

$$\frac{I_i + I_{i+1}}{2} \Delta t - \frac{O_i + O_{i+1}}{2} \Delta t = \Delta V$$

Por lo que la relación algebraica entre el almacenamiento en el tramo V y las entradas I y salidas O es de la forma (Figura 3.3.2):

$$V = kO + kx(I - O) = k[xI + (1 - x)O]$$

Siendo

$$S_{prisma} = kO$$

$$S_{cuña} = kx(I - O)$$

$$S = k[xI + (1 - x)O]$$

Donde

S almacenamiento en el tramo considerado

I caudal de entrada en ese tramo

O caudal de salida en ese tramo

k, x constantes para el tramo del cauce

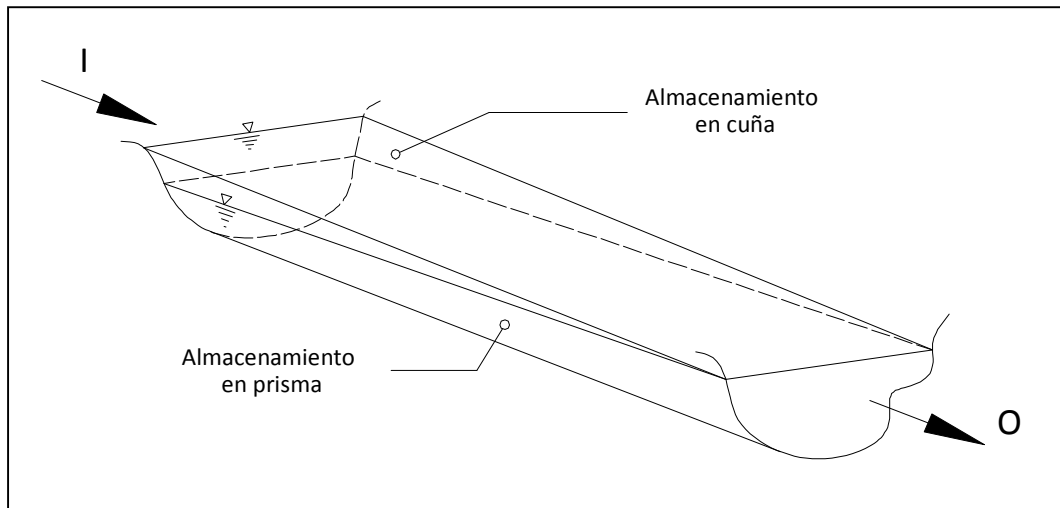


Figura 3.3.2 Almacenamientos durante el paso de una avenida

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Al aplicar el método a dos intervalos de tiempo se tiene:

$$S_1 = k[xI_1 + (1 - x)O_1]$$

$$S_2 = k[xI_2 + (1 - x)O_2]$$

$$O_2 = C_0I_2 + C_1I_1 + C_2O_1$$

$$C_0 = \left(\frac{-kx + 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} \right)$$

$$C_1 = \left(\frac{kx + 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} \right)$$

$$C_2 = \left(\frac{k - kx - 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} \right)$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

Despreciando el almacenamiento en la cuña $x=0$, resulta:

$$C_0 = C_1 = \left(\frac{0.5\Delta t}{k + 0.5\Delta t} \right)$$

$$C_2 = \left(\frac{k - 0.5\Delta t}{k + 0.5\Delta t} \right)$$

El histograma tiempo-área representa el área de la cuenca que contribuye al escurrimiento en la salida de la misma en un tiempo dado. El área se obtiene a través de la determinación de la distancia de viaje desde cada celda hasta la salida de la cuenca. A lo anterior se suma estimando el escurrimiento en las laderas y el tiempo de viaje de la corriente principal o simplemente suponiendo una velocidad de viaje constante dada por la relación entre la distancia del punto más alejado a la salida de la cuenca entre el tiempo de concentración.

Conocido el tiempo de viaje (T_i) desde cada celda a la salida de la cuenca, el área de la cuenca se divide en zonas de igual tiempo de viaje (isócronas). La relación de las áreas, isócronas y el intervalo de tiempo correspondiente permiten obtener el histograma tiempo-área de la cuenca.

$$T_t = T_c \times \left(\frac{Lv_N}{Lv_n} \right)$$

donde

T_c tiempo de concentración, en h.

T_t tiempo de tránsito o tiempo de viaje desde la celda que se analiza, en h.

Lv_N longitud de viaje de la celda mas lejana

Lv_n longitud de viaje de la celda analizada

En el SIG son obtenidas las longitudes de viaje de cada celda, que posteriormente son convertidas por el programa MPE en tiempos de viaje para crear las isócronas que requiere el método de Clark en la transferencia de escurrimientos.

3.4. CALIBRACIÓN DEL MODELO MPE

Todos los modelos hidrológicos deben ser calibrados y verificados antes de utilizarse en los diseños y análisis de ingeniería.

Por lo que en la cuenca en estudio es necesario calibrar los parámetros Ia , S y f_x (llamados parámetros de pérdidas), además de los parámetros T_c y k (llamados parámetros de forma). Finalmente se comparan los resultados obtenidos de la simulación de datos observados.


3.4.1. INSTALACIÓN DEL PROGRAMA MPE

El programa se desarrolló bajo la plataforma de Visual Basic 6, cuyos requerimientos mínimos de instalación son Windows 98/2000/NT/XP.

La secuencia de instalación es la siguiente:

1. Insertar el disco en la unidad de CD.
2. Seleccionar la unidad de CD.
3. Abrir la carpeta de MPE y ejecutar el programa MPE.exe.

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

4. Buscar en el escritorio el ícono  o en todos los programas el programa MPE y hacer doble click para ejecutarlo.

3.4.2. CONTENIDO DEL PROGRAMA Y ARCHIVOS DE ENTRADA

La pantalla principal del MPE se muestra en la Figura 3.4.1, en ella se observan los menús **Archivo**, **Información**, **Precipitación**, **Escurrimientos**, **Ayuda** y **Salir**. A continuación se describen las opciones de cada uno de ellos aplicados al proyecto o trabajo de estudio.

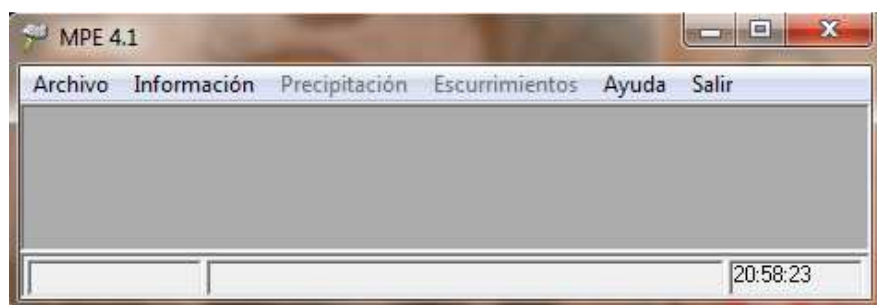


Figura 3.4.1 Pantalla principal del programa MPE

I. Menú Archivo (Opciones)

Abrir proyecto. Cuando se tenga un proyecto existente

Cerrar proyecto. Cierra el proyecto sin guardar cambios realizados

Guardad proyecto. Guarda cambios realizados en el proyecto con extensión .EMOD

Guardar proyecto como. Nombra el proyecto guardándolo con extensión .EMOD

Salir. Cierra el programa

II. Información (Datos y Archivos de Entrada)

a) Información inicial. Es la información del evento de lluvia a estudiar.

Fecha inicial. Se introducen el día, mes y año en que inicio la tormenta (dd/mm/aa)

Hora inicial. Hora de inicio de la tormenta (hh:mm)

Fecha final. Se introducen el día, mes y año de término de la tormenta (dd/mm/aa)

Hora final. Hora de finalización de la tormenta (hh:mm)

Intervalo de tiempo (Δt). Intervalo de tiempo para datos de lluvia y para el cálculo del pronóstico, en minutos.

b) Archivos de entrada. Referente a los archivos que contienen los parámetros hidrológicos de la cuenca en forma de malla, celdas y el archivo de datos de lluvia.

1. Archivo de celdas. Archivo con extensión .txt que contiene la siguiente información de las celdas (subcuencas) que conforman la cuenca.

- Coordenadas SHG (Standard Hydrologic Grid) X, Y del centro de la celda
- Longitud de viaje
- Área
- Número de curva

2. Archivo con lluvias (.txt). Archivo de texto el cual contiene los registros de las estaciones pluviográficas. La tabla contiene información de coordenadas UTM (X,Y) y los valores de lluvia de cada estación en cada uno de los intervalos Δt para el periodo de la tormenta. Las columnas deben estar separadas por un tabulador o coma.

III. Precipitación (Opciones para Obtener la Precipitación Media de la Cuenca y el Hietograma)

a) Precipitación media. Presenta una tabla con la información de la fecha, hora y lluvia media registrada en la cuenca, en intervalos Δt , así como el área de la cuenca (km²), la precipitación media total (mm) y el hietograma.

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

IV. Ecurrimientos (Ecurrimiento Medido, Calculado y Tabla Resumen de Resultados)

- a) **Observados**, se agrega información de los escurrimientos observados, que fueron registrados durante el paso de una tormenta con los cuales se calibra el hidrograma calculado.

Observaciones, Nombre de la estación o algún comentario.

Fecha inicial. Se introducen el día, mes y año en que inicio el evento (dd/mm/aa)

Hora inicial. Hora de inicio del evento (hh:mm)

Intervalo de tiempo (Δt). Intervalo de tiempo para el cálculo del pronóstico (min)

Fecha final. Se introducen el día, mes y año de término del evento (dd/mm/aa)

Hora final. Hora de finalización del evento (hh:mm)

Ingresar datos. Se refiere al registro de escurrimientos, estos pueden introducirse de forma manual o mediante una tabla con formato .txt.

Ingresar tabla. La tabla contiene cuatro columnas, de tal manera que incluya el tiempo en cada uno de los intervalos Δt , el escurrimiento medido total, directo y base correspondiente a su Δt . Las columnas deben estar separadas por comas o por un tabulador.

- b) **Hidrograma**. Presenta parámetros de calibración para calcular el escurrimiento directo, y el método para calcular el gasto base y el hidrograma resultante.

❖ Parámetros de pérdidas (producción de escurrimiento)

- **Factor de escala de pérdida inicial (λ)**. Relaciona la infiltración inicial con la infiltración potencial máxima. Su valor se encuentra entre 0 y 1, en aplicaciones prácticas se recomienda iniciar la calibración con $\lambda = 0.2$ en $I_a = \lambda S$.

donde

I_a infiltración inicial, en cm

S infiltración potencial máxima, en cm

- **Factor de escala de retención potencial (f_s)**. Éste factor varía o modifica la retención potencial del suelo y en consecuencia el valor del número de curva.

$$S = S * f_s$$

S representa la infiltración potencial máxima, en cm

Si disminuye el valor de f_s se tiene menor permeabilidad y mayor escurrimiento. Cuando f_s aumenta, la permeabilidad también pero disminuye el escurrimiento.

- **Factor de olvido (f_x)**. Este parámetro considera las pérdidas por evapotranspiración presentadas en un intervalo de tiempo de un evento a otro. Es recomendable cuando se requieren modelar varios días:

$$0 \leq f_x \leq 1$$

Para menor evapotranspiración y mayor escurrimiento se aumenta f_x y viceversa.

❖ **Parámetros de forma.**

Estos parámetros intervienen en el traslado del escurrimiento y dan forma al hidrograma.

- **Tiempo de concentración (T_c)**. Es el tiempo que tarda la precipitación excedente en alcanzar la salida de la cuenca desde el punto más alejado.

$$T_c > \Delta t$$

- **Coficiente de almacenamiento (C_a)**, es el tiempo de retraso provocado por el efecto del almacenamiento natural. En una primer aproximación:

$$C_a = 0.6T_c$$

3. MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

$$C_a > \Delta T/2$$

donde

C_a coeficiente de almacenamiento, en h.

T_c tiempo de concentración, en h.

Δt intervalo de tiempo para el cálculo del pronóstico, en min.

❖ *Escorrimento base*. Se presentan tres formas de obtener el escurrimiento base.

- *Escorrimento constante*
- *Método de recesión*
- *Sin escurrimiento base*

El botón hidrograma permite observar la gráfica de la lluvia que escurre y la que se infiltra (hietograma), además de la gráfica del escurrimiento medido y calculado (hidrograma).

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

4.1. BANCO NACIONAL DE DATOS DE AGUAS SUPERFICIALES (BANDAS)

La gestión del recurso hídrico del país está estrechamente relacionada con el manejo digital de la información hidrométrica, por ello Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) se han encargado de la actualización del Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS), en el que se integra la red hidrométrica nacional. En esta red se registran los niveles de agua (escalas), así como el gasto que pasa en los principales ríos de la República Mexicana.

La base de datos BANDAS cuenta con datos de 2,070 estaciones hidrométricas de las cuales aproximadamente 480 estaciones fueron actualizadas hasta el año 2006, además tiene registradas aproximadamente 180 presas.

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información está contenida en carpetas, las cuales contienen información clasificada de cada estación hidrométrica como se indica a continuación:

- Valores Diarios, gasto medio diario (m^3/s), del día 1 al día 29-31. (ddXXXXXXXX).
- Valores mensuales, incluye la hora y el día del gasto máximo y gasto mínimo (m^3/s). Además de la lectura de volumen máximo y medio de escurrimientos (miles de m^3) y la lectura del día y hora de las escalas para el gasto mínimo, medio y máximo. (dmXXXXXXXX).
- Valores anuales, donde menciona el mes, día y hora en que ocurre el gasto máximo y mínimo (m^3/s). La lectura de escala para el gasto máximo y mínimo (m), además del volumen anual de escurrimientos (miles de m^3), gasto medio anual (m^3/s) y volumen anual de sedimentos (miles de m^3). (daXXXXXXXX).
- Hidrograma, que incluye la fecha en que ocurre el gasto, hora en que ocurre el gasto y gasto y instantáneo (m^3/s). (hdXXXXXXXX).
- Limnigrama, se muestra fecha, hora de lectura y lectura de escala (m). (liXXXXXXXX).
- Sedimentos, donde se incluye la fecha y hora de la lectura, así como el porcentaje de sedimentos. (stXXXXXXXX).

En el estudio se consideraron dos estaciones las cuales son Coliman y Peñitas II, con número de clave 16032 y 16036, respectivamente. Las características generales de estas estaciones se muestran en la Tabla 4.1, De la base de datos BANDAS, fueron obtenidos los gastos máximos anuales así como los gastos instantáneos, cuyos registros hidrométricos fueron ajustados mediante el programa AX, para así ajustar la mejor función de distribución de probabilidad y extrapolar la información de gastos para distintos periodos de retorno. En el ajuste de funciones se realizó una doble aproximación de la distribución con el objetivo de obtener el menor error estándar al modificar los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 .

Tabla 4.1 Datos generales de las estaciones hidrométricas consideradas (BANDAS)

Región Hidrológica	Cuenca	Río	Estación Hidrométrica	Clave Bandas	Latitud	Longitud	Años	Área Cuenca (km^2)	Área EH* (Drenada) (km^2)
15	Lerma Santiago Pacífico	Armería	Colimán	16032	N 18°56'30"	W 103°56'30"	1963-1999	9 744	9 744
			Las Peñitas II	16036	N 19°19'30"	W 103°49'30"	1954-1988/ 1991-1994/ 1999		8 108

Los datos de gasto máximos anuales (Tabla 4.2) e instantáneos (Tabla 4.3) para las estaciones consideradas fueron obtenidos con base en los registros correspondientes al BANDAS.

Tabla 4.2 Gastos máximos anuales e instantáneos de la estación Coliman (16032)

Año	Q _{ma}	Q _{inst}
1963	8.30	S/D
1964	15.62	S/D
1965	55.92	S/D
1966	33.73	S/D
1967	33.10	S/D
1968	32.76	S/D
1969	23.08	S/D
1970	17.12	S/D
1971	1622.41	2410.83
1972	203.69	305.20
1973	283.71	425.00
1974	1258.77	2345.00
1975	409.67	696.97
1976	436.17	586.87
1977	185.70	304.50
1978	263.36	292.50
1979	149.42	225.10
1980	184.25	193.25
1981	207.87	389.42
1982	241.32	299.60
1983	178.01	221.74
1984	184.86	258.00
1985	145.99	163.54
1986	707.48	940.00
1987	1068.35	2700.00
1988	756.46	922.33
1989	178.86	321.00
1990	106.28	111.00
1991	87.07	127.50
1992	3666.09	4384.00
1993	607.09	1160.00
1994	527.23	806.65
1995	S/D	S/D
1996	S/D	S/D
1997	S/D	S/D
1998	S/D	S/D
1999	1792.13	2034.35
2000	90.29	137.22
2001	514.53	S/D

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Tabla 4.3 Gastos máximos anuales e instantáneos de la estación Peñitas II (16036)

Año	Q _{ma}	Q _{inst}
1954	216.25	S/D
1955	967.64	1590
1956	130.97	188
1957	282.55	317
1958	848.97	1017.3
1959	1268.51	3100
1960	228.97	277.4
1961	153.60	165.4
1962	139.26	236.2
1963	212.07	287.2
1964	114.95	123.8
1965	151.80	201.7
1966	282.30	358.4
1967	1349.72	1660
1968	961.78	1410
1969	605.25	870
1970	335.36	376.867
1971	886.78	1305.5
1972	163.45	253.833
1973	162.51	353.8
1974	237.56	349.2
1975	186.52	234
1976	335.12	501.316
1977	143.08	252.571
1978	97.70	225.833
1979	99.42	212.923
1980	107.46	206.118
1981	168.63	252.343
1982	213.20	266.4
1983	155.63	210.286
1984	144.31	S/D
1985	136.57	S/D
1986	382.26	646
1987	1358.09	2180
1988	83.02	S/D
1989	S/D	S/D
1990	S/D	S/D
1991	37.04	37.2
1992	3300.44	7800
1993	191.93	213.3
1994	228.99	310
1995	S/D	S/D
1996	S/D	S/D
1997	S/D	S/D
1998	S/D	S/D

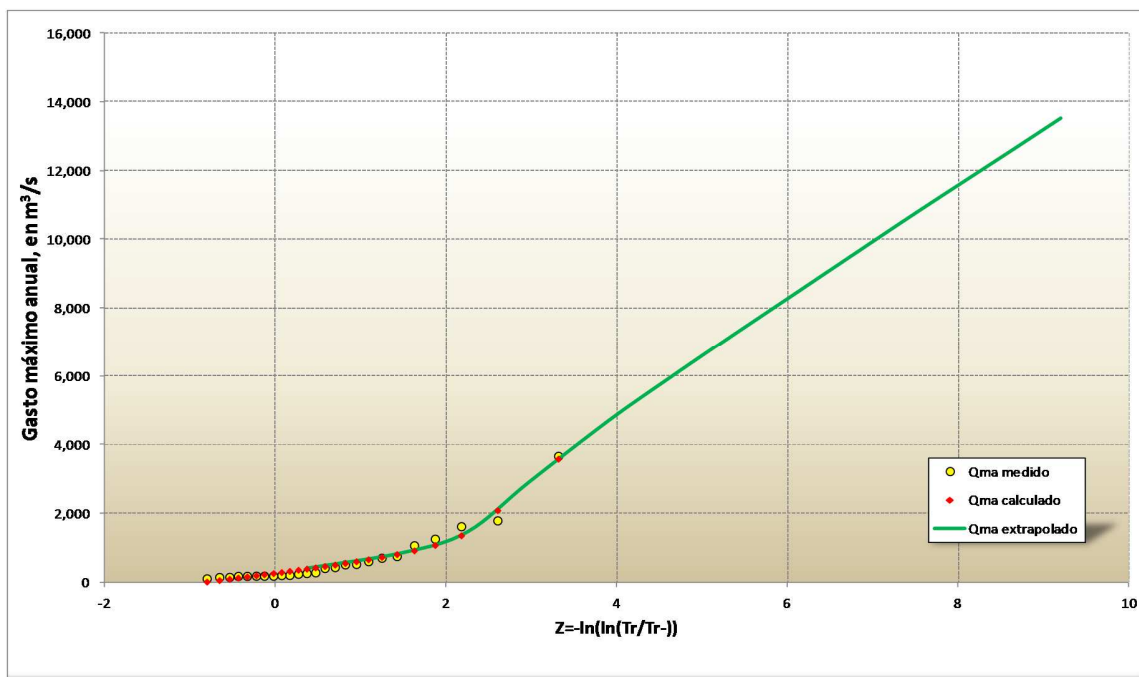
4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

1999	3813.88	S/D
2000	46.83	49.791
2001	51.68	73.784
2002	90.85	97.042
2003	6655.79	10300
2004	9543.91	12721
2005	16.90	17.71
2006	500.45	600.002

Con los datos obtenidos de las dos estaciones hidrométricas consideradas en el estudio (Coliman y Peñitas), se realiza el ajuste de distribución de probabilidad para gastos máximos e instantáneos (con AX.exe), el resultado se observa en Gráfica 4-1, Gráfica 4-2, Gráfica 4-3, y

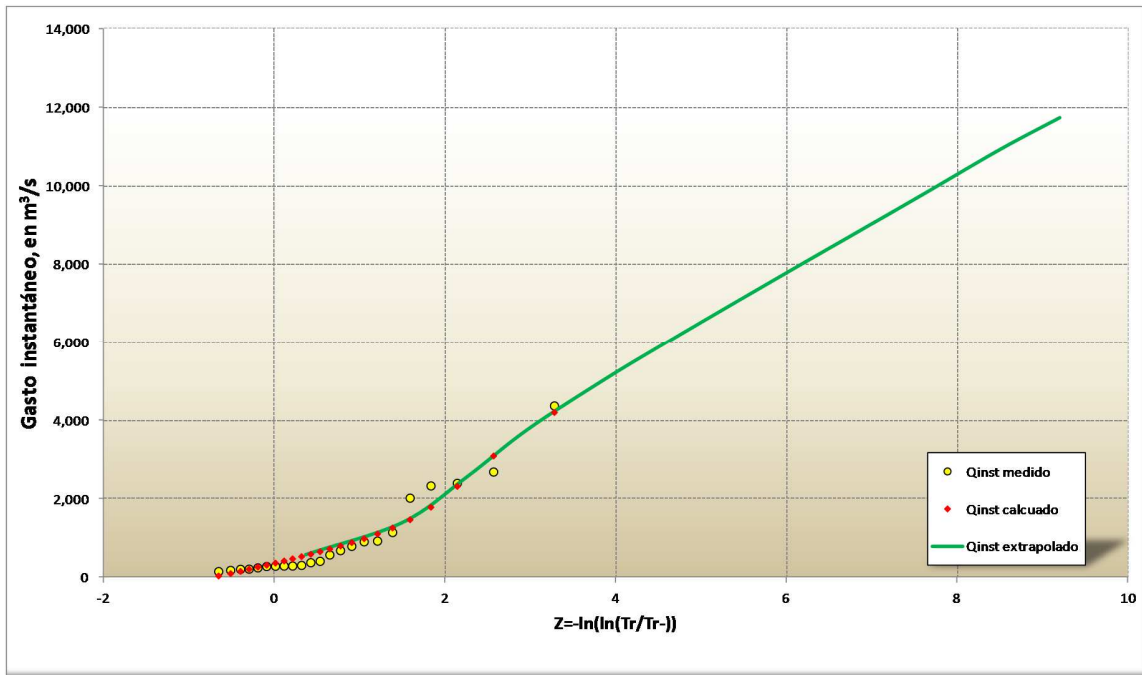
Gráfica 4-4. Para lograr el mejor ajuste de los datos de gasto (máximo e instantáneo) es necesario modificar los parámetros de ajuste: α_1 , β_1 , α_2 y β_2 de cada función y así reducir el error cuadrático. Los parámetros con los cuales se logró el mínimo error se presentan en la

Tabla 4.4 para la estación Coliman (16032) y en la Tabla 4.5 para la estación Peñitas (16036).

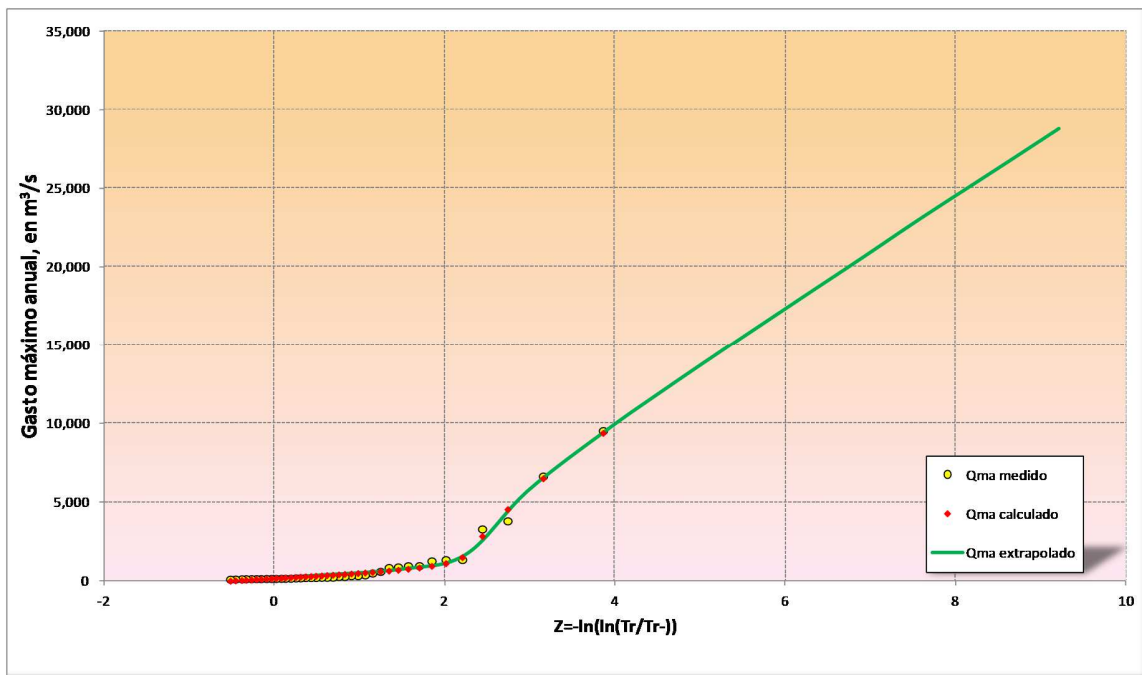


Gráfica 4-1 Ajuste de gastos máximos con la función de distribución Doble Gumbel (Coliman)

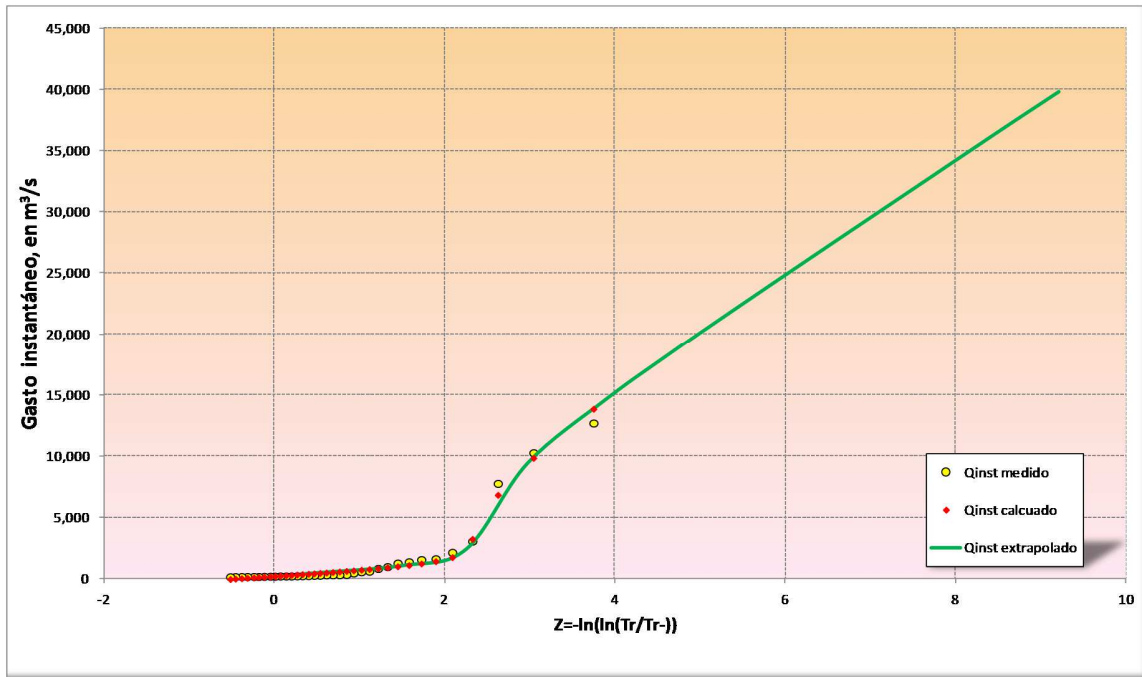
4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE



Gráfica 4-2 Ajuste de gastos instantáneos con la función de distribución Doble Gumbel (Coliman)



Gráfica 4-3 Ajuste de gastos máximos con la función de distribución Doble Gumbel (Peñitas II)



Gráfica 4-4 Ajuste de gastos instantáneos con la función de distr. Doble Gumbel (Peñitas II)

Tabla 4.4 Parámetros utilizados en el ajuste de la función doble Gumbel de la estación Coliman

Colimán (16032)						
Gasto	P	α_1	β_1	α_2	β_2	error
Máximo anual	0.88	0.003464	235.9079	0.000606	1868.3616	134.236
Instantáneo	0.87	0.002223	308.8526	0.000804	2850.6364	249.611

Tabla 4.5 Parámetros utilizados en el ajuste de la función doble Gumbel de la estación Peñitas II

Peñitas II (16036)						
Gasto	P	α_1	β_1	α_2	β_2	error
Máximo anual	0.88	0.003705	139.9136	0.000279	3460.0669	183.358
Instantáneo	0.9	0.002406	195.4208	0.000215	7697.481	308.363

De todas las funciones de ajuste (Normal, Log-Normal,, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel) que se emplean en el programa AX.exe, se observó que la función de distribución de probabilidad de mejor ajuste fue la Doble Gumbel, con la que se realiza la extrapolación de gastos máximos anuales e instantáneos en las dos estaciones de estudio, para periodos de retorno de: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2, 000, 5,000 y 10, 000 años (Tabla 4.6 y Tabla 4.7)

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Tabla 4.6 Extrapolación de gastos para la estación Coliman

Tr	Q máx(m ³ /s)	Q inst (m ³ /s)
2	390.06	574.20
5	850.18	1390.53
10	1449.18	2541.35
20	2892.08	3762.36
50	4677.07	5077.85
100	5897.60	5991.50
200	7078.40	6878.90
500	8610.13	8033.78
1000	9766.66	8897.02
2000	10914.35	9763.59
5000	12397.52	10923.47
10000	13527.56	11723.38

Tabla 4.7 Extrapolación de gastos para la estación Peñitas II

Tr	Q máx (m ³ /s)	Q inst (m ³ /s)
2	283.81	415.10
5	728.26	1077.52
10	1667.11	2404.67
20	5675.42	9402.04
50	9560.04	14673.60
100	12212.48	18165.67
200	14773.87	21514.57
500	18099.61	25846.97
1000	20591.51	29096.28
2000	23121.76	32333.13
5000	26342.06	36615.74
10000	28795.63	39802.80

Analizando los resultados obtenidos para cada una de las estaciones, se decidió que la estación Coliman (16032) es la más conveniente para hacer el cálculo del hidrograma debido a que los datos son más consistentes y además de que la estación cubre el 100% del área en estudio, a pesar de contener un menor número de datos registrados.

En la Tabla 4.2 se observa que los gastos máximos e instantáneos extremos corresponden a los años **1974, 1987, 1992 y 1999**. Para estos años, de la base de datos BANDAS se identificarán el año, mes y día de ocurrencia de estos eventos. Las fechas de ocurrencia se muestran en la Tabla 4.8. A partir de cada una de las fechas, se eligen datos de gasto diario, cinco días antes y cinco días después (Ver Tabla 4.9). Los datos de gasto obtenidos servirán para realizar la generación de hidrogramas dentro de la cuenca.

Tabla 4.8 Ocurrencia de eventos extraordinarios

Año	Q max (m ³ /s)	Q inst (m ³ /s)	Fecha
1974	1258.77	2345.00	23/sep
1987	1068.35	2700.00	26/jul
1992	3666.09	4384.00	27/ene
1999	1792.13	2034.35	06/sep

Tabla 4.9 Gastos que se presentaron cinco días antes y cinco días después a partir de eventos extraordinarios registrados en la estación Coliman

Sep-74	Q (m3/s)	Jul-87	Q (m3/s)	Ene-92	Q (m3/s)	Sep-99	Q (m3/s)
Día		Día		Día		Día	
18	86.55	21	6.85	22	174.2309	1	43.13615
19	97.337	22	7.15	23	150.8979	2	45.0572
20	98.526	23	9.65	24	137.3438	3	44.14508
21	81.019	24	15.11875	25	155.825	4	45.81707
22	86.94	25	1010.689	26	2825.012	5	494.63387
23	1258.768	26	1068.35	27	3666.088	6	1792.13438
24	578.394	27	519.1583	28	1363.97	7	1220.89926
25	437.998	28	206.1751	29	861.3421	8	730.90587
26	249.691	29	141.6437	30	631.4167	9	309.37795
27	149.374	30	136.45	31	491	10	600.62773
28	117.55	31	108.6374	1	530.9583	11	464.93203

4.2. BASE DE DATOS CLICOM

En México se han instalado más de 6000 estaciones climatológicas distribuidas en todo el territorio. Actualmente se encuentran en operación más de 3500 de las cuales existen algunas en muy buen estado y proporcionan información de acceso inmediato, por otro lado, también se cuenta con estaciones en muy mal estado cuya información no es de acceso inmediato (Ordoñez, 2010). Esta base de datos histórica es recopilada en la Base de Datos Climatológica Nacional (BDCN), administrada en la Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (USMN), quien es una dependencia de la Comisión Nacional del Agua (CNA), y a su vez depende de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Para un mejor manejo de los datos climatológicos, la BDCN clasifico las estaciones climatológicas en 13 Regiones Hidrológicas, mientras que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) proporcione el programa CLICOM. (Miranda et al 2009).

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

La información climática oficial, es operada por el SMN en el sistema CLima COMputarizado (CLICOM), la cual contiene la información registrada en la red de estaciones climatológicas convencionales.

4.2.1. MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

De forma diaria se hace el registro de parámetros básicos en las estaciones climatológicas, tomados a las ocho de la mañana, dentro de los datos que se registran están: temperatura a las ocho de la mañana, temperatura máxima y mínima registradas en las últimas 24 horas y acumulados de precipitación y evaporación. También se toman registros de manera cualitativa donde destacan nubosidad, granizadas, heladas, tormentas, neblina, etc. El equipo que se utiliza debe ser profesional y cumplir con la reglamentación proporcionada por la OMM.

Uno de los parámetros de suma importancia utilizados en estudios hidrológicos como lo es el presente, es la precipitación la cual se mide con pluviómetros o pluviógrafos y la evaporación que se mide en un tanque de evaporación tipo "A" donde un micrómetro registra la diferencia de alturas de la superficie del agua. Por último el viento, en donde se hace la apreciación de la magnitud y dirección de acuerdo con la escala de Beaufort modificada.

Dado a que los registros se realizan diariamente y la toma de parámetros debe ser lo más certera posible, el personal de cada estación debe tomar cursos formales de medición de estos parámetros climatológicos o bien tener experiencia por algunos otros técnicos los cuales pueden ser personal de CNA, o alguna otra persona contratada de otras instituciones, gobiernos estatales o municipios. Así, la toma de datos, recopilación y digitalización se envía a la USMN.

4.2.2. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

El sitio donde se pretenda instalar una estación climatológica está en función de las necesidades hidrológicas o agrícolas de la región. Por ello el instalar nuevas estaciones o darlas de baja es decisión de las Direcciones Regionales y Estatales de la CNA.

Los datos de las estaciones climatológicas utilizadas en este estudio fueron obtenidos de la base de datos CLICOM cuya actualización corresponde al año de 2010, estos datos fueron exportados a Excel, en el que se generaron archivos donde se organizaron los datos de las estaciones en forma tabular, para después convertirlo a formato .txt, para ser exportado a un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 9) donde se generó un mapa de puntos los cuales representan la distribución espacial de las estaciones climatológicas dentro de la cuenca de estudio (Figura 4.2.1).

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

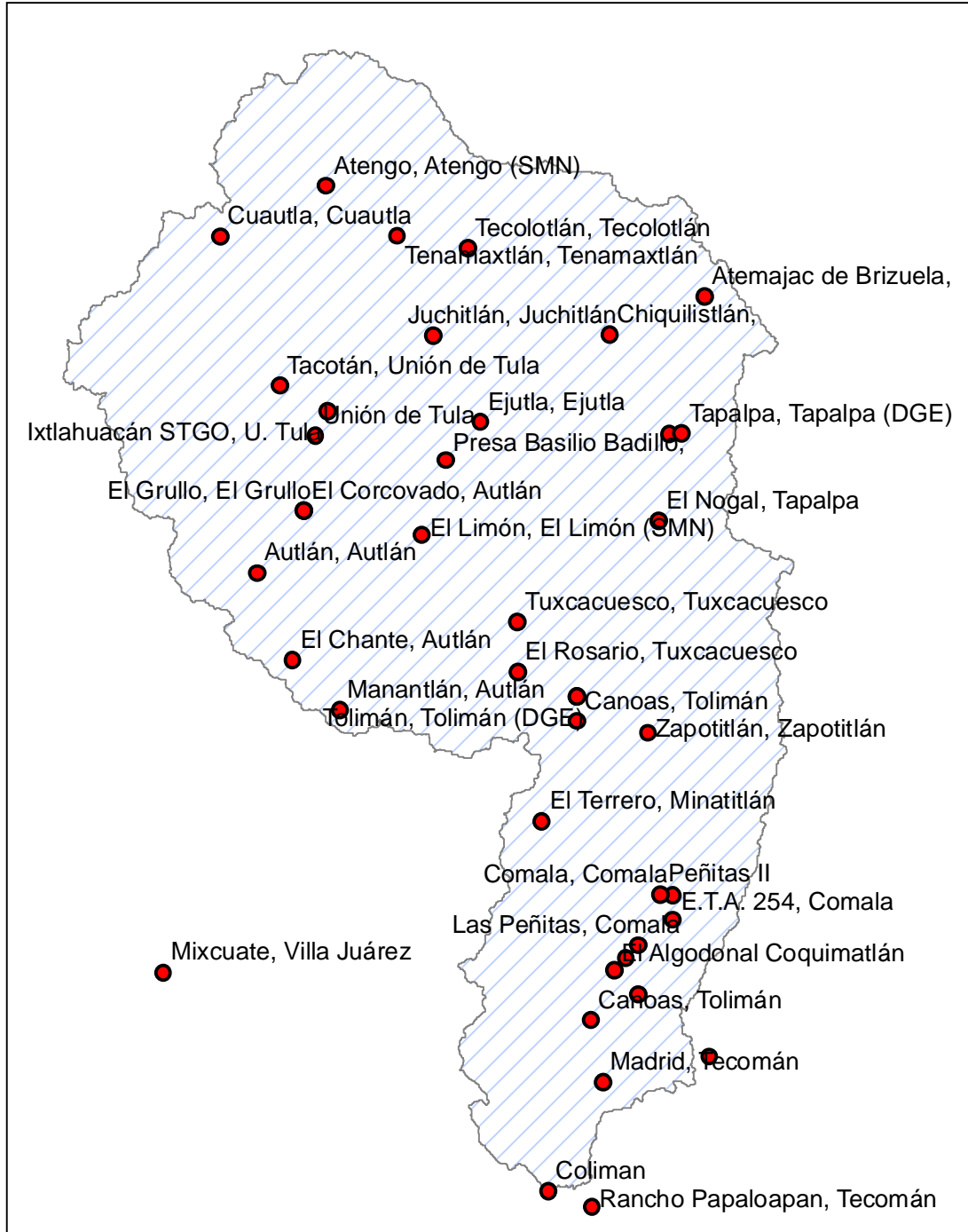


Figura 4.2.1 Ubicación de las estaciones dentro de la cuenca del río Armería

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

En la cuenca del Río Armería se tienen 41 estaciones climatológicas, distribuidas en toda la superficie (aproximadamente de 9, 744 km²). Esta cuenca se extiende en dos estados de la República Mexicana, donde el 17.6% de la superficie corresponde al Estado de Colima y el 82.4% al Estado de Jalisco. Los datos generales de cada estación climatológica se muestran en la

Tabla 4.10, donde observan datos como: clave, nombre de la estación, coordenadas geográficas y UTM, años de operación y el Estado al que pertenece cada una de ellas.

Tabla 4.10 Estaciones de la cuenca del Río Armería

Clave	Nombre	Latitud		Longitud		UTM		Años	Estado
		grados	minutos	grados	minutos	x	y		
6007	Comala, Comala	19	20	103	46	629555.4	2138172	51-99/03-04	Colima
6008	Coquimatlán, Coquimatlán	19	12	103	49	624403.1	2123380	48-07	Colima
6014	Las Peñitas, Comala	19	16	103	49	624352.9	2130758	57-05 / 07	Colima
6015	Los Ortices, Colima	19	7	103	43	634985.2	2114232	62-85/87-92/94-00/07	Colima
6017	Madrid, Tecomán	19	5	103	52	619229.9	2110434	70-05/07	Colima
6020	Pueblo Juárez, Coquimatlán	19	15	103	50	622613.7	2128901	58-75	Colima
6023	Rancho Papaloapan, Tecomán	18	55	103	53	617593.3	2091978	54-05 / 07	Colima
6052	E.T.A. 254, Comala	19	18	103	46	629581.7	2134483	75-07	Colima
6056	Canoas, Tolimán	19	10	103	53	617417.4	2119645	81-00/05-08	Colima
6065	Mixcuate, Villa Juárez	19	14	104	29	554303.4	2126726	84-96/02/07	Colima
6066	El Terrero, Minatitlán	19	26	103	57	610228	2149112	84-08	Colima
6075	El Algodonal Coquimatlán	19	14	103	51	620874.1	2127045	84-04/07	Colima
14013	Atemajac de Brizuela,	20	8	103	43	634138.6	2226753	45-04	Jalisco
14014	Atengo, Atengo (SMN)	20	17	104	15	578314.3	2243013	45-84	Jalisco
14019	Autlán, Autlán	19	46	104	21	568094.2	2185792	39-40/45-81/85/87-00	Jalisco
14031	Venustiano Carranza,	14	45	103	45	634548.5	1631049	39/46-91	Jalisco
14041	Chiquilistlán,	20	5	103	51	620238.8	2221117	64-86/88-89	Jalisco
14043	Ejutla, Ejutla	19	58	104	2	601143.4	2208084	40-03	Jalisco
14046	El Chante, Autlán	19	39	104	18	573385.6	2172902	69-81/83-07	Jalisco
14050	El Grullo, El Grullo	19	51	104	17	575039.4	2195042	39-45/47-87/91	Jalisco
14051	El Limón, El Limón (SMN)	19	49	104	7	592510.6	2191436	44-46/49-52/55-56/58-84	Jalisco
14052	El Nogal, Tapalpa	19	50	103	47	627410.5	2193497	46-07	Jalisco
14078	Juchitlán, Juchitlán	20	5	104	6	594098	2220957	48-07	Jalisco
14094	Manantlán, Autlán	19	35	104	14	580408.1	2165554	65-89/91-92/94-95	Jalisco
14139	Tacotán, Unión de Tula	20	1	104	19	571474	2213472	47-89/91-98	Jalisco
14142	Tapalpa, Tapalpa (SMN)	19	57	103	46	629061.5	2206422	23-31/42-60/91-03/05/07	Jalisco
14143	Tecolotlán, Tecolotlán	20	12	104	3	599252.3	2233898	39/42-60/91-94/96-07	Jalisco
14151	Tolimán, Tolimán (SMN)	19	36	103	54	615359.1	2167590	48-50/52-75	Jalisco
14155	Tuxcacuesco, Tuxcacuesco	19	42	103	59	606553	2178603	61-81/83-07	Jalisco
14158	Unión de Tula	19	57	104	16	576736.3	2206116	26-31/34/39/42-06	Jalisco

14184	Tapalpa, Tapalpa (DGE)	19	57	103	45	630805.8	2206435	61-89	Jalisco
14185	Tecolotlán, Tecolotlán	20	19	105	35	439102.4	2246632	61-90	Jalisco
14190	Tolimán, Tolimán (DGE)	19	36	103	54	615359.1	2167590	76-89/93	Jalisco
14301	Tenamaxtlán, Tenamaxtlán	20	13	104	9	588794.7	2235686	75-03	Jalisco
14311	Canoas, Tolimán	19	34	103	54	615382.9	2163901	79-03	Jalisco
14312	Cuautla, Cuautla	20	13	104	24	562677.7	2235571	79-91	Jalisco
14343	Presa Basilio Badillo,	19	55	104	5	595941.6	2202521	79-00	Jalisco
14350	El Rosario, Tuxcacuesco	19	38	103	59	606597.1	2171225	80-08	Jalisco
14352	Zapotitlán, Zapotitlán	19	33	103	48	625886.3	2162127	48-53/55-87	Jalisco
14390	El Corcovado, Autlán	19	51	104	17	575039.4	2195042	74-08	Jalisco
14395	Ixtlahuacán STGO, U. Tula	19	59	104	15	578463.9	2209812	95-98/00-08	Jalisco

Para un mejor análisis, la cuenca del Río Armería se divide en dos zonas, zona baja y zona alta. Esta división se realizó a partir de la determinación de los coeficientes de variación, en donde se observó una marcada diferencia de éstos. La zona alta se caracteriza por estar rodeada por cordilleras montañosas por lo que las lluvias que se presentan están en función de las condiciones ambientales, temperatura, vegetación, clima, orografía, etc. En cambio la zona baja está fuertemente influenciada por fenómenos meteorológicos como pueden ser tormentas tropicales o huracanes.

Los datos de lluvia de cada una de las estaciones consideradas en el estudio se muestran en la Tabla 4.11.

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

En la zona baja se localizan las estaciones climatológicas **6065, 6066 y 6075**, las cuales disponen de poca información y las funciones de distribución no se ajustan a los datos de precipitación, por lo que en este estudio no se consideran. Por su parte, la estación **6056** queda fuera del estudio debido a que no cumplen con la condición de que los parámetros α_2 sea menor α_1 , en la función de distribución de probabilidad Doble Gumbel.

Para los registros de precipitación obtenidos de cada una de las estaciones climatológicas (extraídas del CLICOM), se realiza de forma similar a la información hidrométrica, el mejor ajuste de acuerdo con las funciones de distribución de probabilidad, Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel, de cada muestra de datos.

Dado que se tienen dos zonas que presentan diferentes características, las funciones de distribución de probabilidad para las estaciones climatológicas de la cuenca del Río Armería con el menor error de ajuste son: para la zona alta la distribución de probabilidad Gumbel, y para la zona baja la distribución Doble Gumbel. Las gráficas correspondientes a cada estación climatológica se presentan en el **Anexo D y E**. En donde se incluyen también los datos extrapolados del ajuste de acuerdo a las zonas antes mencionadas.

A partir de los eventos extremos identificados dentro del registro de información hidrométrica de la estación Coliman, se realiza la búsqueda e identificación de datos de precipitación para las fechas 23 de septiembre de 1974 (Tabla 4.12), 26 de julio de 1987 (Tabla 4.13), 27 de enero de 1992 (Tabla 4.14) y 06 de septiembre de 1999 (Tabla 4.15)

Tabla 4.12 Datos de lluvia del evento extremo de 1974

UTM		EST	Sep-74										
x	y		18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
629555.4021	2138172.395	6007	0	16	0	0	4.7	0	0	7.7	0	0	0
624403.1298	2123379.77	6008	0	0	0	12.5	0	0	0	0	0	0	0
624352.927	2130757.716	6014	0	0.5	0	4.7	106.6	0	0	0	0	0	21
634985.2079	2114231.578	6015	0	1.7	0	6.5	83.5	0	0	0	0	0	49
622613.6746	2128901.379	6020	20	0	0	0	0	0	0	0	0.5	23	36
634138.599	2226753.226	14352	0	0	0	0	40.5	0	0	0	0	0	0
578314.3045	2243013.171	14013	0	0	1	8	26	0	0	4	0	0	1
568094.1566	2185791.606	14014	5	6	0	0	18	1	0	44	0	0	0
634548.5484	1631048.906	14019	0	4	0	0	71.5	2	0	0	6	0	0
601143.3591	2208084.017	14041	0	0	0	0	6.5	0	0	1.2	1.2	6	0
573385.5593	2172901.816	14043	28	1	0	1.5	48	1	0	0	0	0	0
575039.3508	2195041.806	14046	0	0	0	0	36	0	0	0	2	0	5.6
592510.6303	2191435.616	14050	0	0.5	0	1	32.5	0.5	0	0	0.3	0	0
627410.5271	2193497.167	14051	0	0	0	46.2	2.4	0	0	0	0	0	0
594098.0399	2220956.808	14052	0	0	0	6	22	0	0	10	3	0	0
580408.1151	2165554.367	14078	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0
571474.0188	2213471.536	14094	5	0	0	0	2.8	10.7	0	0	3.4	2.5	0
629061.4988	2206422.323	14139	11.4	0	0	1.1	36.7	0.6	0	0	0	0	0
606553.019	2178602.558	14151	11	0	0	3.1	31.7	0	0	0	0	0	0
576736.3102	2206115.882	14155	0	2	0	1	21	5	0	0	0	0	0
630805.7854	2206435.222	14158	15.5	0	0	1	37.4	0	0	0	0	0	0

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

439102.4304	2246631.907	14184	0	0	0	8.5	18	0	0	0	4.2	0	0
615359.1346	2167589.796	14185	0	0	0	0	17	2	0	0	1.5	0	0.5
575039.3508	2195041.806	14390	0	0.5	0	1	32.5	0.5	0	0	0.3	0	0

Tabla 4.13 Datos de lluvia durante el evento de 1987

UTM		EST	Jul-87										
x	y		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
624403.1298	2123379.77	6008	0	61	0	18.6	8	0	1.2	2	0.8	3.4	0
624352.927	2130757.716	6014	0.4	2.6	2.8	105.7	87.4	0	0	2.4	0.5	2.8	0.4
634985.2079	2114231.578	6015	0.1	20	0.3	95.9	26.7	1.6	1.5	6.4	1.8	3.7	0
619229.8603	2110433.709	6017	0	16.5	0.2	163.7	150.9	0	0	0	2	2.8	0
617593.3486	2091978.373	6023	37	68	2	165	87	4	2	0.5	4.8	9.6	0
554303.4455	2126726.25	6065	0	14.4	0	0	0	14	0	0	47.5	0	8.5
620874.066	2127045.23	6075	0	16	0	16	12	0	0	17	5.5	5.5	0
634138.599	2226753.226	14352	0	0	2	100	13.5	1.5	0	8	1	0	0
578314.3045	2243013.171	14013	0	0	2	30	59	0	2.5	13	10	0	0
634548.5484	1631048.906	14019	0	0	0	1.3	128	92	0.2	0	13.5	0	3.4
620238.7916	2221117.41	14031	11.5	0	0	11	44	2	6	0	0	0	0
573385.5593	2172901.816	14043	0	0	0	44	88	4	1	2.8	0	1.7	0
575039.3508	2195041.806	14046	0	0	2	51.5	50.5	48.5	23.5	13	0	2	0
592510.6303	2191435.616	14050	0	0	0	33	7.5	3	0	8	0	2.3	0.7
594098.0399	2220956.808	14052	0	23	42.5	50.5	10.9	10.2	1.6	1	16.1	0	0
580408.1151	2165554.367	14078	0	0	0	8.4	42.7	68.4	0	7.3	0	3.7	0
571474.0188	2213471.536	14094	0	0	0	3.6	0	0	0	0	0	0	0
629061.4988	2206422.323	14139	0	0	2.5	40.3	68.2	4.5	0	7.6	0	1.4	0
576736.3102	2206115.882	14155	0	0	0	39	49.5	0	0	10.5	0	0	0
630805.7854	2206435.222	14158	0	0	11.8	47	83.2	6	2.2	1	0	1.9	0
439102.4304	2246631.907	14184	0	0	4.5	40	62.7	1.5	21.5	4.3	1.5	8.7	0
615359.1346	2167589.796	14185	0	0	0	32	68	0	25.7	16.3	8.4	1.5	5.3
588794.651	2235685.555	14190	0	2.3	5	93.5	5.2	0	0	0.6	0	0	0
615382.8763	2163900.77	14301	0	0	7.5	33.5	62.3	2.3	51	11	3.5	1.5	16.2
562677.6931	2235571.346	14311	0	0	0	71	40	0	0	1	0	0	0
595941.6489	2202521.141	14312	0	3	0	36	76	4	20	7.7	3.5	6	0
606597.0831	2171224.595	14343	0	0	1	54.1	65.9	1	2	4.2	0	2.8	1.4
625886.3114	2162126.738	14350	0	1.5	0.2	49.4	45.2	0	0	2	0	0.3	0
575039.3508	2195041.806	14390	0	0	0	33	107.5	3	0	8	0	2.3	0.7

Tabla 4.14 Datos de lluvia en el evento máximo de 1992

UTM		EST	Ene-92										Feb-92
x	y		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
629555.4021	2138172.395	6007	0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4
624403.1298	2123379.77	6008	0	0	67.3	123.3	16	0	15.5	0	0	20	0
624352.927	2130757.716	6014	0	0	67.5	140.2	11.1	2.3	11.4	0	0	16.9	1.2
634985.2079	2114231.578	6015	0.2	35	123	3	1	9.2	2.5	0	0	21.5	1.5
619229.8603	2110433.709	6017	0	0	46.8	115.9	12.3	2.1	8.2	0	0	21.8	1.7
617593.3486	2091978.373	6023	0	0	65.5	117.3	11.3	4.5	23.5	4.5	0	0	5.8
629581.674	2134483.336	6052	0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4
617417.4086	2119644.61	6056	0	0	80.6	120.2	18.5	0	17.4	0	0	22.4	1
554303.4455	2126726.25	6065	0	0	62	174	13	0	6	0	0	18	0
610228.0068	2149112.024	6066	0.5	30	50	120	14	15	3	2	0	25	2
620874.066	2127045.23	6075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
578314.3045	2243013.171	14013	0	4	0	35	69	0	4	1	17.5	0	0
634548.5484	1631048.906	14019	0	0.7	32	91	6	0	0	0	0	0	7.8
573385.5593	2172901.816	14043	0	0.5	22.5	70	0.5	0	0	0	0	4.5	0.5

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

575039.3508	2195041.806	14046	0	0	60	23	0	0	0	0	3.5	0	1.5
571474.0188	2213471.536	14094	0	0	48	80	2.3	31.7	0	0	0	10	
629061.4988	2206422.323	14139	0	0	1.7	27.7	84.1	0	0	0	0.4	0	1.7
599252.3415	2233897.698	14142	0	0.9	53.9	85.4	0.4	0	0	0.2	0	5.8	0
615359.1346	2167589.796	14143	0	1.8	20.5	91	0	0	0	0	0	4.4	2
615382.8763	2163900.77	14301	0	3.5	26	91.5	0	0	0	0	0	7	6
562677.6931	2235571.346	14311	0	0	27.5	68	4.2	0	1.5	0	0	0	0
606597.0831	2171224.595	14343	0	0	25	65	0	1	0	0	0	7.5	0
625886.3114	2162126.738	14350	0	0	28.6	68.2	0	0.5	1.2	0	0	3.6	0

Tabla 4.15 Datos de lluvia para el evento extraordinario de 1999

UTM		EST	Sep-99										
x	y		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
629555.4021	2138172.395	6007	5	10.1	0	14	273	80.6	2	3.5	8.8	0	0
624403.1298	2123379.77	6008	0	0	7.7	70	214.2	73.3	0	2	3.5	0	0
624352.927	2130757.716	6014	4.7	0	6.7	26.5	287	60.3	7.5	6.7	6.1	0	0.2
634985.2079	2114231.578	6015	0	0	5.2	0	0	340	0	0	0	0	0
619229.8603	2110433.709	6017	0	0.8	32.8	36.2	400.1	72.8	0	0.3	1.8	0	0
617593.3486	2091978.373	6023	0	7	7	187.5	279.5	81	0	0	5	0	0
629581.674	2134483.336	6052	1.6	4.2	0	0	22.4	268.6	37.3	0	5.6	9.2	0
617417.4086	2119644.61	6056	0	0	0	175.5	165.5	0	0	2.3	5.2	0	0
610228.0068	2149112.024	6066	2	1.8	2.5	33.2	238	82	2	74.3	21	0.1	0.5
578314.3045	2243013.171	14013	3	0	4	0	5	9.5	6.5	8	44	27	0
634548.5484	1631048.906	14019	3.3	0	0	17.5	24	130	46	56	0	5.5	0
573385.5593	2172901.816	14043	12	1	0	20.5	103.5	53.5	2	9.5	23.5	26	1
575039.3508	2195041.806	14046	23	0	0	75	72	23	7.5	8.4	0	0	18.5
594098.0399	2220956.808	14052	0	0	0	10.5	60	11.4	0	34.9	24	0	0
580408.1151	2165554.367	14078	0	1.1	0	9.5	16	20.5	28.5	19	0	14.8	7.5
599252.3415	2233897.698	14142	1	0	0	17.5	42	42	0	78.5	34	0	0
615359.1346	2167589.796	14143	0	0.5	0	0	24.5	14.9	1.7	18.1	23.4	0	0
576736.3102	2206115.882	14155	0	5	0	0	101.5	20	0	61.2	24.4	5	0
630805.7854	2206435.222	14158	8.8	7	15	16.5	60.2	40.1	0	10	19	10	0
615382.8763	2163900.77	14301	52	18	0	0	26	22	0	15	40	0	0
562677.6931	2235571.346	14311	5	0	7	7.2	100.5	15.1	0	28.5	27	0	0
606597.0831	2171224.595	14343	1	5	2	43.5	70	39	0	30	19	1.5	0
625886.3114	2162126.738	14350	1	0	0.4	3.9	117.5	22.5	0	37	12.8	0.3	0

De los eventos extremos encontrados, se hará la calibración y aplicación del Modelo para Pronóstico de Escurrimiento de acuerdo al evento más desfavorable, que en éste caso es el ocurrido el 27 de enero de 1992.

4.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN (PRIMERA APROXIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO)

El coeficiente de escurrimiento C considera valores en un rango de entre 0 y 1, éste varía considerablemente en cada cuenca y en cada tormenta debido a las condiciones de humedad inicial. Sin embargo, se adoptan valores de C representativos, de acuerdo con ciertas características de las cuencas como se muestra en Tabla 4.16.

Para el estudio se realiza una primera aproximación del coeficiente de escurrimiento considerando el área de la cuenca (9, 665.28 km²), el promedio de los datos de lluvia extrapolados de las estaciones climatológicas y el correspondiente gasto medio para estación hidrométrica “Colimán” en un día. Todos ellos para un periodo de retorno de 10 años.

En el área de estudio se consideran 37 estaciones climatológicas y 2 hidrométricas las cuales se encuentran distribuidas en toda la cuenca la cual fue dividida en zona alta y zona baja. En la zona alta se tienen 29 estaciones mientras que en la zona baja el resto (10 estaciones).

Tabla 4.16 Valores de coeficiente de escurrimiento (Aparicio. M. J. 2009)

Tipo de Área Drenada	Coeficiente de Escurrimiento	
	Mínimo	Máximo
Zonas Comerciales		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindarios	0.50	0.70
Zonas Residenciales		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas Habitación	0.50	0.70
Zonas Industriales		
Espaciado	0.50	0.80
Compactado	0.60	0.90
Cementerios, Parques	0.10	0.25
Campos de Juego	0.20	0.35
Patios de Ferrocarril	0.20	0.40
Zonas Suburbanas	0.10	0.30
Calles		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
Estacionamientos	0.75	0.85

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Techados	0.75	0.95
Praderas		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcillosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados (0.07 o más)	0.25	0.35

La suma de las alturas de precipitación las estaciones climatológicas consideradas en la cuenca es **3,953.31 mm**. Así con estos datos es posible obtener el promedio de la lluvia, es decir, la precipitación total (P) y el volumen llovido dentro de la cuenca:

P	106.846	mm
P	0.1068	m
Ac	9665.285033	km ²
Ac	9665285033	m ²
Vol. llovido	1,032,699,134	m³

Donde el Vol. llovido es: $Vol. ll = \overline{hp}(Tr = 10 \text{ años}) * Ac$

En el cálculo del volumen escurrido se consideró de la estación Coliman y el gasto medio para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 1 día.

Estación hidrométrica Coliman "16032"

Qmd	1449.18	m ³ /s
Qinst	2541.35	m ³ /s
Tiempo	86400	s
Vol. esc.	125,209,152	m³

Donde el Vol. escurrido es: $Vol. esc. = Qmd(Tr = 10 \text{ años}) * 86400$

Con estos datos es posible calcular el coeficiente de escurrimiento con la siguiente expresión:

$$C = \frac{Vol. esc.}{Vol. ll}$$

$$C = \frac{125,209,152 m^3}{1,032,699,134 m^3}$$

$$C = 0.121244$$

Un método más completo es el del United States Conservation Service (USSCS), del que es derivado el método de los números de escurrimiento el cual tiene la ventaja de que no se requiere tener registros de gastos y se puede determinar la altura de precipitación efectiva a partir de la precipitación total y de las características de la cuenca. Las alturas de lluvia total (P) y efectiva (P_e) se relacionan mediante la siguiente ecuación:

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32} \quad (1)$$

Donde N corresponde al número de escurrimiento el cual depende del tipo de suelo, cubierta vegetal, pendiente del terreno, precipitación antecedente, y algunos otros factores. P y P_e se expresan en cm.

Con los datos que se tienen se obtiene la precipitación efectiva de la siguiente manera:

$$P_e = \frac{Vol. esc.}{Ac}$$

$$P_e = \frac{125,209,152 m^3}{9,665,285,033 m^2} = 0.012955 m$$

$$P_e = 1.2955 cm$$

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Con los datos de Precipitación efectiva y precipitación total ($P = 10.685 \text{ cm}$), se obtiene de la ecuación (1) el valor del número de escurrimiento (N). Es importante mencionar que la ecuación (1) es una ecuación no lineal donde la solución se obtiene por medio de tanteos o por algún método numérico. Al realizar el cálculo por medio de tanteos se obtiene que:

$$1.28499 = \frac{\left[10.685 - \frac{508}{N} + 5.08\right]^2}{10.685 + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

soluciones

$$N = 18.76701$$

$$N = 52.684825$$

Donde el valor 18.76, carece de sentido, puesto que la operación realizada dentro del paréntesis (numerador) da un número negativo.

4.4. ARCHIVO DE LLUVIAS PARA UN $TR= 100$ AÑOS

Para determinar qué tan confiables son los resultados que se obtendrán con el Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) es necesario obtener el archivo de lluvias con el cual se compararán dichos resultados. Para ello, se consideran los valores de precipitación extrapolados para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2, 000, 5,000 y 10, 000 años).

Se consideran un total de 20 estaciones climatológicas, las cuales registraron información en el evento ocurrido el 27 de enero de 1992 y sus datos fueron ajustados a alguna función de distribución de probabilidad (Tabla 4.17).

Dado que la cuenca se dividió en dos zonas (Tabla 4.18) de acuerdo a la diferencia tan marcada de los coeficientes de variación, se estima la precipitación media por dos metodologías: La primera mediante un promedio aritmético y la segunda haciendo un promedio ponderado. La Tabla 4.19 muestra los valores de precipitación asociados a distintos periodos de retorno zona alta (12 estaciones) y la Tabla 4.20 muestra los valores correspondientes a la zona baja (8 estaciones).

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Tabla 4.17 Información de lluvias para el evento del 27/01/1992

UTM		EST	ene-92											feb-92
x	y		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	
629555.4021	2138172.395	6007	0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4	
624403.1298	2123379.77	6008	0	0	67.3	123.3	16	0	15.5	0	0	20	0	
624352.927	2130757.716	6014	0	0	67.5	140.2	11.1	2.3	11.4	0	0	16.9	1.2	
634985.2079	2114231.578	6015	0.2	35	123	3	1	9.2	2.5	0	0	21.5	1.5	
619229.8603	2110433.709	6017	0	0	46.8	115.9	12.3	2.1	8.2	0	0	21.8	1.7	
617593.3486	2091978.373	6023	0	0	65.5	117.3	11.3	4.5	23.5	4.5	0	0	5.8	
629581.674	2134483.336	6052	0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4	
617417.4086	2119644.61	6056	0	0	80.6	120.2	18.5	0	17.4	0	0	22.4	1	
578314.3045	2243013.171	14013	0	4	0	35	69	0	4	1	17.5	0	0	
634548.5484	1631048.906	14019	0	0.7	32	91	6	0	0	0	0	0	7.8	
573385.5593	2172901.816	14043	0	0.5	22.5	70	0.5	0	0	0	0	4.5	0.5	
575039.3508	2195041.806	14046	0	0	60	23	0	0	0	0	3.5	0	1.5	
571474.0188	2213471.536	14094	0	0	48	80	2.3	31.7	0	0	0	10	0	
629061.4988	2206422.323	14139	0	0	1.7	27.7	84.1	0	0	0	0.4	0	1.7	
599252.3415	2233897.698	14142	0	0.9	53.9	85.4	0.4	0	0	0.2	0	5.8	0	
615359.1346	2167589.796	14143	0	1.8	20.5	91	0	0	0	0	0	4.4	2	
615382.8763	2163900.77	14301	0	3.5	26	91.5	0	0	0	0	0	7	6	
562677.6931	2235571.346	14311	0	0	27.5	68	4.2	0	1.5	0	0	0	0	
606597.0831	2171224.595	14343	0	0	25	65	0	1	0	0	0	7.5	0	
625886.3114	2162126.738	14350	0	0	28.6	68.2	0	0.5	1.2	0	0	3.6	0	

Tabla 4.18 Áreas de acuerdo a la zona de la cuenca

Zona	Área (km ²)
Alta	7377.51
Baja	2288.18
Total	9665.70

Tabla 4.19 Precipitación asociada a distintos periodos de retorno (zona alta)

Zona Alta												
EST/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000
14013	47.19	61.84	71.54	80.84	92.88	101.9	110.89	122.75	131.72	140.68	152.52	161.48
14019	62.68	86.23	101.82	116.78	136.14	150.64	165.1	184.17	198.58	212.99	232.03	246.43
14043	65.26	87.33	101.94	115.95	134.09	147.69	161.23	179.1	192.6	206.1	223.95	237.44
14046	57.47	80.84	96.31	111.15	130.36	144.75	159.09	178.01	192.31	206.61	225.5	239.79
14094	76.99	110.25	132.28	153.4	180.75	201.24	221.66	248.6	268.95	289.31	316.2	336.55
14139	55.34	68.68	77.51	85.98	96.95	105.17	113.35	124.16	132.32	140.48	151.27	159.43
14142	52.33	70.86	83.13	94.9	110.13	121.54	132.91	147.91	159.25	170.59	185.57	196.9
14143	58.31	75.4	86.72	97.57	111.62	122.14	132.63	146.47	156.93	167.38	181.2	191.65
14301	63.5	75.84	84.01	91.84	101.99	109.59	117.16	127.16	134.71	142.26	152.23	159.78
14311	52.9	67.26	76.76	85.87	97.67	106.52	115.32	126.95	135.73	144.51	156.12	164.89
14343	61.7	78.66	89.88	100.65	114.59	125.04	135.45	149.18	159.56	169.93	183.64	194.01
14350	67.91	86.73	99.19	111.15	126.62	138.21	149.77	165.01	176.53	188.04	203.26	214.77
SUMA	721.58	949.92	1101.09	1246.08	1433.79	1574.43	1714.56	1899.47	2039.19	2178.88	2363.49	2503.12
PROMEDIO	60.13	79.16	91.76	103.84	119.48	131.20	142.88	158.29	169.93	181.57	196.96	208.59
PROMEDIO*Azonalta	443622.16	584003.94	676942.16	766080.96	881483.71	967948.17	1054099.08	1167780.41	1253679.25	1339559.65	1453056.54	1538900.06

Tabla 4.20 Precipitación asociada a distintos periodos de retorno (zona baja)

Zona Baja												
EST/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000
6007	80.19	108.79	139.22	230.83	378.06	474	565.44	683.41	771.55	861.04	977.66	1064.44
6008	82.24	121.76	179.39	248.13	324.18	377.31	428.97	496.27	546.73	597.76	664.77	714.64
6014	84.67	121.37	175.27	249.97	306.18	342.9	377.92	423.34	457.11	490.89	536.44	567.86
6015	74.26	109.99	146.79	242.73	417.51	534.92	647.57	793.3	902.6	1010.64	1158.05	1265.25
6017	97.57	142.77	185.59	271.5	450.08	573.46	691.22	843.44	956.84	1070.24	1218.53	1337.16
6023	93.05	148.1	212.95	248.93	285.82	311.45	336.34	368.8	393.07	417.34	449.19	474.97
6052	77.9	110.23	148.01	232.71	350.57	431.59	509.96	611.73	687.98	764.23	865.12	940.2
6056	94.85	161.61	175.34	184.99	197.09	206.69	217.24	233.45	247.75	263.52	285.48	302.29
SUMA	684.73	1024.62	1362.56	1909.79	2709.49	3252.32	3774.66	4453.74	4963.63	5475.66	6155.24	6666.81
PROMEDIO	85.59	128.08	170.32	238.72	338.69	406.54	471.83	556.72	620.45	684.46	769.41	833.35
PROMEDIO*Azonabaja	195848.57	293064.94	389723.58	546243.97	774976.61	930238.51	1079639.79	1273872.33	1419712.63	1566165.01	1760540.56	1906861.38

4. DESCRIPCIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

En resumen, se tiene que la precipitación media para diferentes periodos de retorno, considerando el promedio aritmético y ponderado, se muestra en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21 Hp asociada a distintos Tr (método aritmético y ponderado)

Precipitación media	Tr											
	2	5	10	20	50	100	200	500	1,000	2,000	5,000	10,000
Hp_promedio (mm)	70.32	98.73	123.18	157.79	207.16	241.34	274.46	317.66	350.14	382.73	425.94	458.50
Hp_ponderado (mm)	66.16	90.74	110.36	135.77	171.38	196.38	220.75	252.61	276.59	300.62	332.47	356.49

El archivo de lluvias requerido por el Modelo para Pronóstico de Escurrimiento (MPE) para un periodo de retorno de 100 años se crea a partir del archivo de lluvias correspondiente a la fecha en que ocurrió el evento extremo del 27 enero de 1992 registrado en las estaciones hidrométricas antes analizadas. El archivo de lluvias para un Tr = 100 años, relaciona la máxima lluvia del registro con valor de 140.20 mm (ver Tabla 4.14) con la precipitación obtenida a partir de un promedio ponderado correspondiente a un periodo de retorno de 100 años (196.384 mm), es decir, se relaciona una lluvia puntual (140.20 mm) con la obtenida mediante un promedio ponderado (196.384), en el que se obtiene un factor de 1.40. Los datos de precipitación asociados a un periodo de retorno de cien años se muestran en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22 Información de lluvias para un Tr de 100 años

UTM		EST	ene-92										feb-92
x	y		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1
629555.4021	2138172.395	6007	0	0	0	65.8348	86.8459	121.864	4.20222	15.4081	0	0	5.60296
624403.1298	2123379.77	6008	0	0	94.2698	172.711	22.4118	0	21.7115	0	0	28.0148	0
624352.927	2130757.716	6014	0	0	94.55	196.384	15.5482	3.2217	15.9684	0	0	23.6725	1.68089
634985.2079	2114231.578	6015	0.28015	49.0259	172.291	4.20222	1.40074	12.8868	3.50185	0	0	30.1159	2.10111
619229.8603	2110433.709	6017	0	0	65.5547	162.346	17.2291	2.94156	11.4861	0	0	30.5361	2.38126
617593.3486	2091978.373	6023	0	0	91.7485	164.307	15.8284	6.30333	32.9174	6.30333	0	0	8.1243
629581.674	2134483.336	6052	0	0	0	65.8348	86.8459	121.864	4.20222	15.4081	0	0	5.60296
617417.4086	2119644.61	6056	0	0	112.9	168.369	25.9137	0	24.3729	0	0	31.3766	1.40074
578314.3045	2243013.171	14013	0	5.60296	0	49.0259	96.6511	0	5.60296	1.40074	24.513	0	0
634548.5484	1631048.906	14019	0	0.98052	44.8237	127.467	8.40444	0	0	0	0	0	10.9258
573385.5593	2172901.816	14043	0	0.70037	31.5167	98.0518	0.70037	0	0	0	0	6.30333	0.70037
575039.3508	2195041.806	14046	0	0	84.0444	32.217	0	0	0	0	4.90259	0	2.10111
571474.0188	2213471.536	14094	0	0	67.2355	112.059	3.2217	44.4035	0	0	0	14.0074	0
629061.4988	2206422.323	14139	0	0	2.38126	38.8005	117.802	0	0	0	0.5603	0	2.38126
599252.3415	2233897.698	14142	0	1.26067	75.4999	119.623	0.5603	0	0	0.28015	0	8.1243	0
615359.1346	2167589.796	14143	0	2.52133	28.7152	127.467	0	0	0	0	0	6.16326	2.80148
615382.8763	2163900.77	14301	0	4.90259	36.4193	128.168	0	0	0	0	0	9.80518	8.40444
562677.6931	2235571.346	14311	0	0	38.5204	95.2504	5.88311	0	2.10111	0	0	0	0
606597.0831	2171224.595	14343	0	0	35.0185	91.0481	0	1.40074	0	0	0	10.5056	0
625886.3114	2162126.738	14350	0	0	40.0612	95.5305	0	0.70037	1.68089	0	0	5.04267	0

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Armería es una de las corrientes más importantes dentro de la zona Pacífico-Centro (Enciclopedia de los Municipios de México Colima © 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Colima). El río tiene una longitud de 240 Km y drena una cuenca de 9 867 Km². Sus principales afluentes son los ríos Comala, Colima y Ayuquila.

El río Armería nace en el estado de Jalisco con la unión de varios tributarios a una elevación de 2600 metros sobre el nivel medio del mar (msnm) para formar el río Ayutla, posteriormente recorre 60 Km con una trayectoria sinuosa con dirección sur donde recibe pequeños tributarios en ambas márgenes, cambiando su dirección al sureste en otro tramo de 90 Km y su nombre al de río Ayuquila.

Aproximadamente a 120 Km de su desembocadura, el río Ayuquila recibe por su margen izquierda el río San Miguel donde cambia su nombre por el de Tuxcacuesco al pasar por el poblado del mismo nombre. Finalmente, cruza el estado de Colima como río Armería, aunque también es conocido como río San Pedro, con dirección sur que conserva hasta su desembocadura en la Boca de Pascuales, en el Océano Pacífico (INEGI, 2000).

La cuenca del río Armería es de forma irregular: ancha y extensa en su parte alta y estrecha en la parte baja (Figura 4.4.1). Se localiza en la Región Hidrológica (RH) No 16, y limita al oeste y

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

suroeste con RH 15, al norte y noroeste con RH 14 al noreste por las cuencas cerradas de RH 12, al este y sureste con RH 18. La cuenca limita al oeste y sureste con la laguna de Cuyutlán y las cuencas de los ríos Cihuatlán, Purificación y San Nicolás, al norte y noreste con las cuencas de los ríos Atenguillo y Ameca, así como por las lagunas de Atotonilco, San Marcos y Sayula, y al este y sureste por la cuenca del río Tuxpan o Coahuayana (INEGI, 2000).

La cuenca abarca 30 municipios de los estados de Colima y Jalisco y es considerada por la Comisión Nacional del Agua la segunda en importancia para el estado de Jalisco y la primera en el estado de Colima debido a su diversidad, escurrimiento, población afectada por el uso del agua y del suelo, superficie de riego y número de áreas naturales protegidas, entre otros (GCCRAA, 2004).

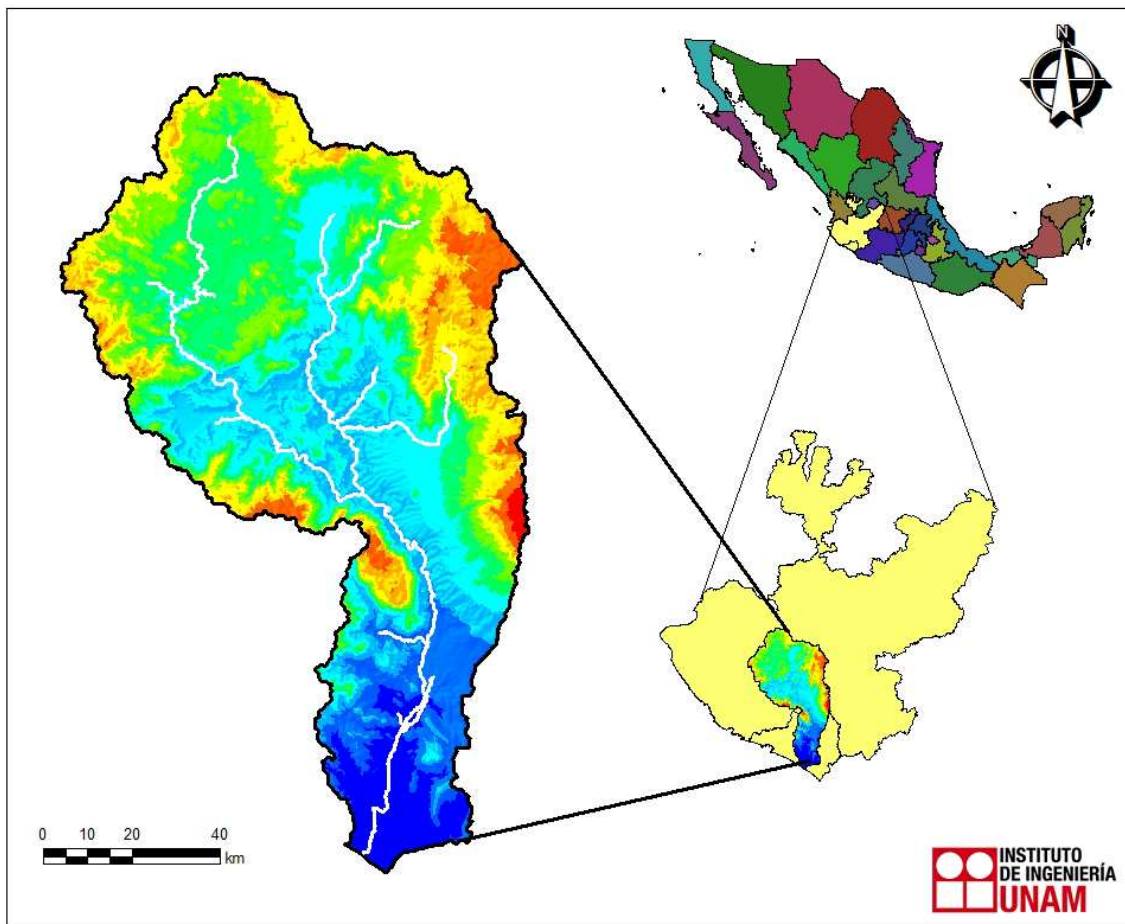


Figura 4.4.1 Ubicación del área de estudio

5.1. CLIMA

Esta región se caracteriza según la clasificación de Köopen modificada por Enriqueta (1964), de tipo Awo, que corresponde a un clima tropical cálido subhúmedo, con lluvias en verano, presenta una temperatura media anual de 26.4°C, los meses más calurosos son de junio a octubre con una temperatura media de 28.7°C, en los meses más fríos la temperatura media es de 23.5°C. Además, tiene una precipitación pluvial media anual de 700 milímetros (INEGI, 2000).

El valor promedio anual de la humedad relativa es de 77.3%. En los meses de septiembre y octubre la humedad relativa se incrementa, mientras que en los meses de enero y febrero disminuye, por lo que septiembre es considerado el mes más húmedo y febrero el de mínima humedad (Figura 5.1.1)

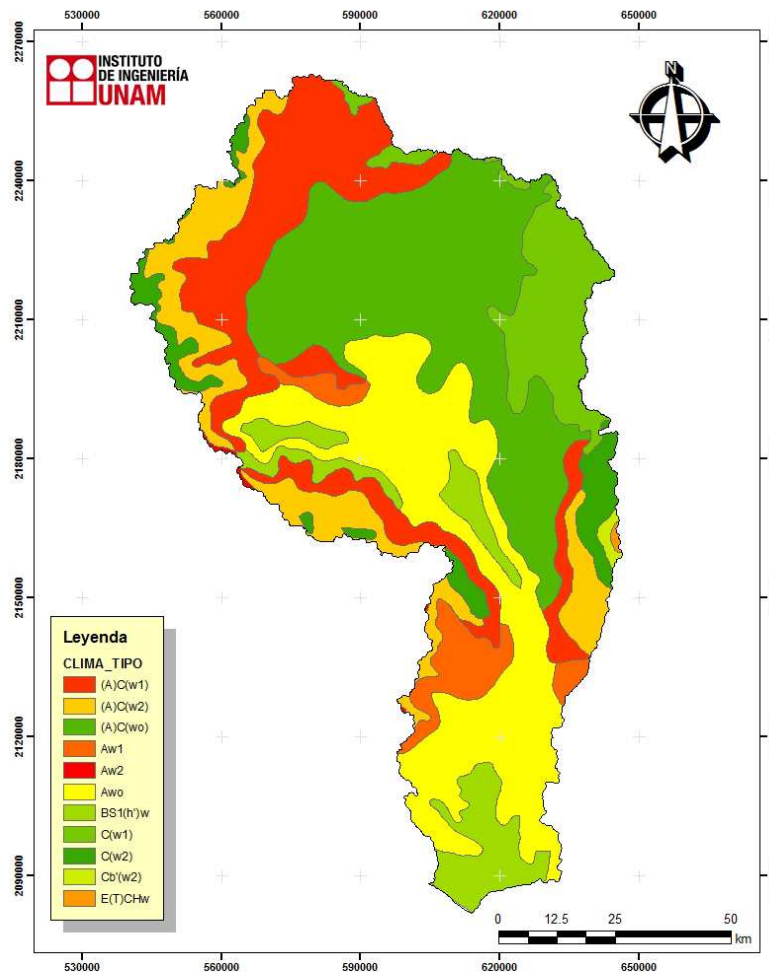


Figura 5.1.1 Clima en la cuenca de acuerdo con la clasificación de Köopen

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.2. EDAFOLOGÍA

De acuerdo con la clasificación de la FAO/UNESCO, modificada por el INEGI (1981), en el área de estudio se presentan una gran variedad diversidad de unidades de suelo con alta fertilidad y rocosa en materia orgánica dentro de los que podemos mencionar: Castañozem haplico, Chernozem haplico, Feozem calcárico, Feozem haplico, Fluvisol eutrítico, Litosol, Luvisol calcárico, Luvisol crómico, Regosol calcárico, Regosol eutrítico, Rendzina, Solonchak ortico, Vertisol crómico, Vertisol Pelico, Xerosol cálcico y Xerosol haplico. (Figura 5.2.1)

Cerca de la llanura costera y a lo largo de la trayectoria del río Armería se encuentran suelos de tipo Feozem hálpico y el Castañozem hálpico, siendo estos los más importantes y de mayor extensión. Estos suelos se asocian con otros, como Regosol eútrico, Feozem hálpico y Fluvisol eútrico, caracterizados por ser suelos de tipo joven, profundo y fértiles. Todos ellos utilizados en la agricultura de riego y temporal. En suelos con profundidades mayores a los 70 cm. se siembran granos, hortalizas, frutales con altos rendimientos, en cambio los suelos menos profundos (menores a 10 cm.) los que se hallan en laderas o pendientes pronunciadas tienen rendimientos más bajos con una alta probabilidad de erosión. (INEGI, 2004).

Los suelos que se presentan en mayor proporción dentro de la zona de estudio se mencionan a continuación:

Castañozem. Del latín *castaneo*: castaño; y del ruso *zemljá*: tierra. Tierra castaña, Son suelos alcalinos que se encuentran ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. En condiciones naturales tienen vegetación de pastizal con algunas áreas de matorral. Frecuentemente tienen más de 70 cm de profundidad, caracterizados por presentar en la capa superior un color pardo o rojizo oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes, con acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo. En México se usan para ganadería extensiva, mediante el pastoreo o intensiva mediante pastos cultivados con rendimientos medios y altos: en la agricultura son usados para el cultivo de granos, oleaginosas y hortalizas con rendimientos generalmente altos. Son moderadamente susceptibles a la erosión. Su símbolo es (K). (INEGI, 2004).

Chernozem. Del ruso *cherno*: negro y *zemljá*: tierra. Tierra negra. Son suelos alcalinos que se ubican en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos, tiene vegetación de pastizales con algunas áreas de matorral como llanuras y lomerío. Estos suelos sobrepasan los 80 cm de profundidad y se caracterizan por presentar una capa superior de color negro, rica en materia orgánica además de nutrientes con alta acumulación de caliche suelto o ligeramente

cementado en el subsuelo. Se utilizan para ganadería extensiva mediante el pastoreo o intensiva mediante pastos cultivados presentando medios o altos rendimientos; en la agricultura son utilizados para el cultivo de granos, oleaginosas y hortalizas con rendimientos altos, sobre todo si se implementan sistemas de riego. Son moderadamente susceptibles a la erosión y el símbolo que los representa es (C). (INEGI, 2004).

Feozem. Del griego *phaeo*: pardo; y del ruso *zemljá*: tierra. Tierra parda. Son suelos que se presentan por lo regular en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante del país, se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en material orgánico y nutrientes, no presenta capas ricas en cal, son de profundidad muy variable. Cuando son profundos, se encuentran en terrenos planos y son utilizados para la agricultura de riego temporal, ya sea para granos, legumbres u hortalizas, con un alto rendimiento. Los menos profundos se sitúan en laderas o pendientes, tienen como principal limitante roca o alguna otra cementación muy fuerte en el suelo, su rendimiento es más bajo y son erosionados con facilidad. Sin embargo son utilizados también en el pastoreo o ganadería. Su símbolo es (H). (INEGI, 2004).

Fluvisol. Del latín *fluvius*: río. Literalmente, suelo de río. Están formados de material acarreado por el agua. Son suelos muy poco desarrollados, medianamente profundos y presentan una estructura débil o suelta. Se encuentran en todos los climas y regiones de México cercanos siempre a lechos de los ríos. Sobre este tipo de suelos se desarrollan ahuehuetes, ceibas y sauces. Estos suelos presentan capas alternadas de arena con piedras o gravas redondeadas, debidas a la corriente y crecidas del agua en los ríos. En la agricultura son más apreciados los fluvisoles mólicos y calcáricos por aportar mayor cantidad de nutrientes a las plantas. Su símbolo es (J). (INEGI, 2004).

La zona baja que se encuentra por debajo de 20 m.s.n.m. los suelos presentan texturas muy variadas, además se observa una proporción alta de limo, lo cual permite que el suelo tenga una fertilidad natural, las formaciones son principalmente de arena en su mayoría, los suelos son de origen aluvial originados por las crecientes del Río Armería o creados por los depósitos de arena del océano, y de formación mixta.

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

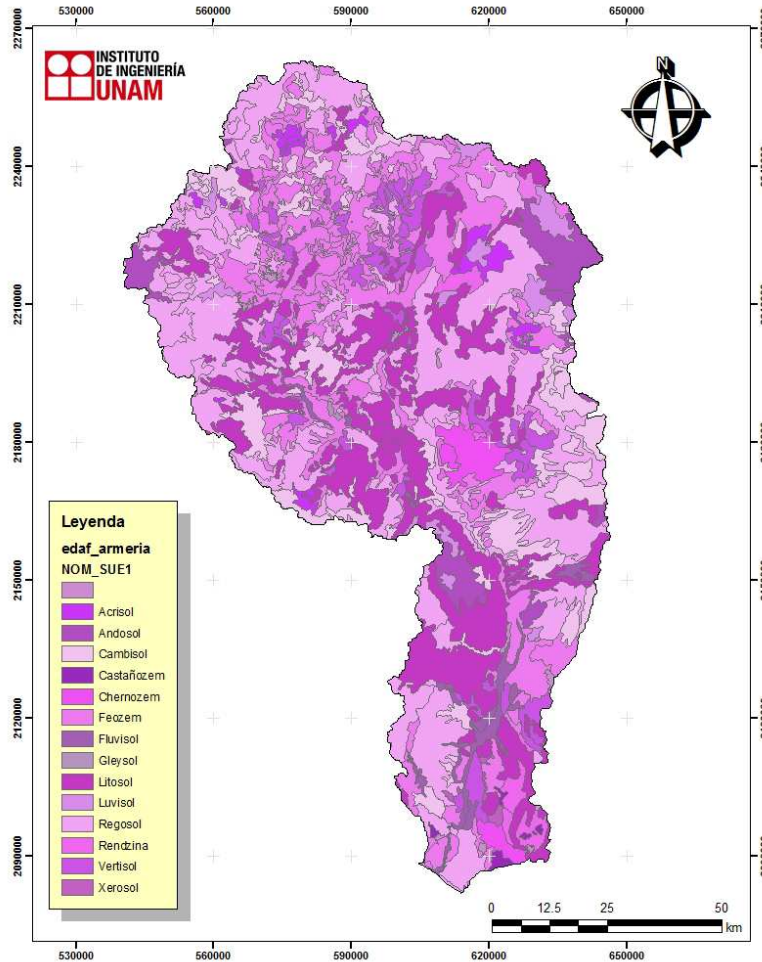


Figura 5.2.1 Edafología. (Fuente INEGI 2010)

5.3. GEOLOGÍA

En la zona de estudio existen afloramientos de rocas ígneas y sedimentarias. Las rocas ígneas tanto intrusivas como extrusivas son las más abundantes, abarcan un amplio periodo, desde finales del Cretácico hasta el terciario superior. Las rocas sedimentarias están ampliamente distribuidas por el territorio de la entidad formando estructuras plegadas y discontinuas debido a las rupturas producidas en la corteza terrestre a causa de la actividad tectónica (Figura 5.3.1).

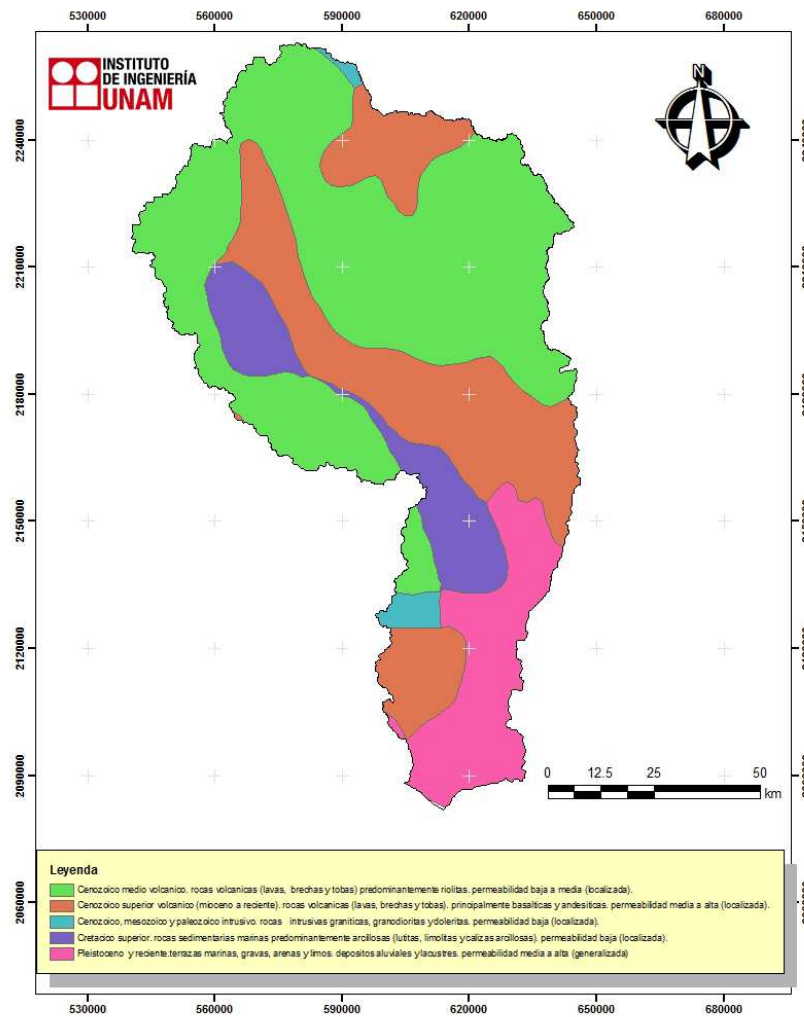


Figura 5.3.1 Geología

Con base en los estudios rocas y suelos, se han establecido cuatro tipos de zonas: material consolidado con posibilidades bajas de erosión (composición arcillosa de unas rocas y escaso fracturamiento de las demás), material no consolidado con posibilidades altas de erosión (suelos aluviales y lacustres, así como conglomerados y areniscas semiconsolidados), material no consolidado con posibilidades medias de erosión (aluvión, arenisca-conglomerado y conglomerados poco consolidados), y material no consolidado con posibilidades bajas a la erosión (conglomerados mal cementados, suelos residuales y aluviales de poco espesor), lo cual incrementa la probabilidad de tener una alta carga de sedimentos y una variación en la forma del cauce del río Armería. (INEGI, 2000).

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.4. OROGRAFÍA

La parte alta de la cuenca del río Armería está claramente limitada por zonas montañosas las cuales impiden la penetración directa de fenómenos meteorológicos como se puede ver en la Figura 5.4.1. En esta zona existen 28 estaciones meteorológicas las cuales registran temperatura, precipitación, evaporación, etc.

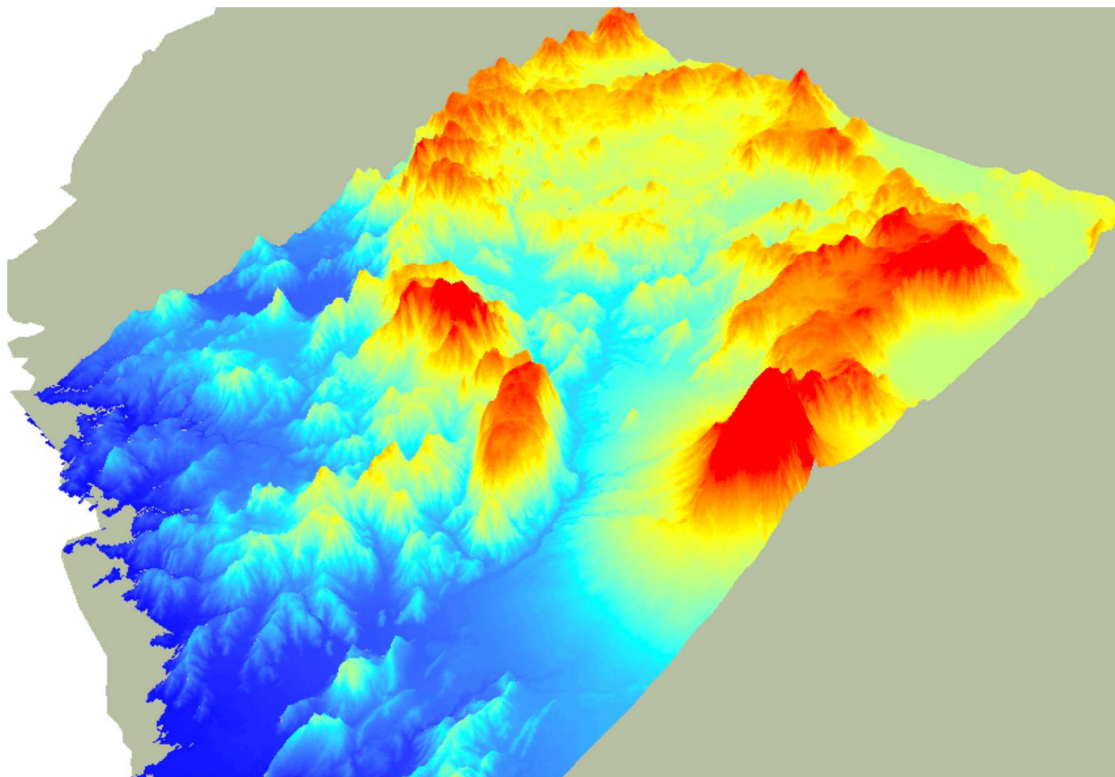


Figura 5.4.1 Orografía de la cuenca del río Armería

5.5. HIDROGRAFÍA

Los recursos hidráulicos superficiales se controlan y utilizan con diversos fines, principalmente riego para la agricultura. El mayor aprovechamiento se lleva a cabo en la cuenca del río Armería, con la construcción de presas de almacenamiento localizadas sobre éste río.

El río Armería (Figura 5.5.1) es la principal fuente de abastecimiento acuífera utilizada principalmente para satisfacer necesidades agrícolas y ganaderas, además la construcción de canales en 1922 y el reparto agrario propiciaron un auge económico en la localidad de Armería. Los principales canales de riego se denominan: Periquillos, La Cañita, Independencia y Cuyutlán.

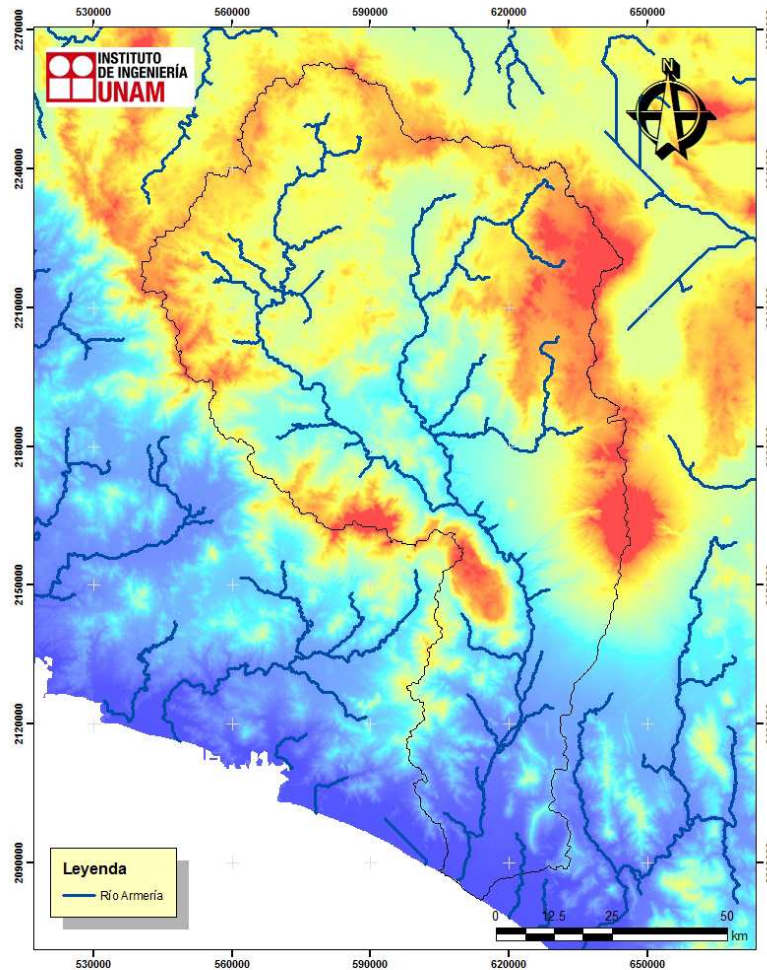


Figura 5.5.1 Hidrografía de la cuenca en estudio

El río Armería cuenta con la sub-cuenca denominada Armería lo cual permite contar con suficiente agua en las distintas épocas del año, lo cual permite tener cosechas mediante la implementación de sistemas de riego favoreciendo la producción de distintos tipos.

Existe también acuíferos como Armería, Colima, Cihuatlan, La Central, Santiago-Salagua, Jalipa-Tepeixtles, El Coloma y Venustiano Carranza. De los cuales el “Armería” es uno de los más grandes cuya superficie es de 1,720 km², se extiende en el subsuelo de la planicie costera de las cuencas de los ríos Armería y Coahuayana. Se compone de material aluvial de grano grueso (boleos, grava y arena) dando origen a estratos de geometría irregular.

5. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.6. VEGETACIÓN Y USO DE SUELO

Según la clasificación de INEGI (2005) de los tipos de vegetación natural en México, en el área de estudio se tienen los siguientes tipos de vegetación y/o usos de suelo. (Figura 5.6.1)

- **Selva baja espinosa.** Se desarrolla en climas tropical lluvioso con estación seca en invierno (Aw), seco con estación seca en verano (Bs) y templado húmedo con estación seca en invierno (Cw). La precipitación es del orden de 900 mm o menores, aunque el rango es de 350 a 1,200 mm con temperaturas medias anuales de entre 20 y 27°C., se desarrolla sobre terrenos ligeramente ondulados o planos. Se desarrolla en suelos arcillosos con abundante materia orgánica.
- **Bosque de galería.** Trata de la comunidad arbórea que se encuentra en las márgenes de los ríos o arroyos en condiciones con una favorable humedad.
- **Vegetación de galería.** SE desarrolla en las márgenes de los ríos y arroyos, es decir, siempre bajo condiciones de humedad, A esta categoría corresponden elementos arbustivos, acompañados de elementos subarbóreos o arbóreos.
- **Vegetación secundaria de selva.** Corresponde a zonas que han sido desmontadas con fines agrícolas o pecuarios. Se estima que este tipo de vegetación secundaria no se ha vuelto a desmontar desde hace unos 7 años, por lo que está en proceso de recuperación. A este tipo corresponden las herbáceas, arbórea y arbustiva.
- **Uso agropecuario.** La principal actividad de la región es la agricultura, por lo que para los habitantes es muy importante abrir espacios (desmontes) para establecimiento de huertos, actividad común que fue desarrollada entre los años 80's y 90's.

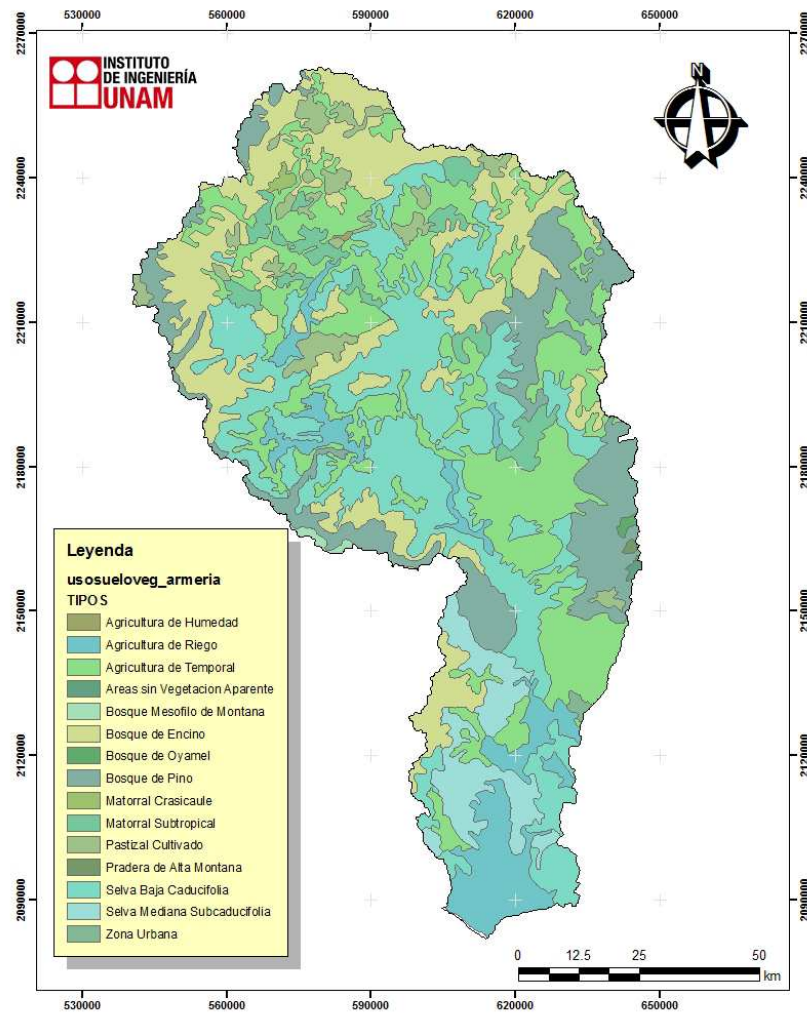


Figura 5.6.1 Vegetación y uso de suelo

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Los sistemas de información geográfica (SIG), son un conjunto de datos descriptivos y georreferenciados con los cuales es posible desarrollar métodos de análisis y aplicaciones informáticas que permiten gestionar y suministrar la información sobre un soporte cartográfico (mapas, planos, etc.). La función de los SIG consiste en la captura, almacenamiento, análisis (donde se incluye gestión y modelización) y la visualización de datos georreferenciados.

Gracias a estas capacidades los SIG se han convertido en herramientas indispensables para sectores públicos y privados, como por ejemplo:

- Planificación hidrológica, gestión del agua en comunidades de regantes, gestión de redes de distribución de agua tanto urbana como agrícola, estudios hidrológicos de cuencas fluviales, modelación hidrológica, análisis de riesgos, inundaciones, etc.
- Geografía empresarial, investigación de mercados y determinación de la localización óptima de nuevas empresas mediante el análisis de la distribución y características de la población, infraestructuras de telecomunicación, geomarketing, etc.
- Agricultura, gestión territorial mediante coberturas digitales del parcelario rústico, aplicación precisa de fitosanitarios y fertilizantes mediante el uso de los conjuntos GIS y los sistemas posicionamiento global (GPS) en explotaciones agrarias.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

- Protección del medio ambiente, creación de mapas temáticos del medio natural y seguimiento de su estado de conservación, modelización de variables ambientales.
- Ordenación territorial, elaboración de mapas de usos de suelo mediante el uso combinado de los SIG e imágenes de satélite para la planificación del territorio.
- Administración regional, asistencia a la planificación de políticas territoriales mediante el uso de información sobre la localización y distribución de las actividades económicas (industria, explotaciones agropecuarias, empresas de servicios, etc.) de los servicios públicos (asistencia sanitaria, educación, servicios administrativos, etc.) de las infraestructura, de los recursos naturales y culturales.
- Administración local, mediante asistencia a la planificación de la ordenación urbana, la gestión de infraestructuras (redes de tuberías de distribución de agua, energía alcantarillado, etc.) gestión del tránsito, medio ambiente urbano (ruidos, olores, contaminación urbana, etc.).
- Catastro, para la elaboración de catastros más precisos mediante el uso de imágenes de satélite de alta resolución y utilidades de los SIG.
- Logística, en la gestión de flotas de distribución de paquetería y seguimiento en tiempo real de la situación de mercancías.
- Planes de emergencia, para elaborar en tiempo real mapas de actuación en caso de incendios forestales, inundaciones, o algún otro tipo de contingencia.
- Estudios sociodemográficos, permiten determinar la estructura de la población de una zona para prever la evolución de las necesidades de ciertos equipamientos (hospitales, colegios, áreas de recreación, etc.) así como de zonas susceptibles a ser afectadas por ciertas enfermedades, o estudios orientados con fines electorales.
-

En fin, los SIG son las herramientas que se han desarrollado mundialmente para generar de información que permita tomar decisiones, así como para optimizar la planificación y la gestión de actividades económicas, contribuyendo al desarrollo de la sociedad (Figura 5.6.1.)

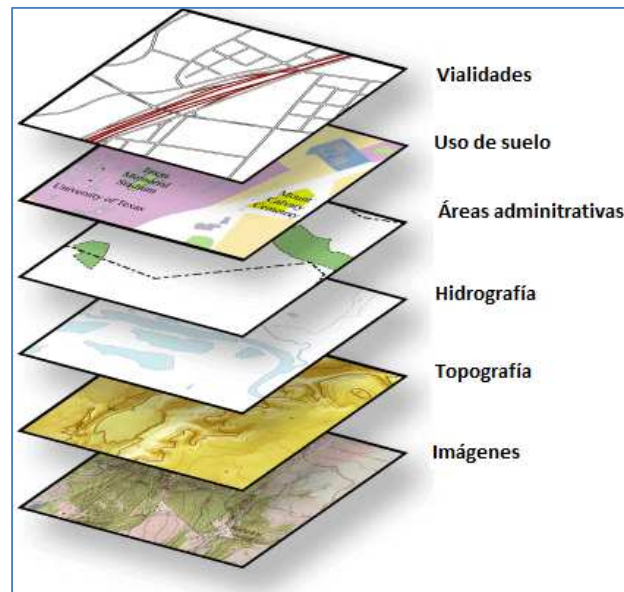


Figura 5.6.1 Estructura de un SIG (Fuente: GeoCivil, Hugo F.)

Para la obtención de parámetros hidrológicos se deben de considerar una serie de requerimientos de programas de cómputo e insumos informáticos. Los programas y extensiones que se utilizan en este estudio son las que se enlistan a continuación, sin embargo, para la obtención de parámetros hidrológicos pueden utilizarse otros programas o versiones así como otras extensiones.

- ArcGIS 9
- Spatial Analyst 9
- Xtools Pro 7 para Arc Gis
- HEC-GeoHMS 4.2.93
- Modelos Digitales de Elevación (MDE)

Los tres primeros son programas comerciales y tienen un costo, en cambio los siguientes son de libre distribución. Por ejemplo el programa HEC-GeoHMS se adquiere de manera gratuita de la página <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/> para la versión de ArcGIS 9x. Por otro lado los Modelos Digitales de Elevación (MDE) se obtienen de manera gratuita a través de la página de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a escala 1:50 000, sin embargo, en caso de los MDE se requieran una escala menor, estos también se pueden obtener del INEGI pero con un determinado costo.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.1. MODELOS DIGITALES DE TERRENO Ó ELEVACIÓN (MDT Ó MDE)

El Modelo Digital de Elevación (MDE) es un arreglo ordenado de números que representan una distribución espacial de las elevaciones, estos se encuentran en formato ráster, por lo que los términos de malla y ráster se utilizan de manera indistinta.

Los MDE son las estructuras de datos más empleadas ya que cuentan con la facilidad de implementar algoritmos de cálculo. Las desventajas que presentan los MDE, por ejemplo, no manejan fácilmente cambios abruptos de elevación, el tamaño de la malla o celda tiene afectación en los resultados obtenidos y en la eficiencia computacional, los tramos que presentan pendientes pronunciadas tienden a formar corrientes en zigzag las cuales no corresponde a la realidad y por último la configuración de corrientes y delimitación de cuencas puede ser imprecisa en zonas planas.

La información correspondiente a los Modelos Digitales de Elevación (MDE) se descarga de la página de INEGI, en el link: <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx?s=geo&c=911>. Corresponde a la sección de Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM), estos modelos se basan en la cartografía topográfica escala 1:50 000 producida por INEGI (Figura 6.1.1).



Figura 6.1.1 Link de descarga del CEM (INEGI, 2011)

Dentro de la sección del CEM aparece la imagen mostrada en la Figura 6.1.2. La descarga de información es de dos maneras: la primera es dar las coordenadas extremas que delimitan la zona de estudio, es decir, se indican las coordenadas superior, inferior, izquierda y derecha (en coordenadas geográficas), en esta opción es importante mencionar que de acuerdo con el volumen de información y velocidad de descarga, el sistema no permite la descarga del CEM completo, sino que solamente porciones de hasta dos grados cuadrados de superficie, es decir, una malla máxima de 25, 920.00 puntos. Por su parte la segunda opción, es indicar la clave de la carta escala 1:50 000 para descargar el MDE correspondiente. Los archivos descargados tienen formato .BIL los cuales se pueden abrir en ArcGIS 9 u algún otro programa relacionado con los SIG.

Página de inicio

Seleccione los extremos en coordenadas geográficas del MDE que desea descargar [1]:

Norte: 29 ° 29 ' 0"

Oeste: 109 ° 39 ' 0" Este: 103 ° 33 ' 0"

Sur: 18 ° 44 ' 0"

Procesar selección

[1] Por consideraciones de volumen de información y velocidades de descarga disponibles, este sistema no permite la descarga del CEM completo sino de porciones del mismo de hasta dos grados cuadrados de superficie (malla con 25'920,000 puntos)

Un método alternativo es indicar una clave de carta 1:50,000 para descargar el MDE correspondiente:

Opción 1: Escriba la clave 1:50,000 (ejemplo: F13D18)

Opción 2: Selección gráfica de claves 1:50,000

Centros de consulta y comercialización Biblioteca digital

Condiciones de uso | Contacto | Buscador |

Derechos reservados © 2011 INEGI

Para visualizar mejor este sitio se recomienda el uso de un navegador versión 4 o posterior, con resolución de 800 x 600 píxeles.


Figura 6.1.2 Opciones de descarga de información de MDE

Para el estudio presentado en este trabajo el área de la cuenca no excedió de los dos grados cuadrados de la superficie, por lo que no es necesario unir dos o más MDE. Sin embargo se presenta el procedimiento para unir dos o más MDE.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.1.2. UNIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN

Existen diversas formas de unir los Modelos Digitales de Elevación, estos pueden ser unidos mediante **ArcGIS 9** realizando un mosaico o con **Global Mapper versión 7** en donde se genera un solo Modelo Digital de Elevación a partir de varios MDE. En este trabajo se hará la unión y cambio de coordenadas de los MDE mediante el uso del programa **Global Mapper 7**. El procedimiento es el siguiente:

Ejecutar **Global Mapper** , seleccionar *Open Your Own Data Files*, y abrir los archivos con formato *.bil* o las carpetas comprimidas que conforman el MDE correspondiente a la cuenca en estudio (ver Figura 6.1.3), presionar *yes to all*.

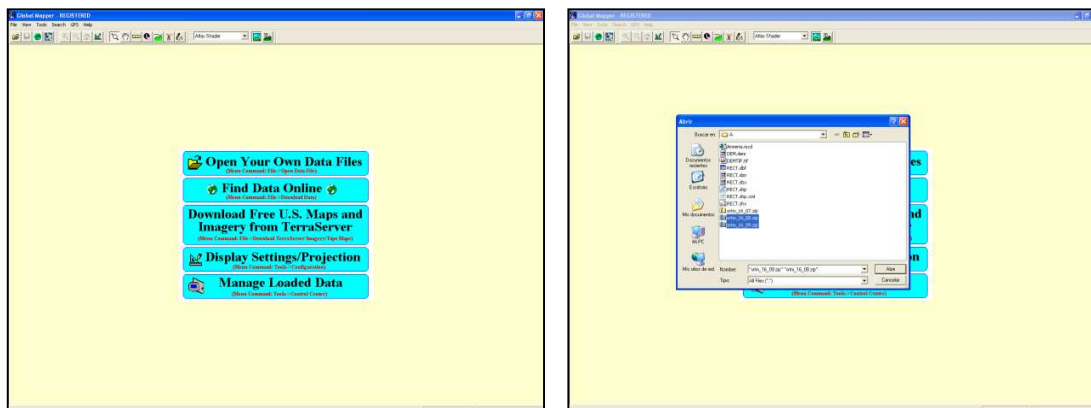



Figura 6.1.3 Global Mapper. a) Vista inicial, b) Archivos o carpetas que conforman el DEM

La información descargada se encuentra en un sistema de coordenadas geográficas (Grados Minutos y Segundos), por lo que es necesario hacer la proyección a un sistema de coordenadas UTM con Datum WGS-84, con la herramienta , seleccionar la pestaña Projection y cambiar el sistema de coordenadas a UTM, aceptar (ver Figura 6.1.4) . Esta proyección a coordenadas UTM del MDE se observa en la Figura 6.1.5.

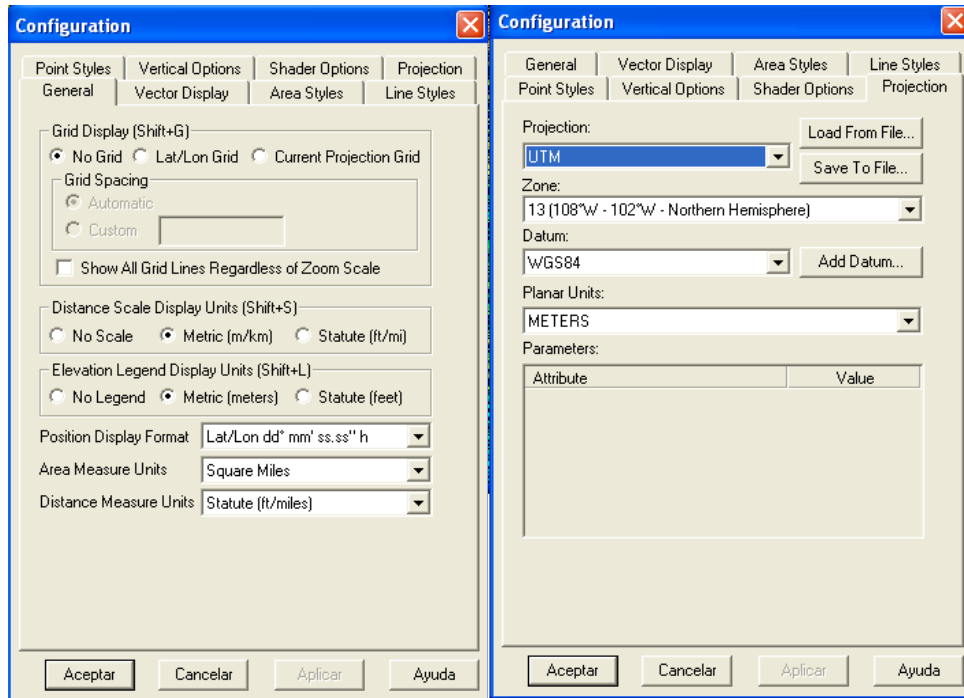


Figura 6.1.4 Cambio de coordenadas geográficas a UTM

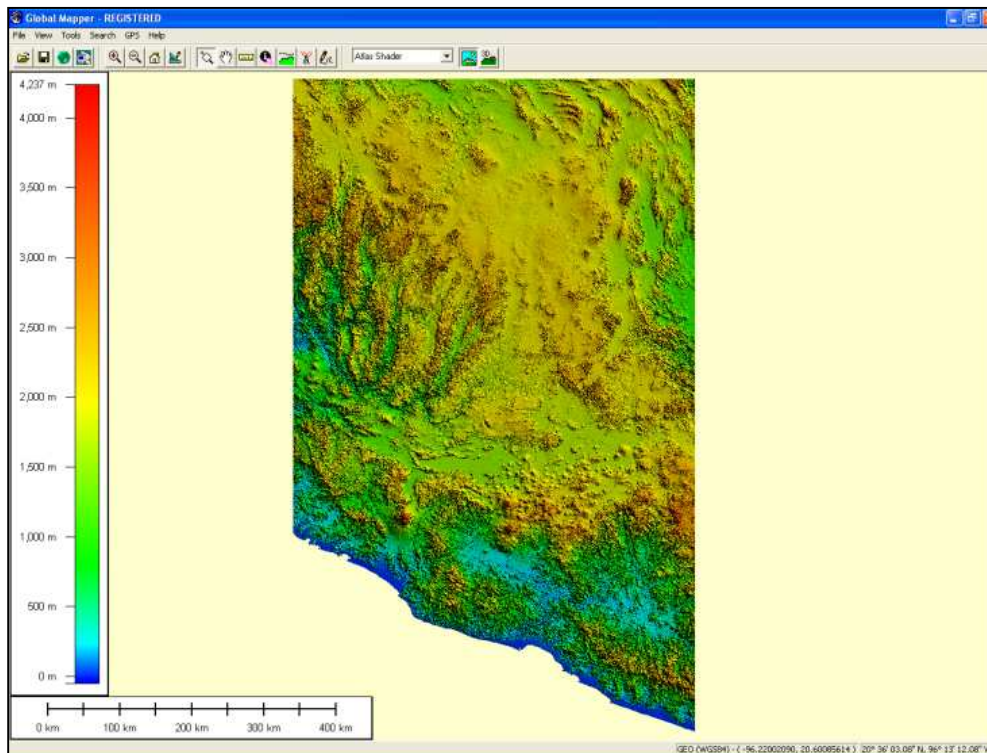


Figura 6.1.5 Modelo Digital de Elevación en coordenadas UTM

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Finalmente, se exporta la información a la plataforma de ArcGIS 9. El procedimiento es: *File* → *File Export Raster and Elevation Data* → *Export DEM*, con ello aparecerá la imagen mostrada en la Figura 6.1.6. En ella se selecciona *Export Bounds* → *Global Projection (UTM – meters)* y aceptar. El programa hará el proceso necesario, el cual tardará algunos minutos dependiendo del equipo de cómputo que se disponga.

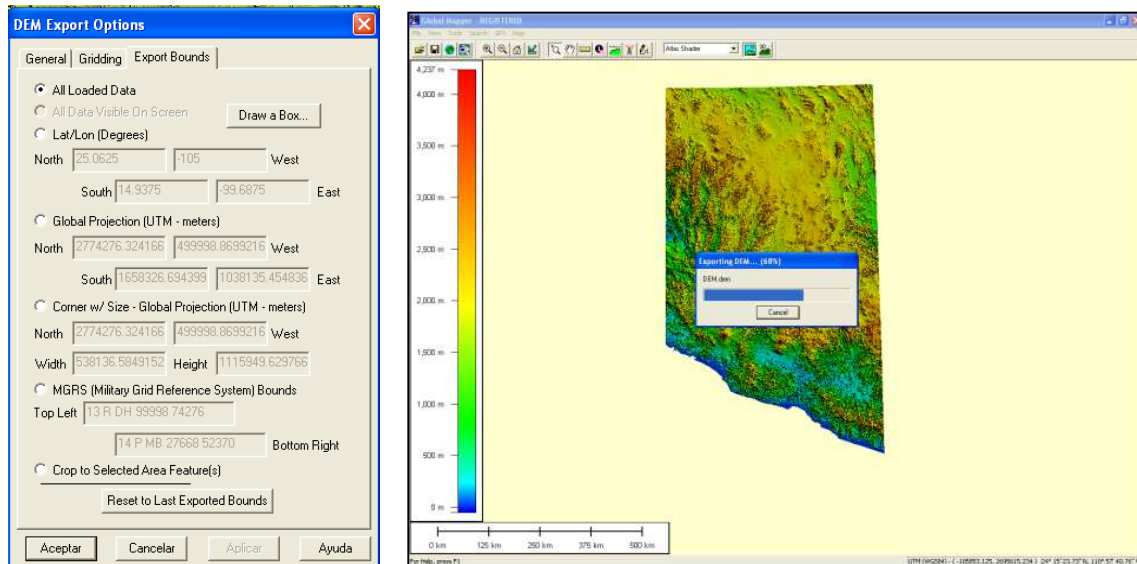


Figura 6.1.6 Exportar DEM

A partir del paso anterior, en adelante, se hará uso del programa ArcGIS 9 (ArcMap 9.3) en el cual se trabajará para obtener los parámetros hidrológicos ayudados de las extensiones ArcHydro Tools 9 y HEC-GeoHMS 4.2.93.

6.2. CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DEL HEC-GEOHMS

La extensión HEC-GeoHMS 4.2.93 para ArcGIS 9.x contiene un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales el cual es utilizado de manera satisfactoria por ingenieros e hidrólogos para la elaboración de estudios hidrológicos. Ésta extensión permite visualizar información espacial, obtener características de la cuenca, hacer análisis espaciales, delimitar cuencas y ríos, construir entradas para modelos hidrológicos y ayudar a formular informes.

Con HEC-GeoHMS se procesan datos de una cuenca en estudio después de haber realizado la preparación y compilación inicial de los datos de terreno. La preparación de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG) se realiza con softwares estándar de SIG, dos de los que se utilizan comúnmente son ArcView y ArcGIS. Es importante mencionar que HEC-GeoHMS 4.2.93 no es una herramienta para preparación de datos SIG, si no que mediante Modelos Digitales de Elevación,

localización digital de cauces y estaciones de aforo, procesa el terreno y la información espacial para generar series de entradas hidrológicas, para iniciar un modelo en HEC-HMS.

6.2.1. INSTALACIÓN DEL HEC-GEOHMS

Para instar del HEC-GeoHMS 4.2.93 debe estar instalado el programa ArcGIS 9 y la extensión Apatial Analyst 9. Para cargar la extensión HEC-GeoHMS es necesario abrir ArcMap 9.3, para ello se siguen los siguientes pasos:

- Seleccionar del menú de opciones Tools → Customize
- En la que se seleccionará las opciones HEC-GeoHMS y HEC-GeoHMS Main View 9, además de Archydro Tools 9 como se observa en la Figura 6.2.1.

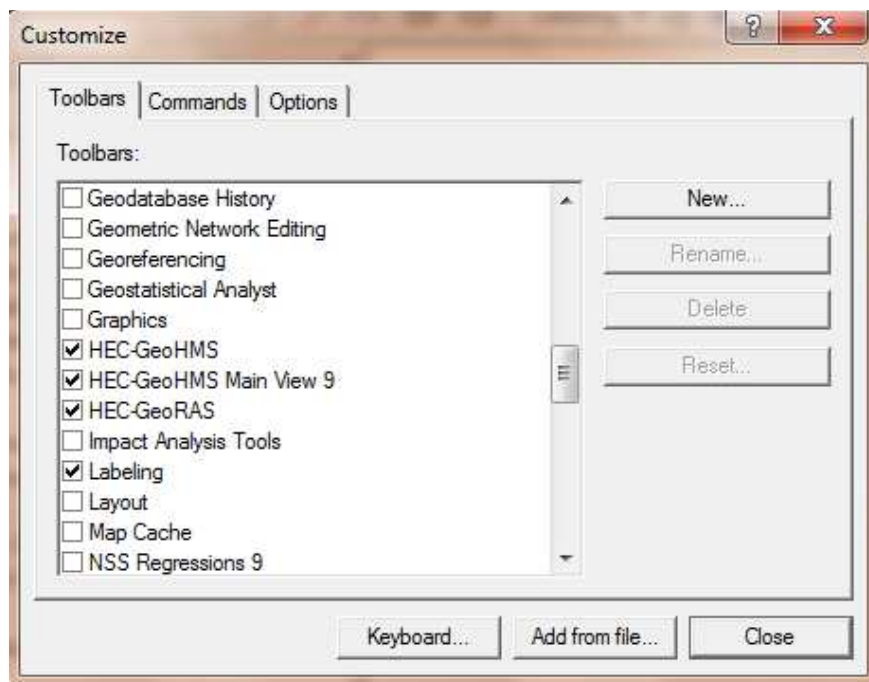


Figura 6.2.1 Instalación de Arc Hydro y HEC-GeoHMS en ArcMap 9.3

También es necesario cargar la extensión Spatial Analyst mediante Tools → Extension.

Las nuevas barras de herramientas Archydro Tools 9, HEC-GeoHMS Main View y Project View quedarán correctamente instaladas y cargadas como se muestra en la Figura 6.2.2.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

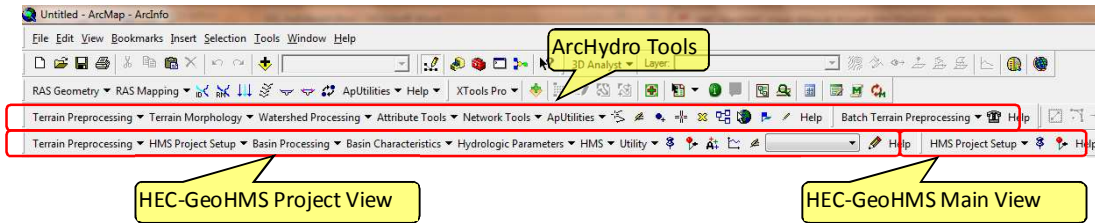


Figura 6.2.2 ArcHydro y HEC-GeoHMS cargados en la plataforma de ArcMap 9.3

Los primeros trabajos de análisis digital de terreno utilizaron el formato ráster. Con éste tipo de formato, Greysunk (1977) implemento un método de clasificación de celdas, donde para cada celda se analizan ocho celdas que se encuentran su alrededor, calculando para cada una de ellas la diferencia de elevaciones a partir de la celda central definiendo con ello la pendiente, dirección de flujo, acumulación de flujo, etc.

6.3. PRE-PROCESO DE TERRENO CON INFORMACIÓN DEL MDE

En éste trabajo de tesis se realizará el pre-proceso del terreno con el MDE correspondiente a la zona de estudio y con la herramienta ArcHydro Tools 9 y el Modelo Digital de Terreno descargado de INEGI, esc. 1:50, 000. El pre-proceso involucra ejecutar las siguientes acciones:

6.3.1. FILL SINKS (CORRECCIÓN DE CELDAS)

Este es el primer paso a seguir, en la etapa de pre-procesamiento del terreno en el que se crea un MDE sin depresiones, es decir, son rellenadas las zonas donde existen depresiones (Figura 6.3.1), aumentando la cota de las celdas que están rodeadas por una cota más alta y asignándole a dicha celda la menor cota de las celdas circundantes. Así de esta manera el agua podrá fluir de una celda a otra sin “estancarse” (Figura 6.3.2).

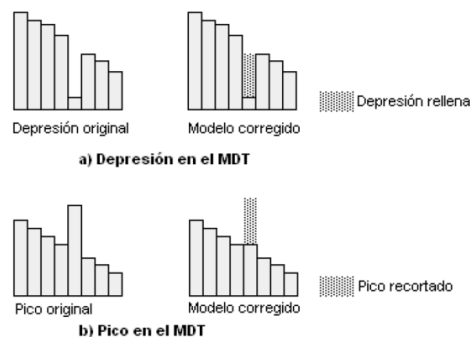


Figura 6.3.1 Zonas planas y depresiones en los MDE

Para rellenar las depresiones es necesario realizar lo siguiente:

- De la barra de ArcHydro Tools **Terrain Processing** → **DEM manipulation** → **Fill Sinks**
- Agregar el DEM sin rellenar (original), en este caso es **cte_dem_arm**
- Ok, la salida será **"Fil"**

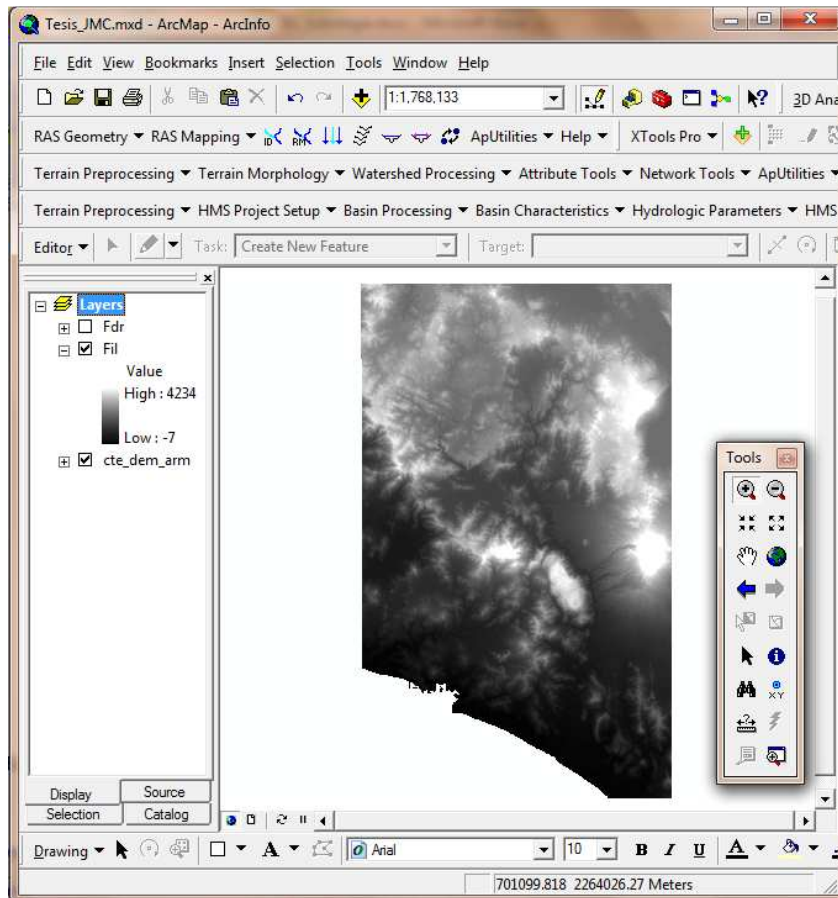
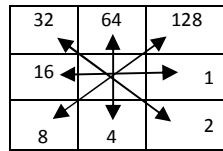


Figura 6.3.2 Resultado al corregir celdas (rellenar depresiones)

6.3.2. FLOW DIRECTION (DIRECCIÓN DEL FLUJO)

Se define la dirección de la mayor pendiente, evaluando en cada celda la cota de las celdas circundantes a cada una de ellas. Esta herramienta considera como datos de entrada el DEM corregido, es decir, sin depresiones mostrando como dato de salida un archivo ráster mostrando la dirección de flujo en cada celda. Para ello existen ocho posibles direcciones para una celda cualquiera relacionadas con ocho celdas adyacentes en las que el escurrimiento puede viajar hacia la parte más baja de la cuenca.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS



En un MDE el terreno se representa por celdas y su extensión depende de la precisión que se maneje. En este caso el CEM proporcionado por INEGI presenta celdas de 1 arcosegundo por lado, aproximadamente 30 m y el valor de cada celda representa la elevación promedio de ella.

La distancia es calculada de centro a centro de las celdas. Por ejemplo, si el tamaño de la celda es de 1, la distancia entre dos celdas ortogonales es 1 y para dos celdas diagonales es $\sqrt{1^2 + 1^2} = 1.4142$. Cuando la dirección del máximo descenso es encontrada, la salida de la celda es codificada con el valor que representa esa dirección ver Figura 6.3.3.

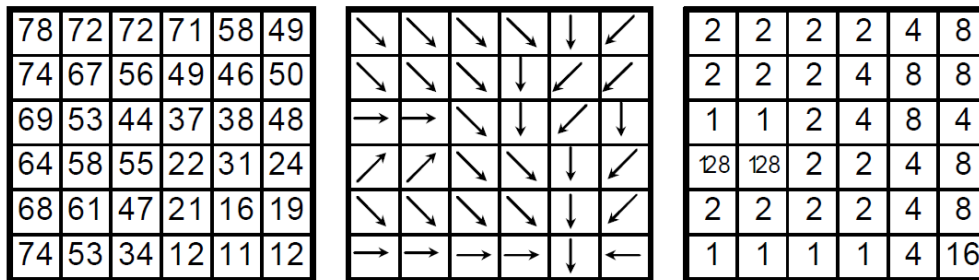


Figura 6.3.3 Interpretación de la dirección de flujo

Si los valores de todas las celdas vecinas son mayores que el de la celda procesada, está es una depresión (sink), y la dirección de flujo no está definida, por lo que estas celdas deben rellenarse.

El resultado de Flow Direction se muestra en la Figura 6.3.4 y se procede de la siguiente forma:

- En ArcHydro Tools **Terrain Processing** → **Flow Direction**
- Confirmar que la entrada sea **"Fl"**
- La salida será **"Fdr"**
- Ok

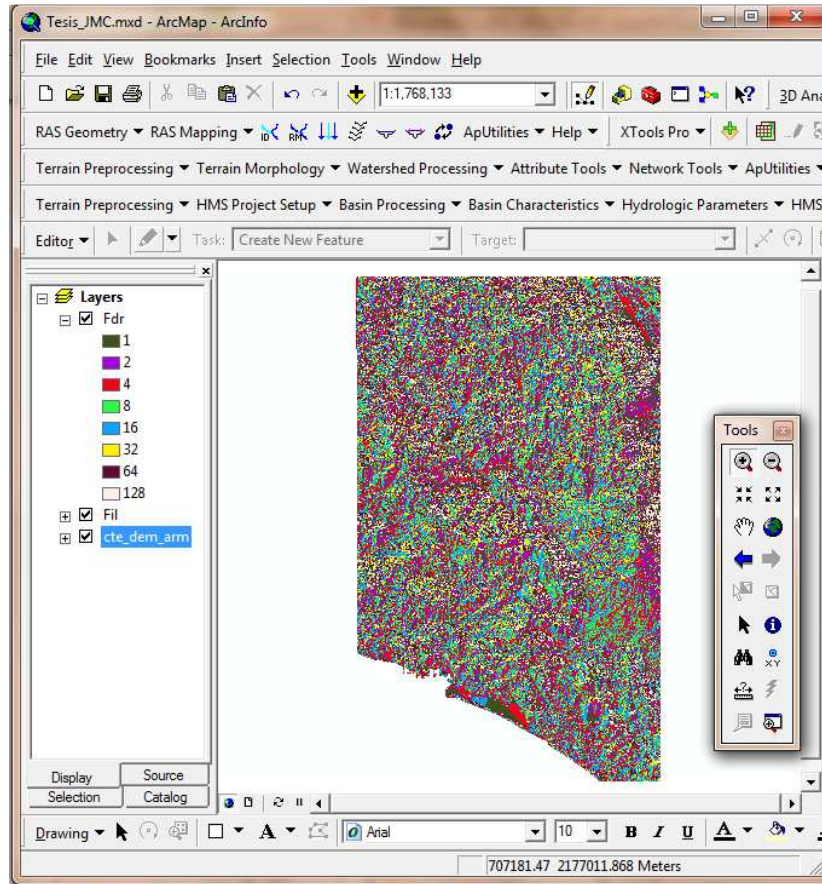


Figura 6.3.4 Dirección de flujo

6.3.3. FLOW ACCUMULATION (ACUMULACIÓN DEL FLUJO)

Determina el número de celdas que drenan a cada celda, El área de drenaje de una celda dada se calcula multiplicando el número de celdas por el área de cada celda. La corriente principal se compone por la ruta que contiene el mayor número de celdas que contribuyen a ella, es decir, esta opción calcula el flujo acumulado como el total acumulado de las celdas que contribuyen hacia las celdas encontradas aguas abajo (Figura 6.3.5).

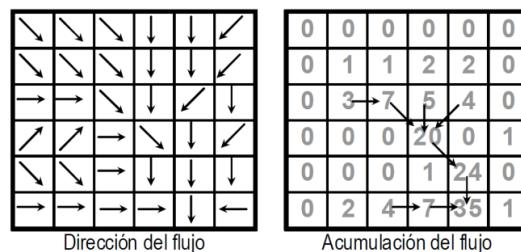


Figura 6.3.5 Interpretación de la acumulación de flujo

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Con esta opción las celdas con grandes acumulaciones de flujo corresponden a áreas de concentración del flujo dando origen a corrientes y cursos de agua, mientras que las celdas que no acumulan flujo corresponden a elevaciones topográficas locales utilizadas para identificar el parteaguas el resultado de este proceso se presenta en la Figura 6.3.6.

- De ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing** → **Flow Accumulation**
- Confirmar la entrada “**Fdr**”
- La salida será “**Fac**”
- OK

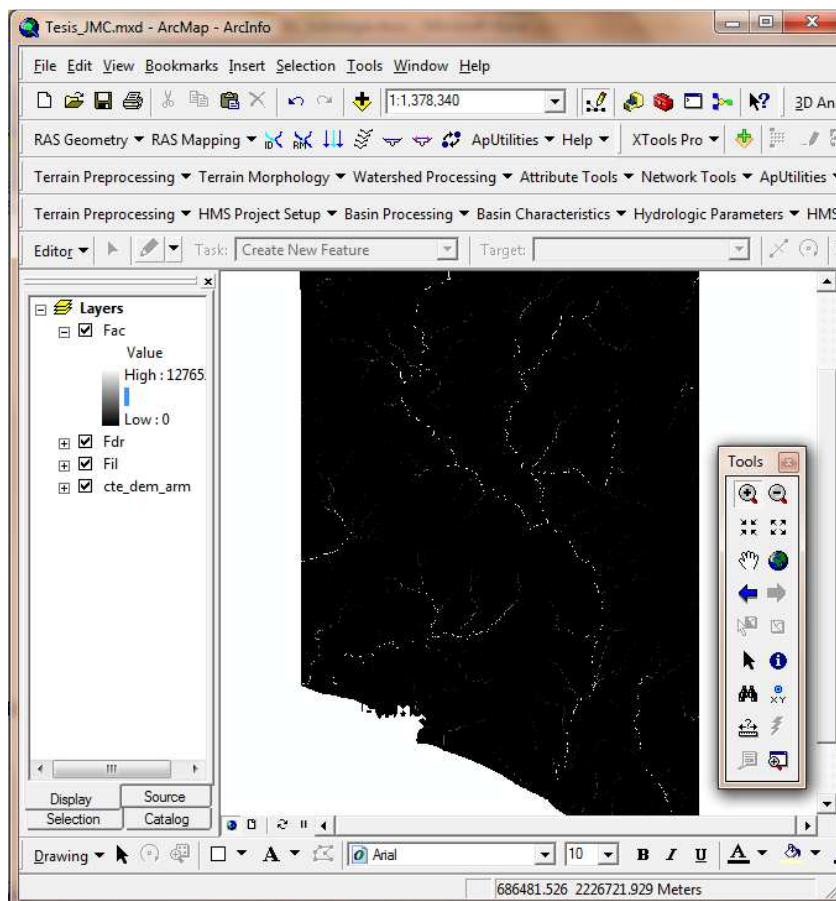


Figura 6.3.6 Acumulación de flujo mediante Archydro Tools

6.3.4. STREAM DEFINITION (DELINEACIÓN DE CUENCAS Y CORRIENTES)

Determina las corrientes de las celdas cuyo flujo acumulado o su equivalente en área exceden del umbral seleccionado, de este modo las celdas con menor aporte no se toman en cuenta. De lo contrario se obtendrían una infinidad de subcuencas con parteaguas casi rectos. En este paso se aceptan los valores por default o menores a estos, el tener valores de menores a los que existen

por default implica que se tendrá un mayor número de subcuencas y corrientes. El resultado se muestra en la Figura 6.3.7.

- De ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing → Stream Definition**
- Confirmar la entrada “**Fac**”
- La salida será “**Str**”
- OK

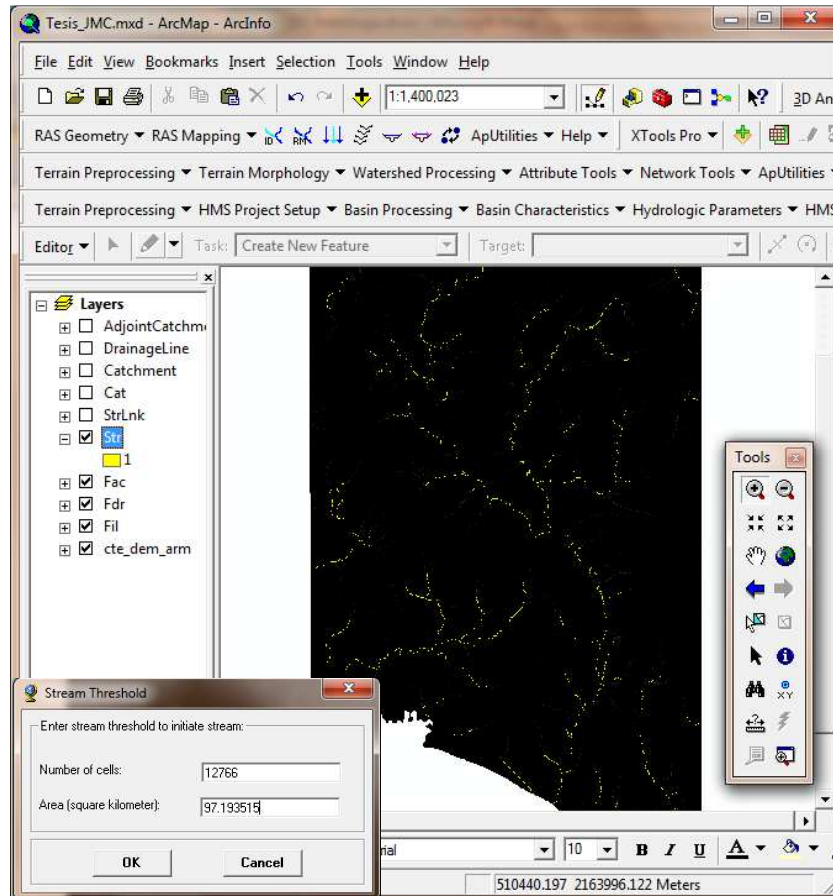


Figura 6.3.7 Definición de la corriente en la cuenca

6.3.5. STREAM SEGMENTATION (SEGMENTACIÓN DE CORRIENTES)

Para obtener el parteaguas de las subcuencas deseadas, en esta sección se separa cada tramo de corriente o tributario, considerando como límite para la separación o división en segmentos de corrientes las confluencias aguas abajo. Por lo que cada subcuenca representa el área de captación de cada tributario y las confluencias encontradas aguas abajo simulan su salida (Figura 6.3.8).

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Esta opción separa cada una de las corrientes en segmentos individuales con el objetivo de estimar la cuenca para cada uno de los tributarios o corrientes.

- En la barra de ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing → Stream Segmentation**
- Confirmar la entrada “Fdr” y “Str”
- La salida será “StrLnk”
- OK

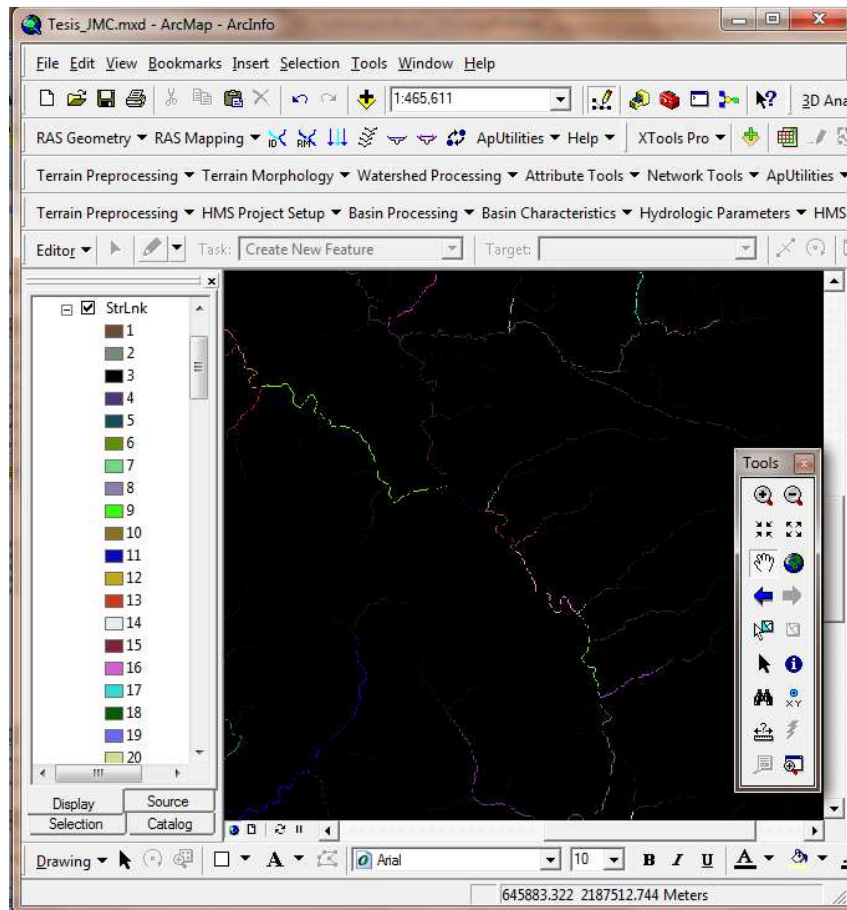


Figura 6.3.8 Segmentación de corrientes

6.3.6. CATCHMENT GRID DENILEATION (DELINEACIÓN DE SUBCUENCAS)

Identifica las subcuencas que existen dentro del área de estudio para cada tributario o segmento de corriente, el resultado que se obtiene al ejecutar esta herramienta se muestra en la Figura 6.3.9.

- En ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing → Catchment Grid Delineation**
- Confirmar la entrada “Fdr” y “StrLnk”

- La salida será “*Cat*”
- OK

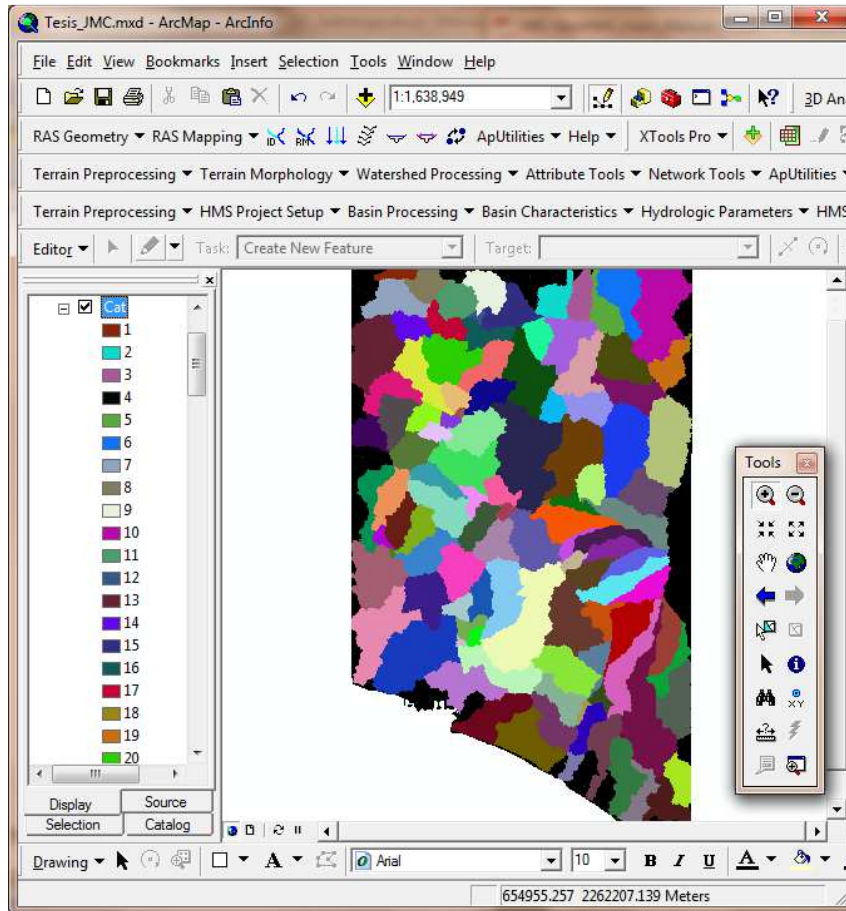


Figura 6.3.9 Delineación de subcuencas

6.3.7. CATCHMENT POLYGON PROCESSING (PROCESAMIENTO DE SUBCUENCAS)

Convierte las subcuencas de formato ráster a formato vector con el fin de manejar datos a la hora de transferirlos al programa de modelación. Los vectores generados se observan en la Figura 6.3.10.

- En ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing → Catchment Polygon Processing**
- Confirmar la entrada “*Cat*”
- La salida será “*Catchment*”
- OK

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

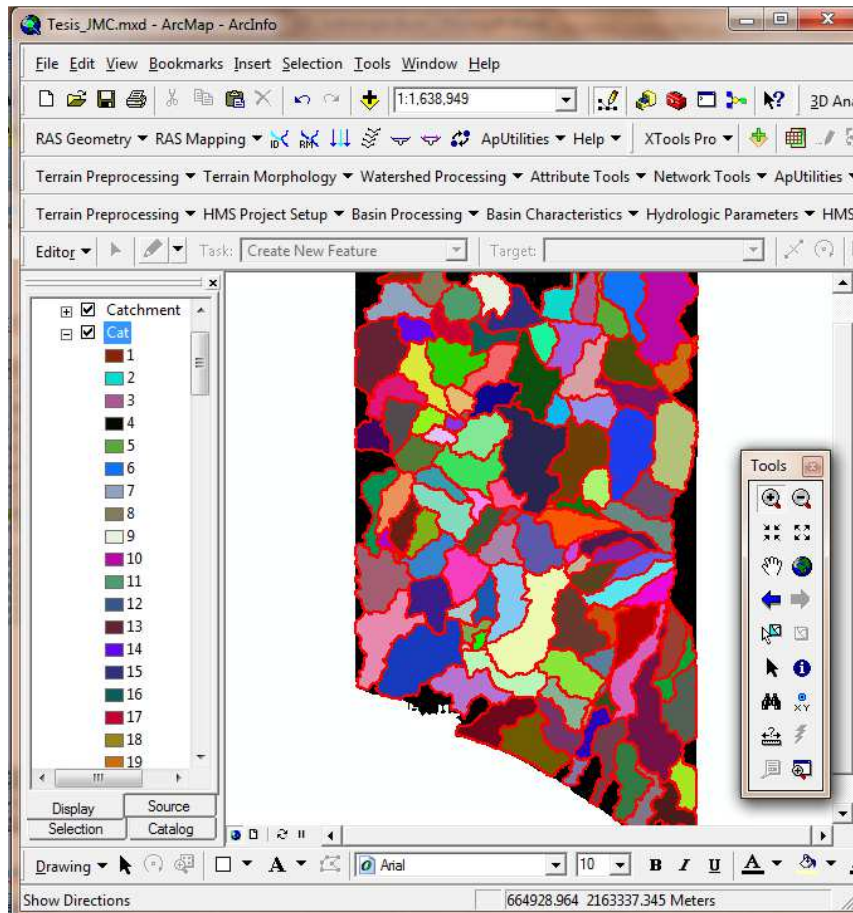


Figura 6.3.10 Procesamiento de subcuencas

6.3.8. DRAINAGE LINE PROCESSING (PROCESAMIENTO DE LA LÍNEA DE DRENAJE)

En este paso se vectoriza la red de flujo. El resultado se observa en la Figura 6.3.11.

- En ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing** → **Drainage Line Processing**
- Confirmar la entrada **"Fdr"** y **"StrLnk"**
- La salida será **"DrainageLine"**
- OK

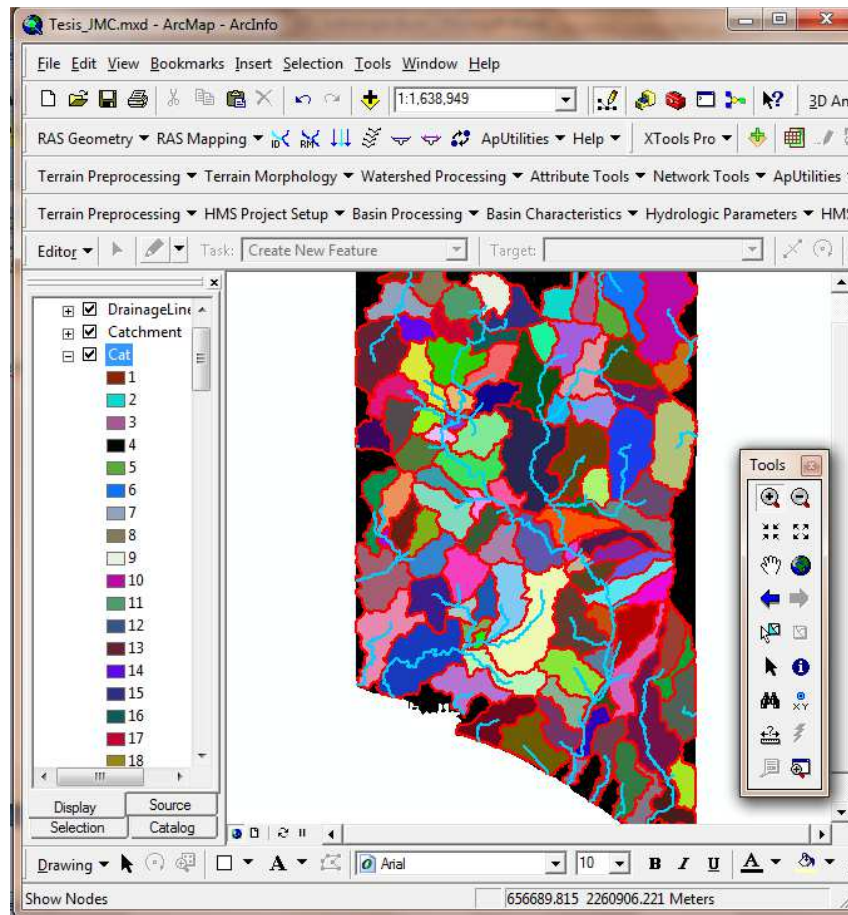


Figura 6.3.11 Procesamiento de la línea de drenaje

6.3.9. ADJOINT CATCHMENT PROCESSING (ADICIÓN DE SUBCUENCAS)

Este paso aglutina las subcuencas que vierten a cada confluencia de cauces. Es obligatorio y se realiza para mejorar la delineación de las subcuencas y obtención de datos (Figura 6.3.12).

Los pasos para agregar subcuencas se muestra a continuación:

- En ArcHydro Tools se selecciona **Terrain Processing** → **Adjoint Catchment Processing**
- Confirmar la entrada **"DrainageLine"** y **"Catchment"**
- La salida será **"AdjointCatchment"**
- OK

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

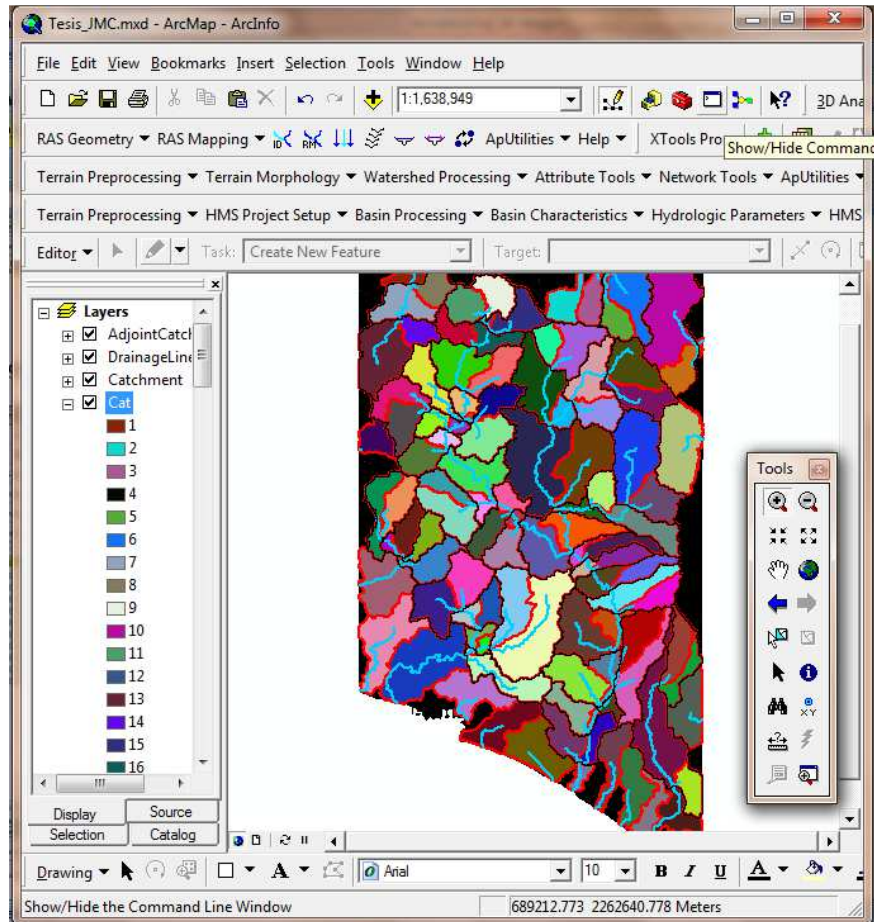


Figura 6.3.12 Adición de subcuencas

6.4. CREACIÓN DEL PROYECTO DE CUENCA CON HEC-GEOHMS

Una vez definidas las cuencas y corrientes, es posible obtener los parámetros de cada una de ellas si se trabaja a nivel subcuencas. En este caso se pretende dividir la cuenca en una malla de celdas cuadradas y obtener los parámetros hidrológicos para cada una de las celdas empleando la red de corrientes que se estimó en la etapa anterior además de las coordenadas de la estación hidrométrica Coliman, “16032”.

Con estos datos, el HEC-GeoHMS permite crear la cuenca a partir de la salida indicada, aislando las propiedades, resultado del proceso de terreno estimado en la etapa anterior para toda la zona.

En principio se introducen dentro del Sistema de Información Geográfica las coordenadas de la estación hidrométrica Coliman, en proyección UTM como se muestra en la Figura 6.4.1. Posteriormente se realiza el proceso de delimitación de cuenca aplicando el siguiente desarrollo con HEC-GeoHMS.

Estación	x	y
Coliman	611136.99	2094361.6
Peñitas II	627698.22	2138303.6

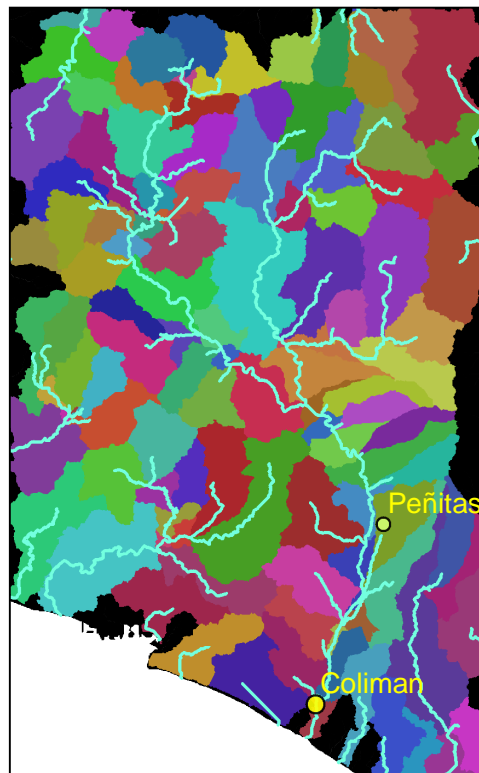


Figura 6.4.1 Ubicación de estaciones hidrométricas

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.4.1. CREAR UN NUEVO PROYECTO

Del menú **HEC-GeoHMS Project Setup**, seleccionar *Star a New Project* (a). En la ventana siguiente se dejan los nombres *ProjectArea* y *ProjectOPoint* por default y *ok* (b). Se nombra y hace una breve descripción del proyecto, en *Extraction Method* se selecciona la opción *Original Stream Definition* y por último se determina la ubicación del proyecto como se observa en (c). La siguiente ventana simplemente se cierra (d). (Ver Figura 6.4.2)

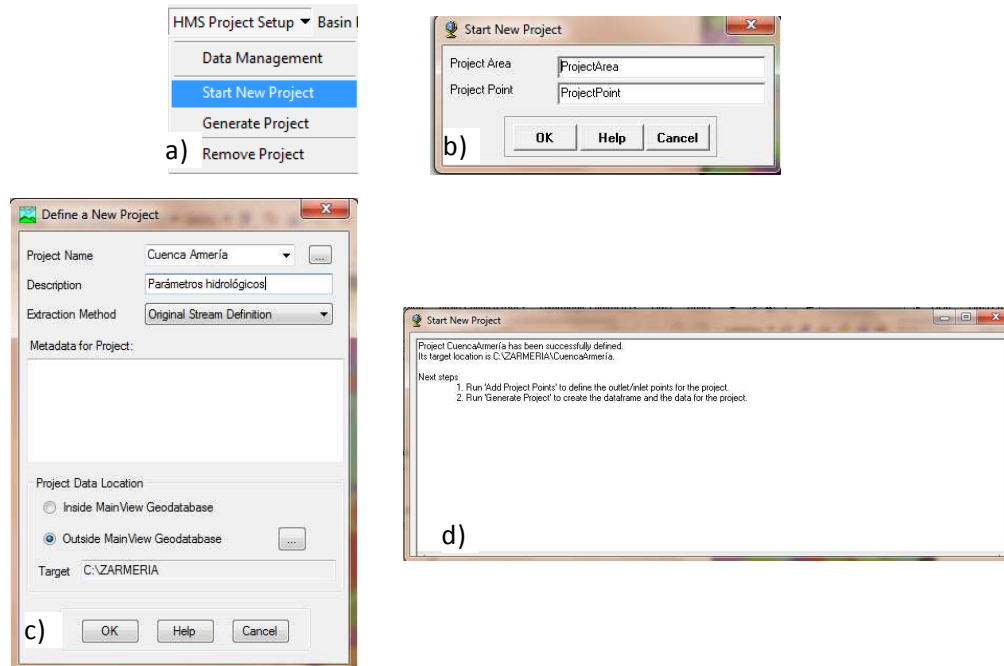



Figura 6.4.2 Iniciar un nuevo proyecto en HEC-GeoHMS a) HMS Project Setup, b) Opciones por default, c) Características del proyecto, d) Indicaciones para agregar puntos de proyecto

6.4.2. PUNTO DE SALIDA DE LA CUENCA

El punto de salida de la cuenca de estudio se agrega con el ícono , preferentemente cerca de donde se encuentra la estación hidrométrica Coliman. En la ventana que aparece se dejan los nombres por default (Outlet1) y *ok*, como se muestra en la Figura 6.4.3.

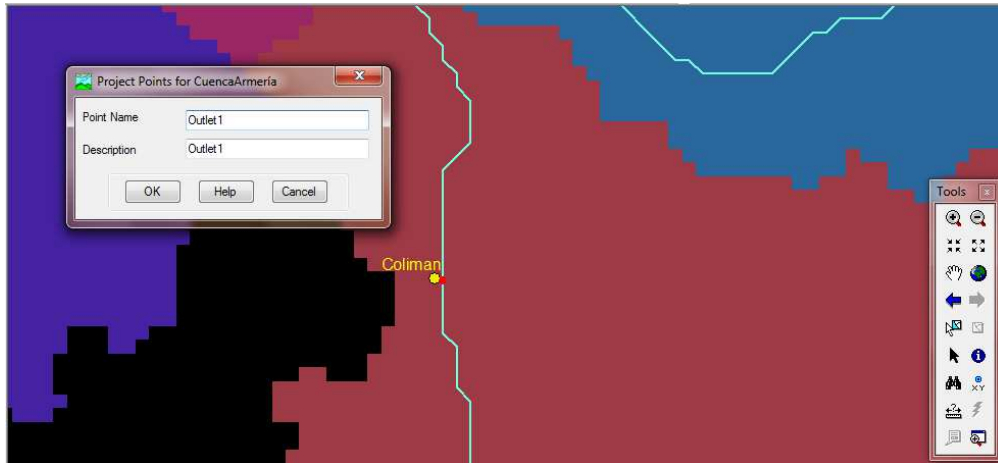


Figura 6.4.3 Punto de salida de la cuenca

6.4.3. GENERACIÓN DEL PROYECTO

En **HMS Project Setup** se selecciona *Generate Project*, con esta instrucción se crea automáticamente el parteaguas de la cuenca a partir del MDE y del punto de salida dada en el paso anterior, como se observa en la Figura 6.4.4. Se crea automáticamente la vista de un nuevo *Data Frame* con el nombre del proyecto que contiene los *Layers Subbasin1, River1, Cat, StrLnk, Str, Fac, Fdr, Fil, Raw DEM, ProjectPoint1* y *MainViewDEM*, delimitados por el parteaguas como se observa en la Figura 6.4.5.

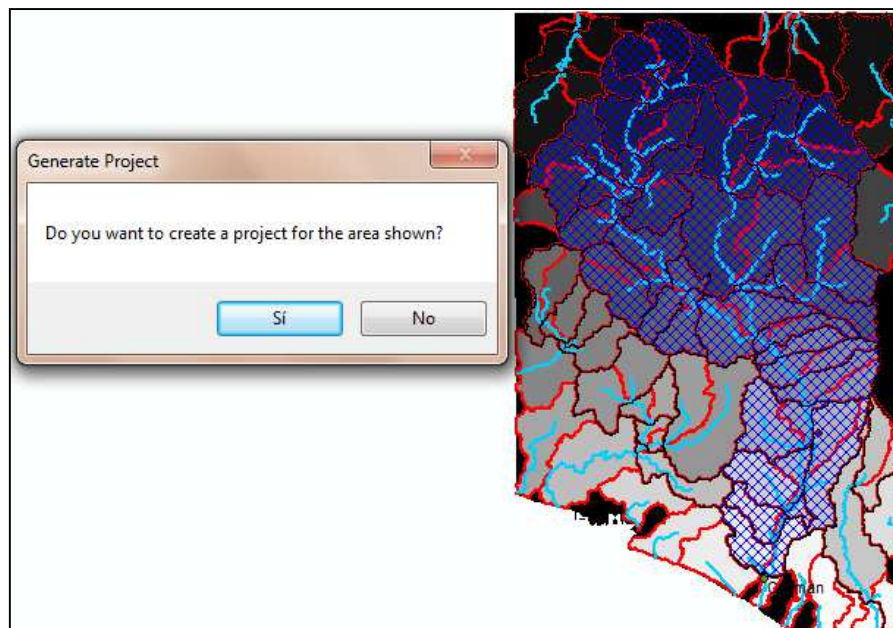


Figura 6.4.4 Creación del parteaguas

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

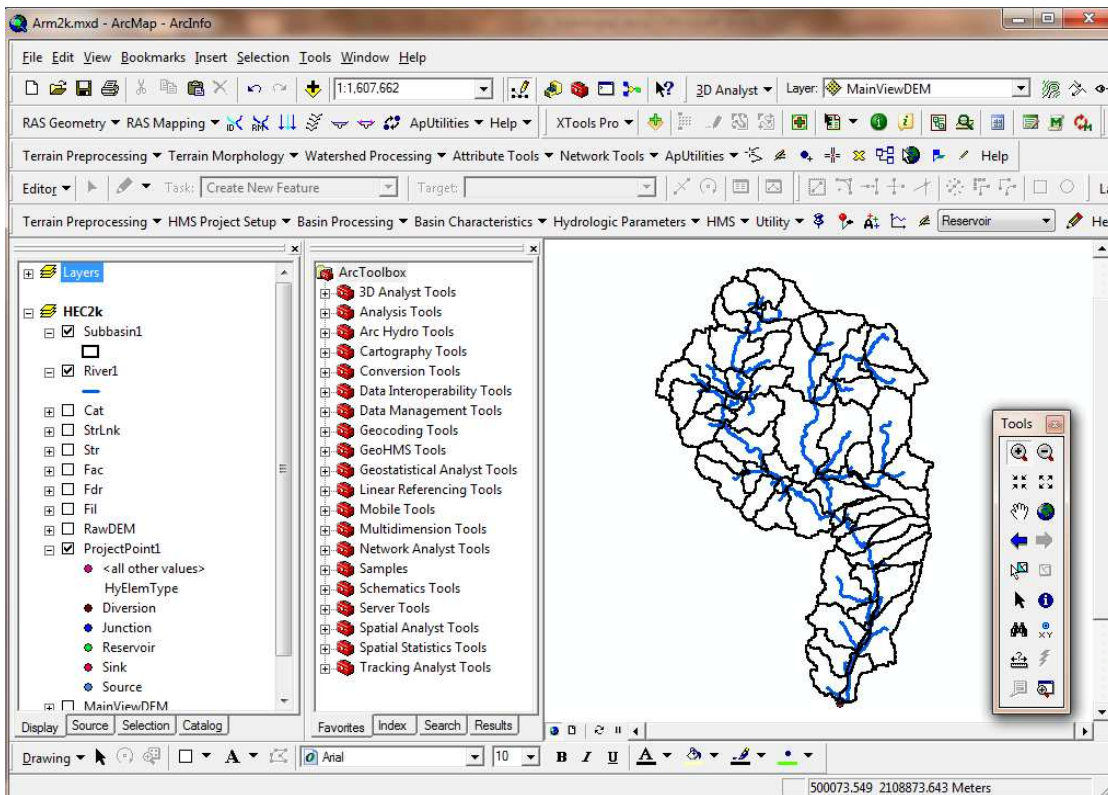


Figura 6.4.5 Proyecto de la cuenca del río Armería

6.4.4. UNIÓN DE SUBCUENCAS

En el nuevo Data Frame o Layer donde fue creado el proyecto con HEC-GeoHMS se activa el tema Subbasin1 y se seleccionan todas las subcuencas, aplicando del menú de **HEC-GeoHMS** la opción *Basin Processing* y *Basin Merge*. Existen ocasiones en que el número de subcuencas es muy grande, por lo que el proceso de selección y unión de cuencas se tiene que realizar en forma parcial a fin de unir las completamente. En este paso tiene que observar solo un polígono, el cual se puede verificar al abrir la tabla de atributos del tema *Subbasin1* (Figura 6.4.6).

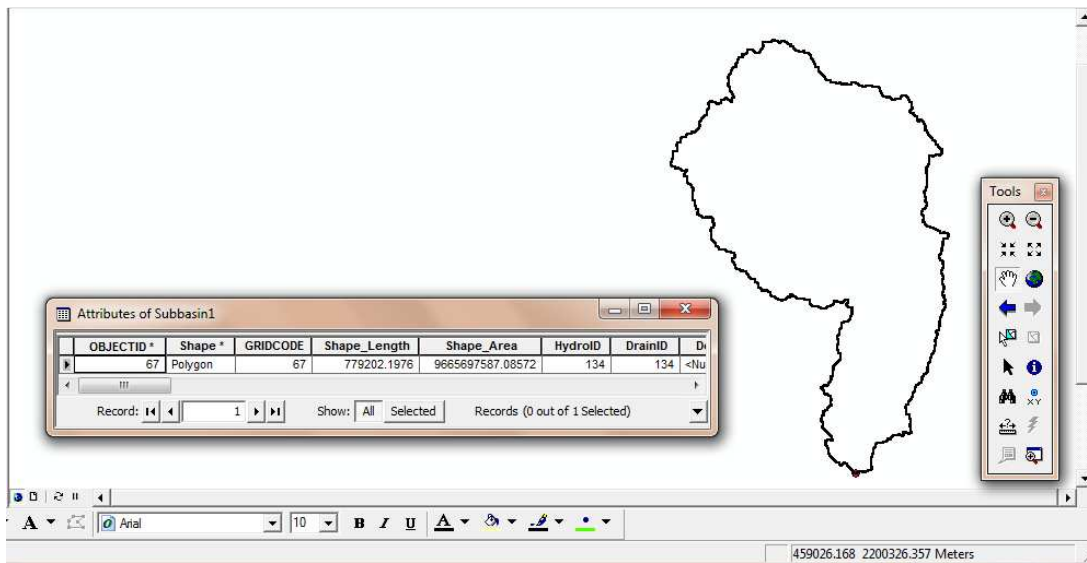
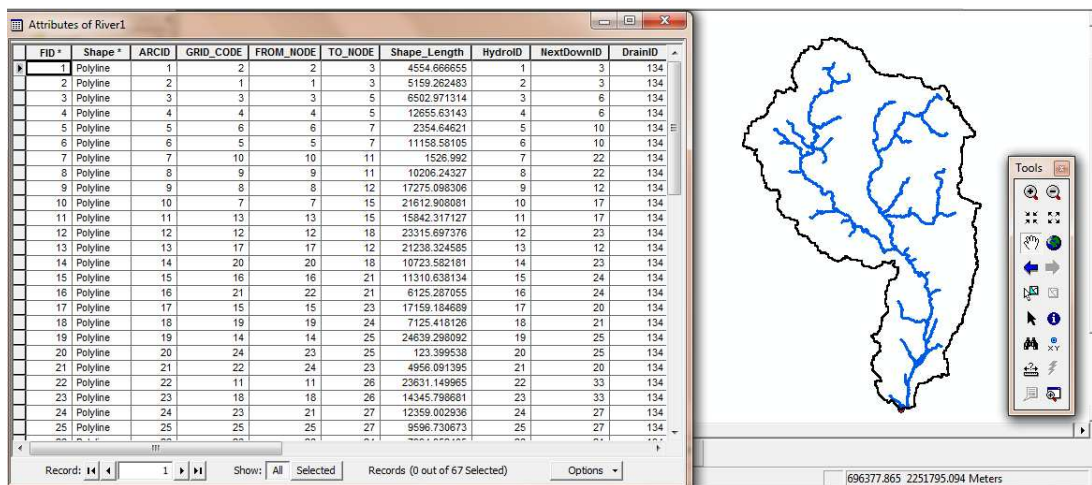


Figura 6.4.6 Unión de subcuencas

6.4.5. UNIÓN DE CORRIENTES

En este paso se seleccionan todas las corrientes que se encuentran dentro del tema *River1*. Para lograr esta unión, del menú **Basin Processing** se selecciona *River Merge*. Al igual que en la unión de subcuencas, cuando existen muchos ríos el proceso de selección y unión se realiza en forma parcial hasta unir todas las corrientes completamente. Este proceso se observa en la Figura 6.4.7, para verificar que las corrientes han sido unidas se abre la tabla de atributos del tema *River1*. La descripción de esta herramienta se presenta a continuación:



6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Figura 6.4.7. Unión de corrientes

- a) Se estima la longitud de cada tramo de corriente, pendiente longitud del río principal y su centroide. Para ello, del menú de **Basin Characteristics** (Figura 6.4.8) se seleccionan los siguientes comandos:

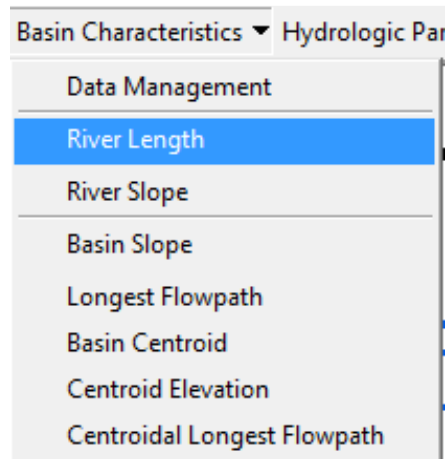


Figura 6.4.8 Menú de Basin Characteristics

a.1. River Length, se selecciona el río, en este caso *River1* y presiona OK

a.2. River Slope, se selecciona *River 1* y presiona OK.

a.3. Basin Slope, antes de ejecutar este comando es necesario obtener la pendiente (*Slope*) a través del menú de *Arc Hydro*, en *Terrain Preprocessing*. El dato de entrada es *RawDEM* y el de salida se renombra como *Slope* y OK (Figura 6.4.9).

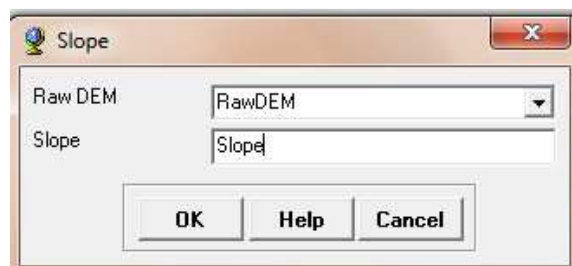


Figura 6.4.9 Ejecución del comando Slope con la barra de herramientas de Arc Hydro

a.4. Longest Flow Path, se acepta los valores por default mostrados en la ventana que aparece. Este proceso se muestra en la vista de la Figura 6.4.10.

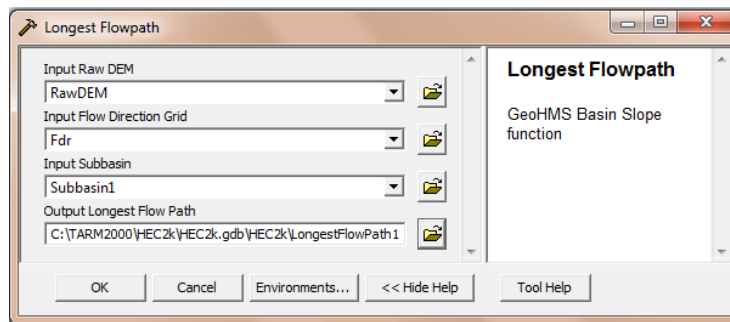


Figura 6.4.10 Longitud más larga del flujo

a.5. Basin Centroid, se acepta el método para calcular el centro de gravedad de la cuenca, en este caso se selecciona *Center of gravity* mientras que los demás campos se dejan por default, y se elige OK como se muestra en la Figura 6.4.11.

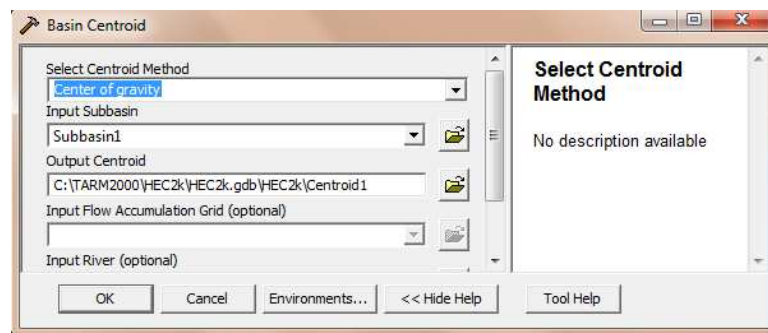
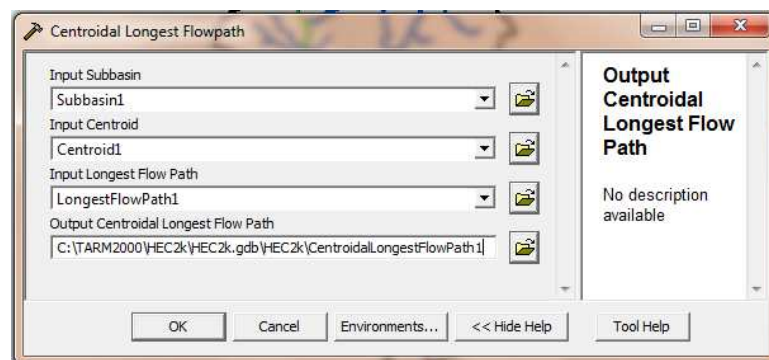


Figura 6.4.11 Cálculo del centroide de la cuenca

a.6. Centroidal Longest Flow Path, se aceptan los datos dados por default en la ventana que aparece en la Figura 6.4.12.



6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Figura 6.4.12 Cálculo del centroide de la corriente con mayor longitud

El resultado al ejecutar los comandos que se presentan en el menú **Basin Characteristics**, se presentan en la Figura 6.4.13, en donde se observa la cuenca, el río, la longitud más larga del flujo así como el centroide de la cuenca y de la corriente con mayor longitud. Los cueles son denominados como elementos hidrológicos.

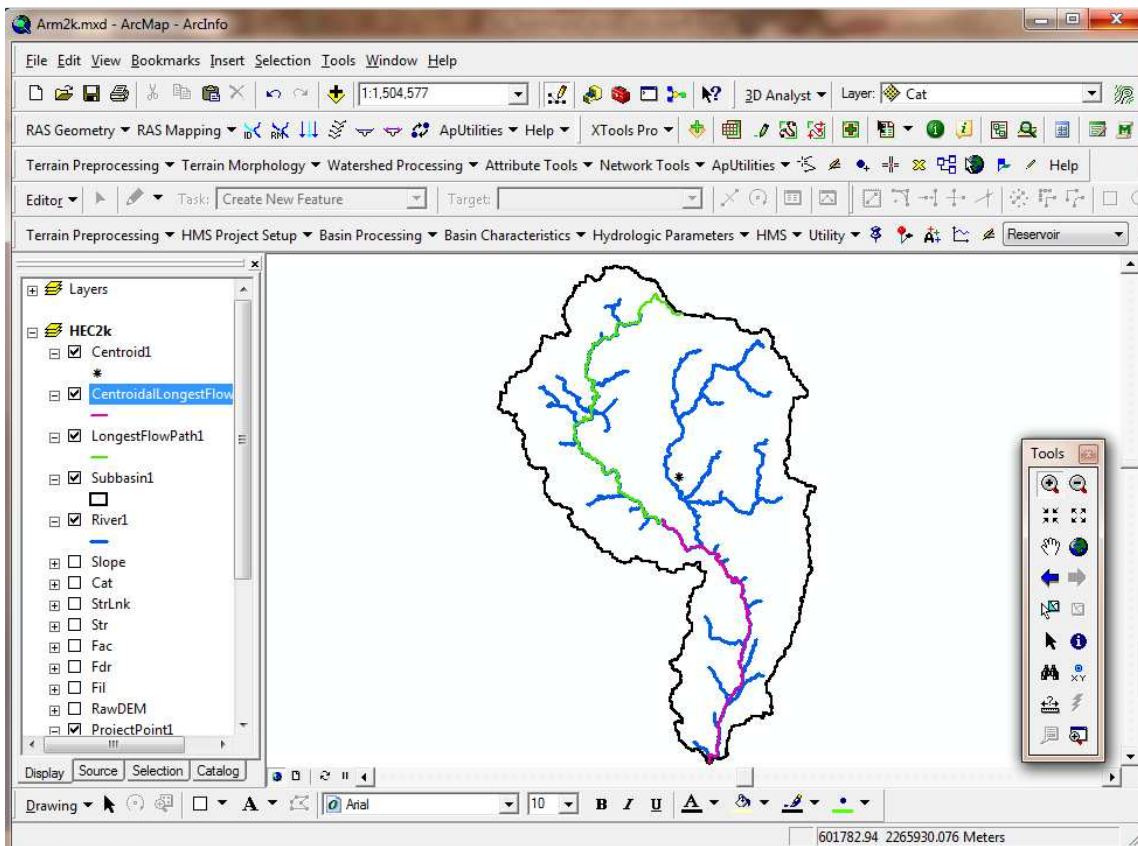
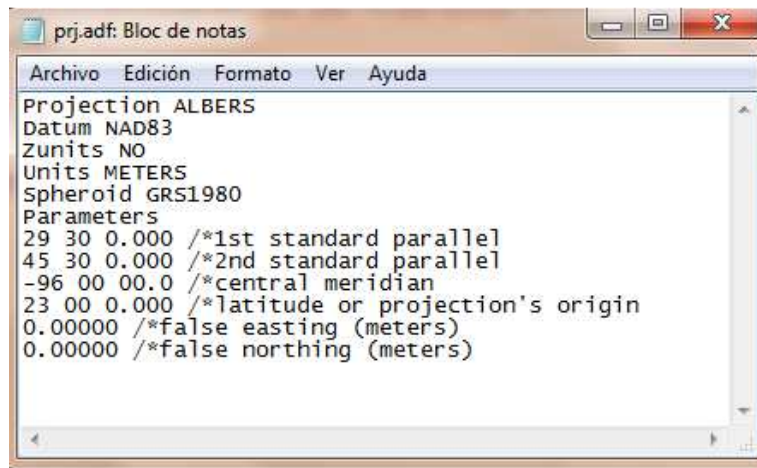


Figura 6.4.13 Elementos hidrológicos

6.5. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA

Para la modelación hidrológica, es necesario contar con el archivo que contenga los parámetros hidrológicos en forma de malla, en el que las celdas son representadas como subcuencas para la modelación distribuida. Este archivo requiere la selección de un sistema de coordenadas que conserve la alineación de las propiedades espaciales del área, la forma y las distancias de la cuenca. A partir de una perspectiva hidrológica donde el terreno y la precipitación son importantes, el sistema de coordenadas debe conservar el área, para lograr esto existen dos sistemas de coordenadas: el SHG (Standard Hydrologic Grid) y el HRAP (Hydrologic Rainfall Analysis Project) de los cuales el más utilizado es el SHG el cual se basa en la Proyección de Albers de igual área.

Antes de comenzar con la obtención de los parámetros hidrológicos, conviene establecer el sistema de coordenadas como SHG, para ello se crea un archivo en el *Bloc de notas* que contenga la información mostrada en Figura 6.5.1, este se nombra como *pjr.adf*. El archivo con el nuevo sistema de coordenadas, sustituirá a los archivos que existen en las carpetas *fac*, *fdr*, *fil*, *str*, *strlnk*, las cuales se encuentran dentro del directorio del proyecto creado con base en el HEC-GeoHMS, del subcapítulo anterior.



```
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Projection ALBERS
Datum NAD83
Zunits NO
Units METERS
Spheroid GRS1980
Parameters
29 30 0.000 /*1st standard parallel
45 30 0.000 /*2nd standard parallel
-96 00 00.0 /*central meridian
23 00 0.000 /*latitude or projection's origin
0.00000 /*false easting (meters)
0.00000 /*false northing (meters)
```

Figura 6.5.1 Archivo de datos de Proyección Albers

Al reemplazar todos los archivos *pjr.adf* de cada una de las carpetas en las carpetas, se continúa con el uso de la herramienta **Hydrologic Parameters** incluida en la barra de herramientas de **Hec-GeoHMS** (Figura 6.5.2).

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

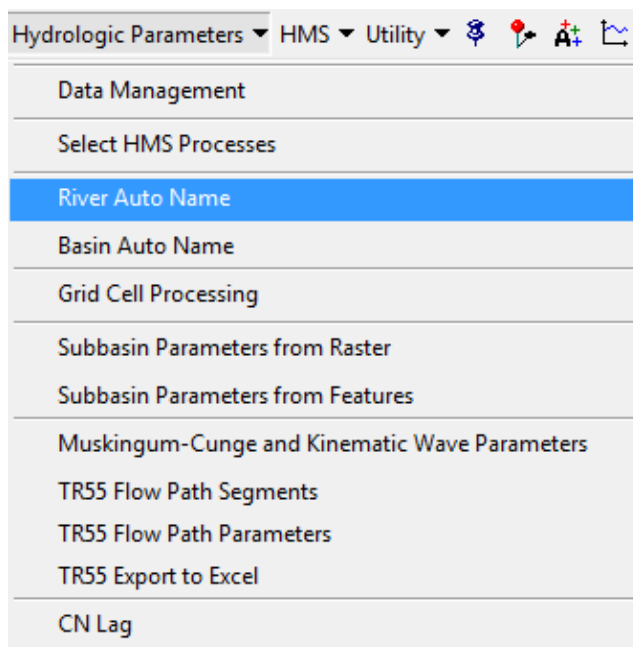


Figura 6.5.2 Menú de opciones de Hydrologic Parameters

Una vez establecido el sistema de coordenadas, se empieza trabajar para obtener los parámetros hidrológicos con la opción **Hydrologic Parameters** encontrada en la barra de herramientas de HEC-GeoHMS siguiendo el siguiente procedimiento:

6.5.1. RIVER AUTO NAME

Se nombran corrientes, el dato de entrada es *River1*.

6.5.2. BASIN AUTO NAME

Se nombran subcuencas, se selecciona *Subbasin1*.

6.5.3. GRID CELL PROCESSING

Creando el archivo con los parámetros hidrológicos en formato de malla, en este paso se selecciona el sistema de coordenadas SHG (Standard Hydroogic Grid). Se selecciona el tamaño de malla, en el que se recomienda que sea de 2000 metros y se deja el método que aparece por default (Albers Equal Area Conic USGS) y OK (Figura 6.5.3). En la siguiente ventana se dejan los valores por default, excepto el nombre del campo *Grid Cell Intersection* (se renombrará como *ModClark2k*), y OK (Figura 6.5.4). En la tercera ventana se dejan los valores existentes y se presiona Ok (Figura 6.5.5).

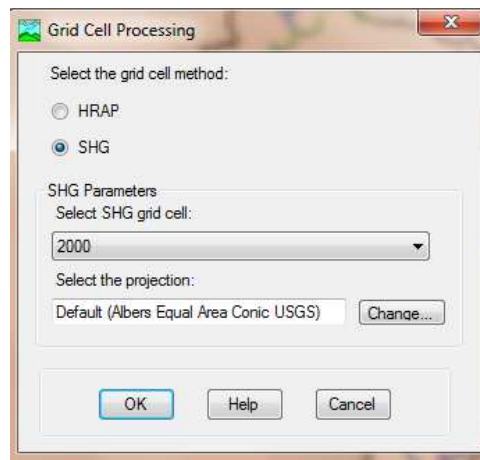


Figura 6.5.3 Selección del método, tamaño de la malla y proyección para los parámetros hidrológicos

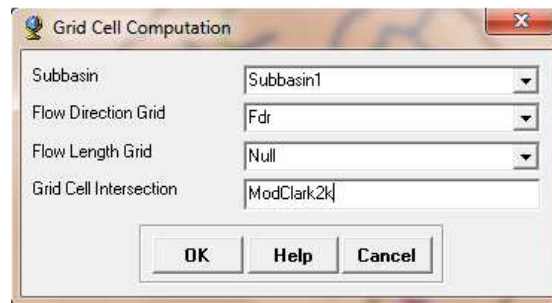


Figura 6.5.4 Cálculo de la malla

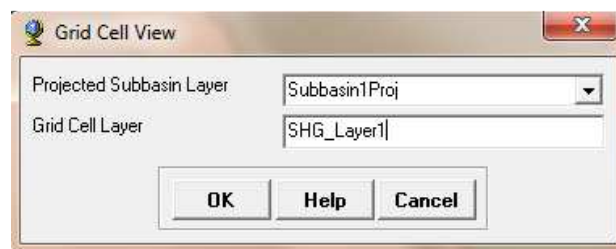


Figura 6.5.5 Vista del nuevo Layer

El resultado del proceso anterior muestra una vista con la cuenca y la malla, además de tres layers adicionales como se muestra en la Figura 6.5.6.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

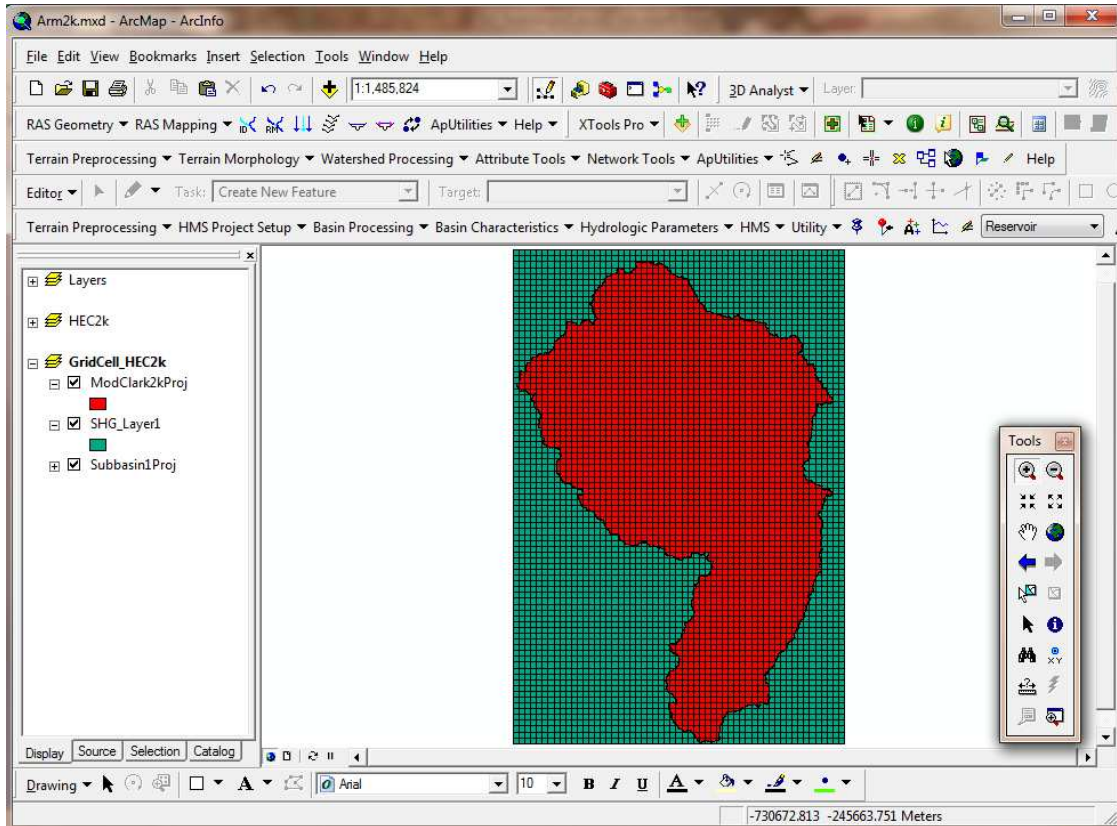


Figura 6.5.6 Vista donde se generan los temas *ModClark2kProj*, *SHG_Layer1* y *Subbasin1Proj*

Los layers generados en esta etapa son los siguientes:

El layer *ModClark2kProj* (Figura 6.5.7), contiene las propiedades hidrológicas de la cuenca por celda, coordenadas x y ($CELL_X$, $CELL_Y$), longitud de viaje hasta la salida y su área ($FLOWLENGTH$ y MOD_AREA , respectivamente). Las longitudes de viaje son posteriormente convertidas por el programa MPE en tiempos de viaje para crear las isócronas las cuales son utilizadas por el método de Clark para la transferencia del escurrimiento.

El layer *FLOWLENGTH* (Figura 6.5.8), contiene la longitud de viaje desde cada celda hasta la salida de la cuenca.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

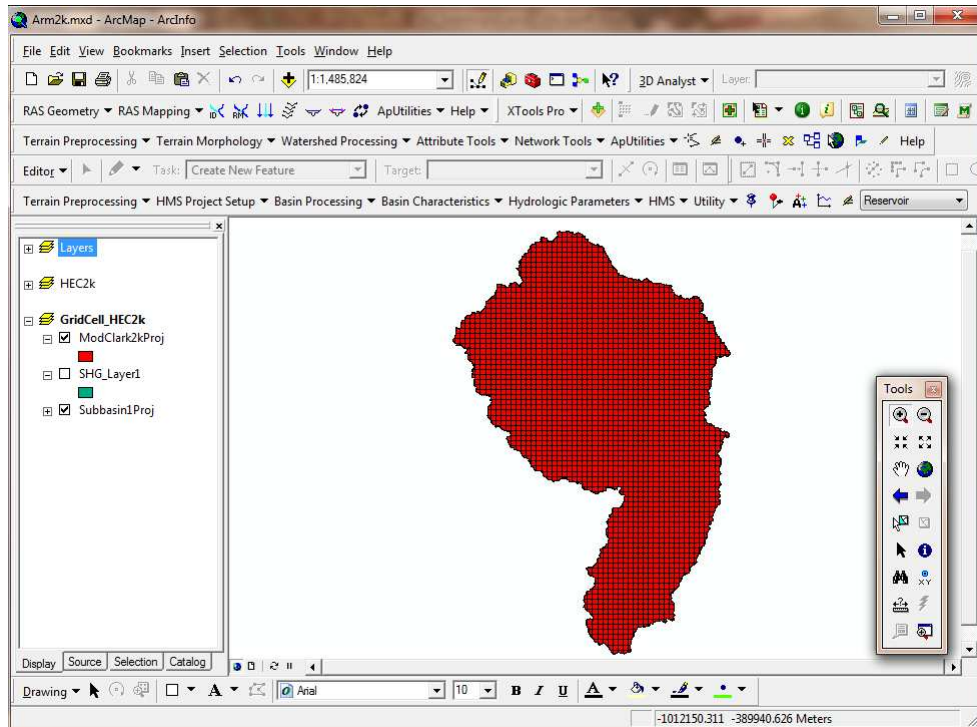


Figura 6.5.7 Tema que contiene las propiedades hidrológicas en cada celda

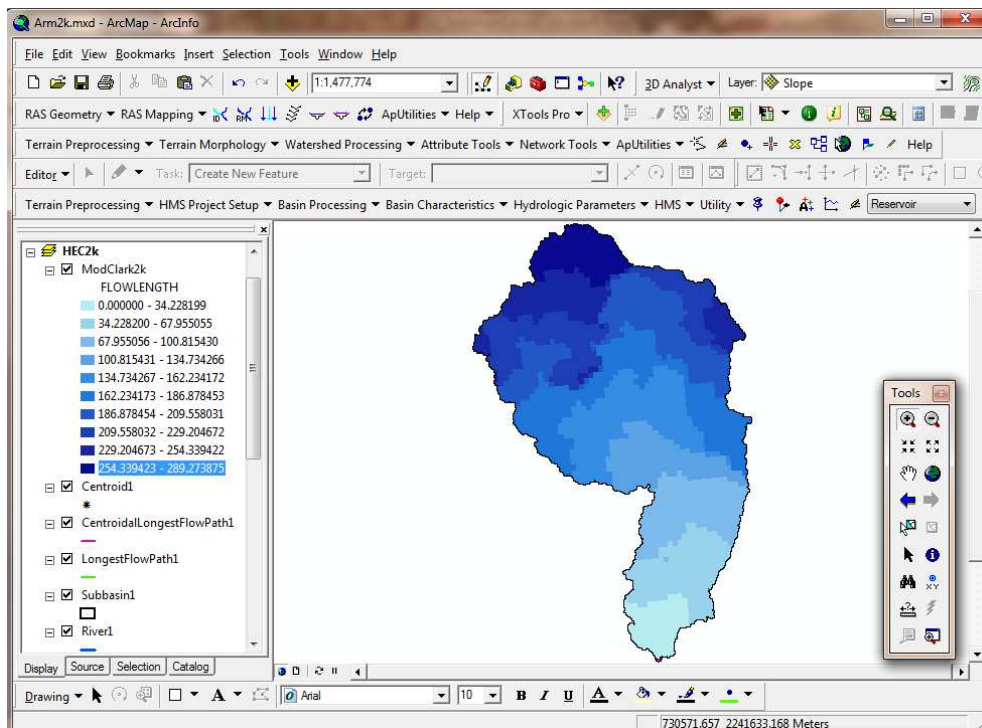


Figura 6.5.8 Mapa de la longitud de viaje

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.5.4. SELECCIÓN DEL SI Y CREACIÓN DEL ARCHIVO EN FORMATO DE MALLA

Lo que continua es definir el sistema de unidades, para ello, del menú **HMS** mostrado en la Figura 6.5.9, se seleccionan algunas opciones con las cuales se definirá el sistema de unidades que se van a considerar en el archivo que contendrá los parámetros hidrológicos en formato de malla.

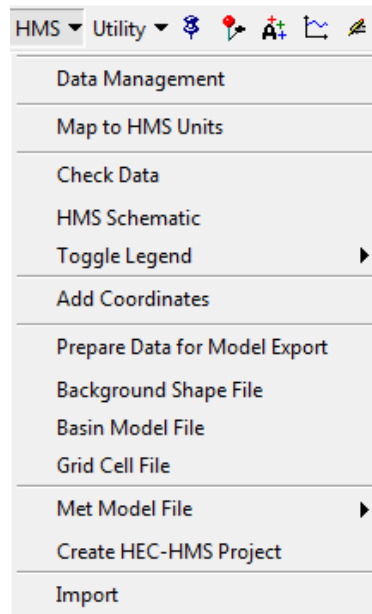


Figura 6.5.9 Opciones del menú HMS

En este paso se seleccionan las siguientes opciones:

- **Map to HMS Units**, para seleccionar el sistema de unidades con el que se hará el trabajo, en esta opción aparecen dos ventanas. En la primera, se aceptan los caracteres mostrados en los campos y OK (Figura 6.5.10), en la segunda se elige Sistema Internacional (SI) como se muestra en la Figura 6.5.11.

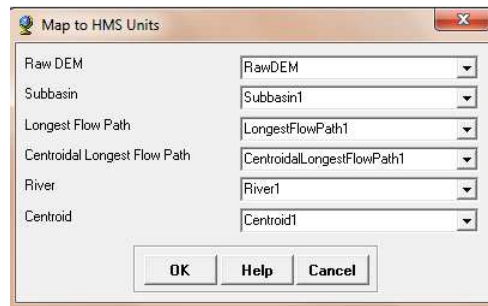


Figura 6.5.10 Temas que utilizarán el Sistema Internacional

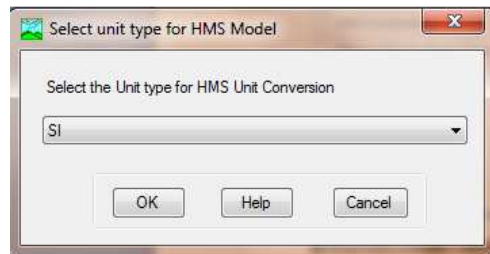


Figura 6.5.11 Selección del sistema de unidades

- **Add Coordinates**, se aceptan los valores por default y selecciona OK como se observa en la Figura 6.5.12.

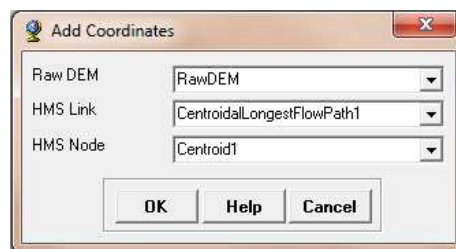


Figura 6.5.12 Comando Add Coordinates

- **Grid Cell File**, crea un archivo dentro de la carpeta que contiene el proyecto con formato .mod, en el cual aparecen características de las celdas, es decir la coordenada x e y, así como la longitud de viaje y el área (Figura 6.5.13).

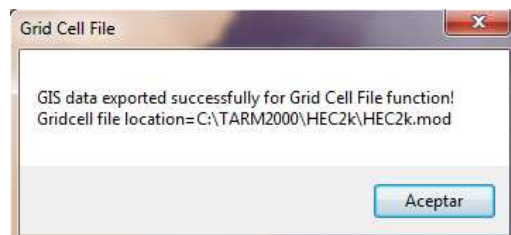


Figura 6.5.13 Creación del archivo en formato de malla

Al tema ModClark2k se deben agregar los valores del número de curva, por lo que a continuación se describe el procedimiento para integrar este valor al tema.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

6.6. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

Para determinar el número de curva es necesario contar con los mapas digitalizados de tipo y uso de suelo, los cuales son obtenidos en el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e informática (INEGI).

Para iniciar, se selecciona del menú de *ArcMap*, *Insert, Data Frame*. Se renombra el Data Frame como *NumCurva* y en éste se copia el layer *ModClark2k*, el cual que contiene las propiedades hidrológicas en cada celda, además se agregan los mapas de Edafología y Uso de Suelo (Figura 6.6.1). Es importante que tanto el tema *ModClark2k* como los Mapas contengan el mismo DATUM, de no ser así no se podrán extraer las características requeridas para el estudio.

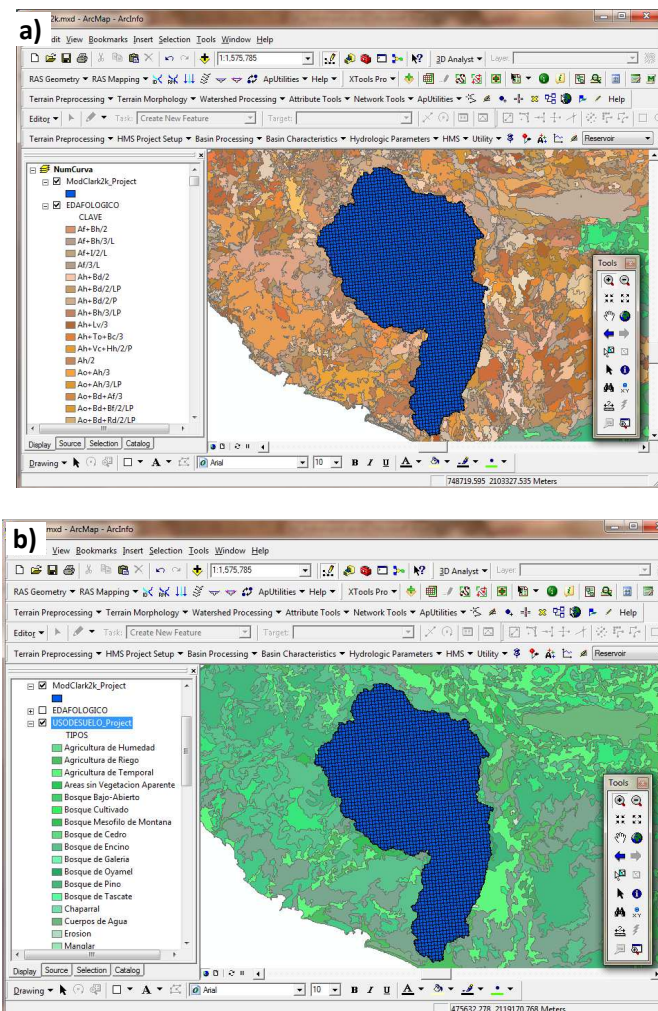


Figura 6.6.1 Vista con el tema *ModClark2k* y los mapas de a) Edafología y b) Uso de Suelo

Con la información cargada en el SIG, se procede a recortar los mapas al tamaño de la cuenca, para ello se selecciona de *ArcToolbox, Analysis Tools, Extract* y *Clip*. Se muestra la ventana de la Figura 6.6.2. En el campo *Input Features* se selecciona el mapa que se requiere recortar (Edafológico o de uso de Suelo) mientras que en el campo de *Clip Features* se selecciona el ModClark2kProject con el que se define el límite de corte (Figura 6.6.3), para finalizar se le da la ruta del directorio donde se quiere guardar y nombre del archivo que en este caso es *edafarm.shp* y OK. El resultado se muestra en la Figura 6.6.4 (edafología) y Figura 6.6.5 (vegetación y uso de suelo).

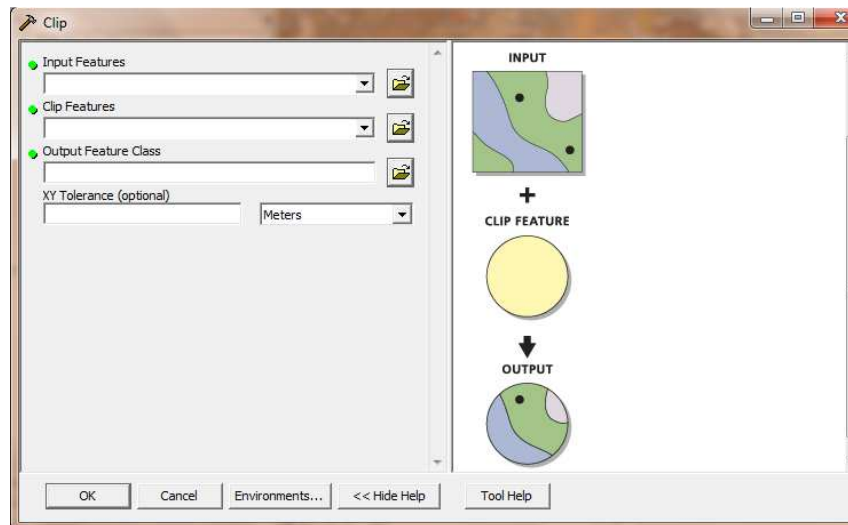


Figura 6.6.2 Recorte del mapa de número de curva al tamaño de la cuenca en estudio

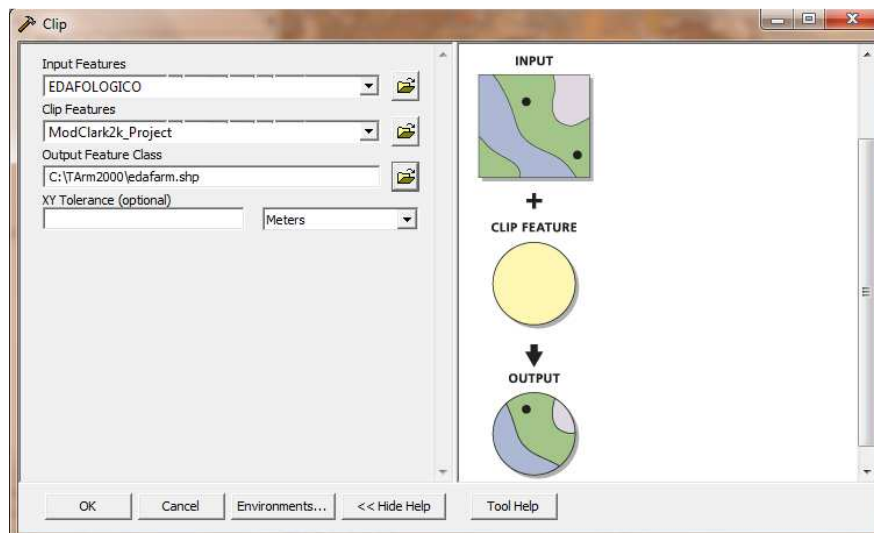


Figura 6.6.3 Selección del tema a recortar y del tema de referencia

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

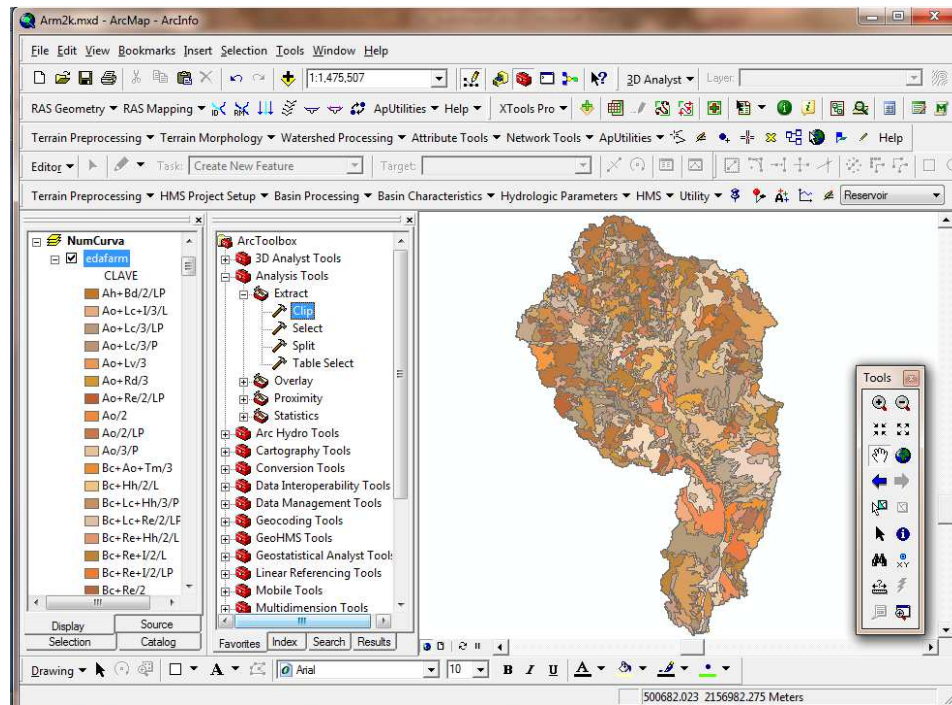


Figura 6.6.4 Recorte del mapa edafológico del tamaño de la cuenca

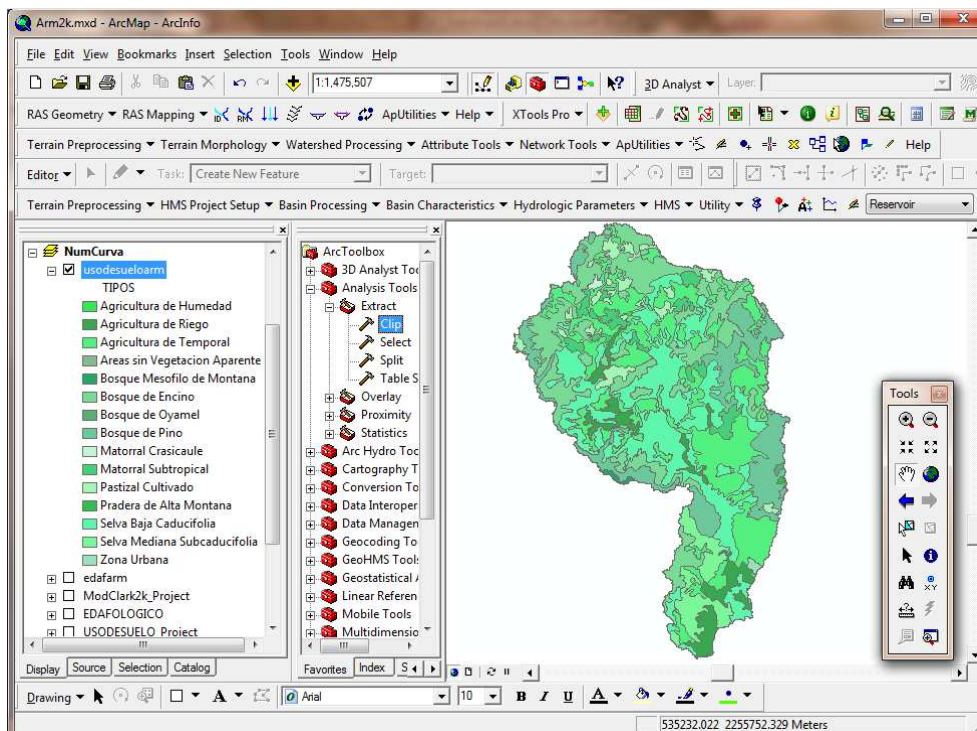


Figura 6.6.5 Mapa de Uso de Suelo cortado al tamaño de la cuenca

Dentro de las consideraciones del estudio, se requiere tener clasificado el tipo de suelo de acuerdo con su permeabilidad, ya sea: muy alta, buena, media o baja. Esta clasificación se relaciona con el grupo hidrológico A, B, C y D respectivamente (Véase Tabla 3.1.1).

Dado que no se cuenta con esta clasificación, se realiza el procedimiento siguiente, utilizando como base el mapa edafológico.

6.6.1. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO

En el área de estudio existen muchos tipos de suelo por lo que para fines prácticos no es necesario tener tantas subdivisiones de cada clase. Para obtener las clases básicas de los tipos de suelo se realiza una reclasificación de éstos.

Los tipos básicos con los que se caracteriza un suelo están dados por su primer letra, es decir, si la primera es **A** (Ah + Bd/2/LP), según la clasificación de suelos de la FAO, el suelo es de tipo *Acrisol* y su permeabilidad es *baja* de acuerdo con la Tabla 3.1.1. Por tanto, en este estudio se hará una clasificación basada en la primera letra (mayúscula) de cada suelo, debido a que este es el suelo predominante.

En esta etapa se agrega una columna en la tabla de atributos del tema edafológico. Para ello se abre la tabla de atributos de *edafarm.shp* se selecciona el ícono de *Options* y después *Add Field...* como se observa en la Figura 6.6.6.

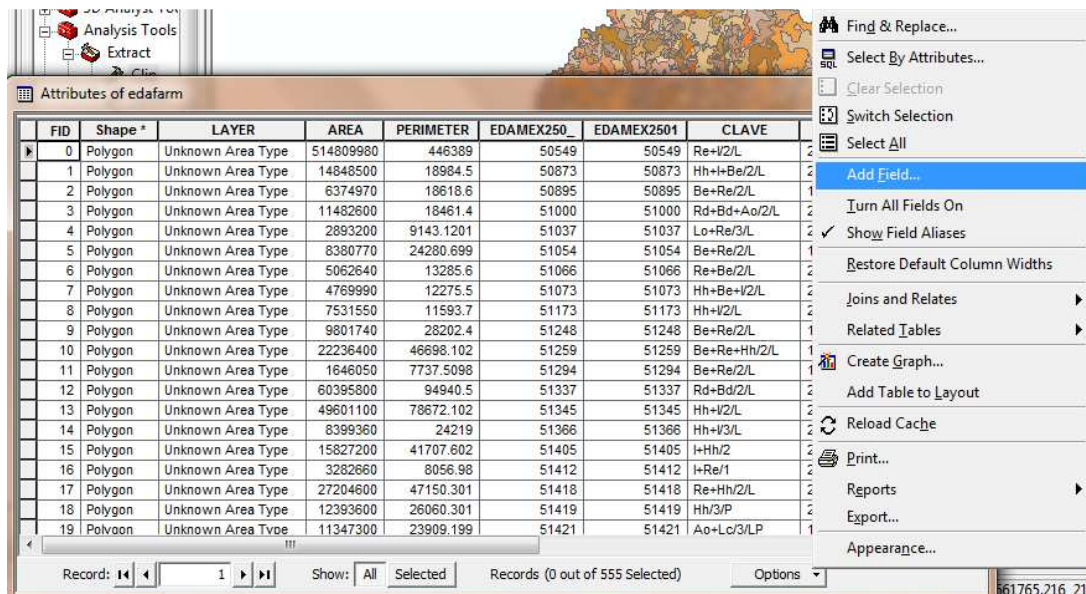


Figura 6.6.6 Agregar una nueva columna en el tema edafarm.shp

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Al utilizar la opción anterior aparece la ventana mostrada en la Figura 6.6.7, en que se introduce el nombre del encabezado de la nueva columna, en este caso será *Gpo_Hidro* y el tipo de datos que se introducirán en cada una de las celdas en este caso caracteres por lo que se seleccionará *Text*. El resultado de agregar una nueva columna se observa en la Figura 6.6.8.

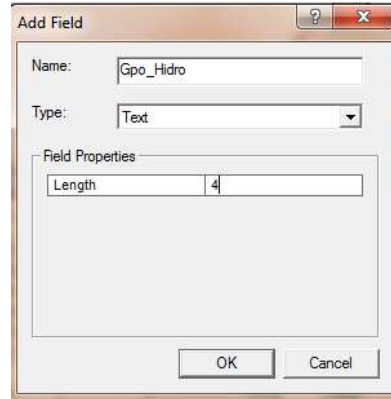


Figura 6.6.7 Características de la nueva columna a integrar en *edafarm.shp*

AREA	PERIMETER	EDAMEX250	EDAMEX2501	CLAVE	Gpo_Hidro	FC	NOM_SUE1	NOM_SUB1	NOM_SUE2	NOM_SUB2	NOM_SUE3	NOM_SUB3
514809980	446389	50549	50549	Re+V2/L		2462	Regosol	éutrico	Litosol			
14848500	18984.5	50873	50873	Hh+Be/2/L		2096	Feozem	háplico	Litosol		Cambisol	éutrico
6374970	18618.6	50895	50895	Be+Re/2/L		1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
11482600	18461.4	51000	51000	Rd+Bd+Ao/2/L		2422	Regosol	districo	Cambisol	districo	Acrisol	órtico
2893200	9143.1201	51037	51037	Lo+Re/3/L		2338	Luvisol	órtico	Regosol	éutrico		
8380770	24280.699	51054	51054	Be+Re/2/L		1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
5062640	13285.6	51066	51066	Re+Be/2/L		2440	Regosol	éutrico	Cambisol	éutrico		
4769990	12275.5	51073	51073	Hh+Be+V2/L		2081	Feozem	háplico	Cambisol	éutrico	Litosol	
7531550	11593.7	51173	51173	Hh+V2/L		2102	Feozem	háplico	Litosol			
9801740	28202.4	51248	51248	Be+Re/2/L		1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
22236400	46698.102	51259	51259	Be+Re+Hh/2/L		1955	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico	Feozem	háplico
1646050	7737.5098	51294	51294	Be+Re/2/L		1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
60395800	94940.5	51337	51337	Rd+Bd/2/L		2423	Regosol	districo	Cambisol	districo		
49601100	78672.102	51345	51345	Hh+V2/L		2102	Feozem	háplico	Litosol			
8399360	24219	51366	51366	Hh+V3/L		2103	Feozem	háplico	Litosol			
15827200	41707.602	51405	51405	I+Hh/2		2182	Litosol		Feozem	háplico		
3282860	8056.98	51412	51412	I+Re/1		2196	Litosol		Regosol	éutrico		
27204600	47150.301	51418	51418	Re+Hh/2/L		2451	Regosol	éutrico	Feozem	háplico		
12393600	26060.301	51419	51419	Hh/3/P		2145	Feozem	háplico				
11347300	23909.199	51421	51421	Ao+Lc/3/LP		1901	Acrisol	órtico	Luvisol	crómico		
15729600	34096.602	51424	51424	Hh+Hh/3/L		2154	Feozem	lúvico	Feozem	háplico		
3916350	13434.3	51463	51463	Hh/3/L		2145	Feozem	háplico				
26185700	62288.5	51503	51503	Hh+V3/L		2103	Feozem	háplico	Litosol			
5423100	11967.8	51504	51504	Rd/2/L		2431	Reosol	districo				

Figura 6.6.8 Se agrega la columna Permeabilidad al mapa de edafología.

Posteriormente se selecciona de la barra de herramientas *Editor* de ArcMap, la opción *Start Editing*. Lo cual nos permitirá introducir los valores del grupo hidrológico al que corresponde el tipo de suelo (Figura 6.6.9).

AREA	PERIMETER	EDAMEX250	EDAMEX2501	CLAVE	Gpo_Hidro	FC	NOM_SUE1	NOM_SUB1	NOM_SUE2	NOM_SUB2	NOM_SUE3	NOM_SUB3
514809980	446389	50549	50549	Re+V2/L	B	2462	Regosol	éutrico	Litosol			
14848500	18984.5	50873	50873	Hh+i+Be/2/L	C	2096	Feozem	háptico	Litosol			
6374970	18618.6	50895	50895	Be+Re/2/L	D	1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico	Cambisol	éutrico
11482600	18461.4	51000	51000	Rd+Bd+Ao/2/L	B	2422	Regosol	districo	Cambisol	districo	Acrisol	órtico
2893200	9143.1201	51037	51037	Lo+Re/3/L	D	2338	Luvisol	órtico	Regosol	éutrico		
8380770	24280.699	51054	51054	Be+Re/2/L	D	1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
5062640	13285.6	51066	51066	Re+Be/2/L	B	2440	Regosol	éutrico	Cambisol	éutrico		
4769990	12275.5	51073	51073	Hh+Be+V2/L	C	2081	Feozem	háptico	Cambisol	éutrico	Litosol	
7531550	11593.7	51173	51173	Hh+V2/L	C	2102	Feozem	háptico	Litosol			
9801740	28202.4	51248	51248	Be+Re/2/L	D	1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
22236400	46698.102	51259	51259	Be+Re+Hh/2/L	D	1955	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico	Feozem	háptico
164050	7737.5098	51294	51294	Be+Re/2/L	D	1960	Cambisol	éutrico	Regosol	éutrico		
60395800	94940.5	51337	51337	Rd+Bd/2/L	B	2423	Regosol	districo	Cambisol	districo		
49601100	78672.102	51345	51345	Hh+V2/L	C	2102	Feozem	háptico	Litosol			
8399360	24219	51366	51366	Hh+V3/L	C	2103	Feozem	háptico	Litosol			
15627200	41707.602	51405	51405	l+Hh/2	B	2182	Litosol		Feozem	háptico		
3282660	8056.98	51412	51412	l+Re/1	B	2198	Litosol		Regosol	éutrico		
27204600	47150.301	51418	51418	Re+Hh/2/L	B	2451	Regosol	éutrico	Feozem	háptico		
12393600	26060.301	51419	51419	Hh/3/P	C	2145	Feozem	háptico				
11347300	23909.199	51421	51421	Ao+Lo/3/LP	D	1901	Acrisol	órtico	Luvisol	crómico		
15729600	34096.602	51424	51424	Hh+Hh/3/L	C	2154	Feozem	lúvico	Feozem	háptico		
3918350	13434.3	51463	51463	Hh/3/L	C	2145	Feozem	háptico				
26185700	62288.5	51503	51503	Hh+V3/L	C	2103	Feozem	háptico	Litosol			
5423100	11967.8	51504	51504	Rd/2/L	B	2431	Reosol	districo				

Figura 6.6.9 Grupo hidrológico asignado a los polígonos del suelo

Una vez reclasificados los tipos de suelo, se elige del Editor, *Stop Editing* y se salvan los cambios realizados en la tabla de atributos.

Lo siguiente es interceptar los temas de grupo hidrológico y de uso de suelo, para realizarlo se selecciona de ArcToolbox la opción *Analysis Tools, Overlay* e *Intersect*. En la ventana que aparece se seleccionan como archivos de entrada el tema que contiene el grupo hidrológico del suelo, *edafarm.shp* y los polígonos con los que serán interceptados que son los del *usodesueloarm.shp*, se nombra como *CNArmería.shp* e indica la ubicación del archivo como se muestra en la Figura 6.6.10.

La tabla de atributos del tema resultante se observa en la Figura 6.6.11.

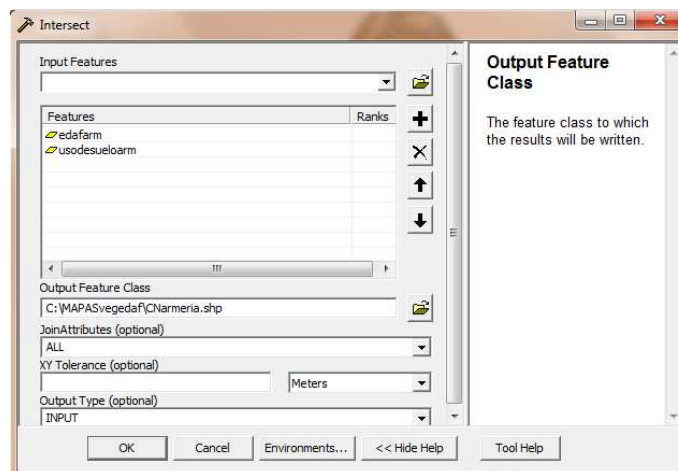


Figura 6.6.10 Intersección de los temas de edafología y uso de suelo

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

FID	Shape *	Gpo_Hidro	TIPOS	FID_edafar	AREA	PERIMETER	CLAVE	EDAMEX250	EDAMEX2501	FC	NOM_SUE1	LAYER
0	Polygon	B	Bosque de Encino	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
1	Polygon	B	Bosque de Pino	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
2	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
3	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
4	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
5	Polygon	B	Bosque de Pino	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
6	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
7	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
8	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
9	Polygon	B	Matorral Crasicaule	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol	Unknown Area Typ
10	Polygon	C	Bosque de Encino	1	14848500	18984.5	Hh+H+Be/2/L	50873	50873	2096	Feozem	Unknown Area Typ
11	Polygon	D	Bosque de Encino	2	6374970	18618.6	Be+Re/2/L	50895	50895	1960	Cambisol	Unknown Area Typ
12	Polygon	B	Bosque de Encino	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol	Unknown Area Typ
13	Polygon	B	Bosque de Pino	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol	Unknown Area Typ
14	Polygon	D	Bosque de Pino	4	2893200	9143.1201	Lo+Re/3/L	51037	51037	2338	Luvisol	Unknown Area Typ
15	Polygon	D	Bosque de Encino	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol	Unknown Area Typ
16	Polygon	D	Bosque de Pino	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol	Unknown Area Typ
17	Polygon	D	Agricultura de Temporal	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol	Unknown Area Typ
18	Polygon	D	Pastizal Cultivado	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol	Unknown Area Typ
19	Polygon	B	Bosque de Encino	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol	Unknown Area Typ
20	Polygon	B	Agricultura de Temporal	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol	Unknown Area Typ
21	Polygon	B	Pastizal Cultivado	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol	Unknown Area Typ
22	Polygon	C	Bosque de Encino	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem	Unknown Area Typ
23	Polygon	C	Bosque de Pino	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem	Unknown Area Typ

Figura 6.6.11 Tabla de atributos del tema CNarmeria.shp, al interceptar los temas de tipo y uso de suelo

6.6.2. ASIGNACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

Los números de curva se determinan a partir del grupo hidrológico al que pertenece el suelo, la cubierta vegetal y la pendiente del terreno. En la bibliografía se encuentran diversas tablas de número de curva, en este trabajo se consultaron varias publicaciones, con la diferencia de que las definiciones en el Uso de suelo son las que se utilizan en los mapas publicados por el INEGI (Tabla 3.1.2).

Se agrega una columna denominada CN en la tabla de atributos que resulta de la intercepción del tipo y uso de suelo, es decir del tema CNarmeria.shp como se observa en la Figura 6.6.12.

Se seleccionan las columnas *Gpo_Hidro* y *Tipos* y dando click con el botón derecho se selecciona la opción para ordenar los datos en orden descendente con el fin de agilizar la introducción del NC. Esta ventana se muestra en la Figura 6.6.13.

FID	Shape	Gpo_Hidro	TIPOS	CN	FID_edafar	AREA	PERIMETER	CLAVE	EDAMEX250	EDAMEX2501	FC	NOM_SUE1
0	Polygon	B	Bosque de Encino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
1	Polygon	B	Bosque de Pino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
2	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
3	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
4	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
5	Polygon	B	Bosque de Pino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
6	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
7	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
8	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
9	Polygon	B	Matorral Crasicaule	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
10	Polygon	C	Bosque de Encino	0	1	14848500	18984.5	Hh+Be/2/L	50873	50873	2096	Feozem
11	Polygon	D	Bosque de Encino	0	2	6374970	18618.6	Be+Re/2/L	50895	50895	1960	Cambisol
12	Polygon	B	Bosque de Encino	0	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol
13	Polygon	B	Bosque de Pino	0	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol
14	Polygon	D	Bosque de Pino	0	4	2893200	9143.1201	Lo+Re/3/L	51037	51037	2338	Luvisol
15	Polygon	D	Bosque de Encino	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
16	Polygon	D	Bosque de Pino	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
17	Polygon	D	Agricultura de Temporal	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
18	Polygon	D	Pastizal Cultivado	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
19	Polygon	B	Bosque de Encino	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
20	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
21	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
22	Polygon	C	Bosque de Encino	0	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem
23	Polygon	C	Bosque de Pino	0	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem

Figura 6.6.12 Se agrega una nueva columna al tema CNarmeria

FID	Shape	Gpo_Hidro	TIPOS	CN	FID_edafar	AREA	PERIMETER	CLAVE	EDAMEX250	EDAMEX2501	FC	NOM_SUE1
0	Polygon	B	Bosque de Encino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
1	Polygon	B	Bosque de Pino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
2	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
3	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
4	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
5	Polygon	B	Bosque de Pino	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
6	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
7	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
8	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
9	Polygon	B	Matorral Crasicaule	0	0	514809980	446389	Re+V2/L	50549	50549	2462	Regosol
10	Polygon	C	Bosque de Encino	0	1	14848500	18984.5	Hh+Be/2/L	50873	50873	2096	Feozem
11	Polygon	D	Bosque de Encino	0	2	6374970	18618.6	Be+Re/2/L	50895	50895	1960	Cambisol
12	Polygon	B	Bosque de Encino	0	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol
13	Polygon	B	Bosque de Pino	0	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L	51000	51000	2422	Regosol
14	Polygon	D	Bosque de Pino	0	4	2893200	9143.1201	Lo+Re/3/L	51037	51037	2338	Luvisol
15	Polygon	D	Bosque de Encino	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
16	Polygon	D	Bosque de Pino	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
17	Polygon	D	Agricultura de Temporal	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
18	Polygon	D	Pastizal Cultivado	0	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L	51054	51054	1960	Cambisol
19	Polygon	B	Bosque de Encino	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
20	Polygon	B	Agricultura de Temporal	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
21	Polygon	B	Pastizal Cultivado	0	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L	51066	51066	2440	Regosol
22	Polygon	C	Bosque de Encino	0	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem
23	Polygon	C	Bosque de Pino	0	7	4769990	12275.5	Hh+Be+V2/L	51073	51073	2081	Feozem

Figura 6.6.13 Ordenar Gpo_Hidro y Tipos en orden descendente

Ordenados los datos se prosigue a seleccionar parejas de datos como por ejemplo el mostrado en la Figura 3.1.1, donde se seleccionan los renglones que pertenecen al grupo hidrológico A y que tienen la cobertura de Agricultura de Riego. Para ello se selecciona de la tabla de atributos Options y después Select by Attributes, en el área de condiciones se empleará AND como se observa en la Figura 6.6.14.

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

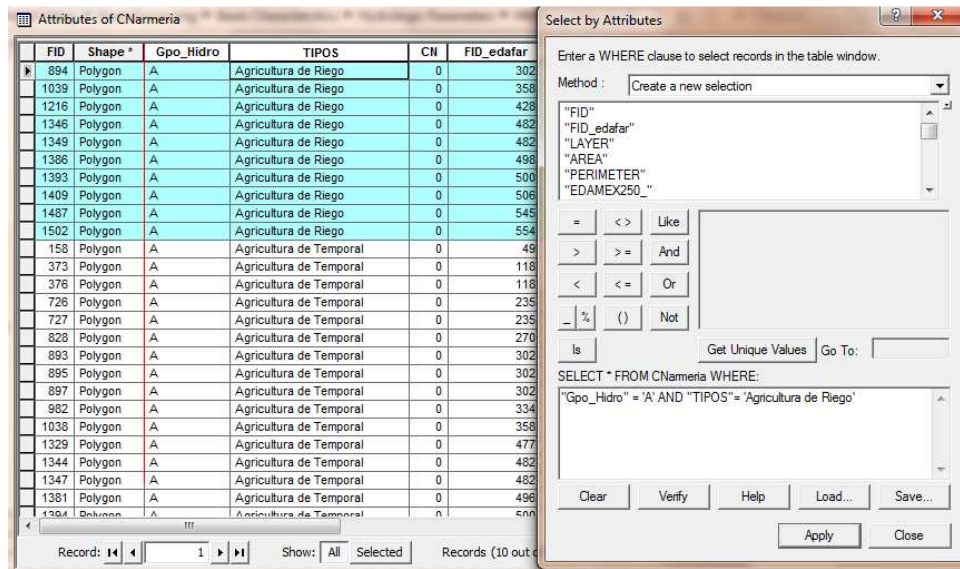


Figura 6.6.14 Selección de los suelos del grupo hidrológico A con cobertura de Agricultura de Riego

Para asignar el valor del número de curva (CN) que le corresponde, se toma el valor de acuerdo con la Tabla 3.1.2. De la tabla de atributos de *CNArmeria.shp*, se da click en el encabezado CN y se selecciona la opción *Field Calculator*, en la ventana se da el valor obtenido de la tabla de acuerdo con la condición dada y OK (Figura 6.6.15).

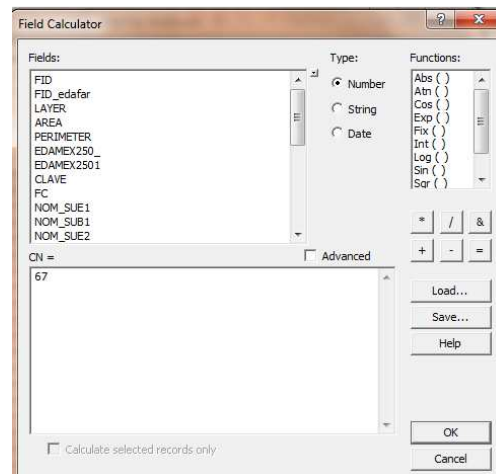


Figura 6.6.15 Asignación del número de curva

La tabla resultante muestra los valores asignados a los polígonos seleccionados en el paso anterior (Figura 6.6.16). Se realiza el mismo procedimiento hasta dar valores a cada una de las celdas y se salvan los cambios.

FID	Shape *	Gpo_Hidro	TIPOS	CN	FID_edafar	AREA	PERIMETER	CLAVE	EDAMEX250	EDAME
0	Polygon	B	Bosque de Encino	60	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
1	Polygon	B	Bosque de Pino	60	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
2	Polygon	B	Agricultura de Temporal	71	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
3	Polygon	B	Pastizal Cultivado	69	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
4	Polygon	B	Pastizal Cultivado	69	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
5	Polygon	B	Bosque de Pino	60	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
6	Polygon	B	Agricultura de Temporal	71	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
7	Polygon	B	Agricultura de Temporal	71	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
8	Polygon	B	Pastizal Cultivado	69	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
9	Polygon	B	Matorral Crasicaule	58	0	514809980	446389	Re+I/2/L		50549
10	Polygon	C	Bosque de Encino	73	1	14848500	18984.5	Hh+I+Be/2/L		50873
11	Polygon	D	Bosque de Encino	79	2	6374970	18618.6	Be+Re/2/L		50895
12	Polygon	B	Bosque de Encino	60	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L		51000
13	Polygon	B	Bosque de Pino	60	3	11482600	18461.4	Rd+Bd+Ao/2/L		51000
14	Polygon	D	Bosque de Pino	79	4	2893200	9143.1201	Lo+Re/3/L		51037
15	Polygon	D	Bosque de Encino	79	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L		51054
16	Polygon	D	Bosque de Pino	79	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L		51054
17	Polygon	D	Agricultura de Temporal	81	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L		51054
18	Polygon	D	Pastizal Cultivado	84	5	8380770	24280.699	Be+Re/2/L		51054
19	Polygon	B	Bosque de Encino	60	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L		51066
20	Polygon	B	Agricultura de Temporal	71	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L		51066
21	Polygon	B	Pastizal Cultivado	69	6	5062640	13285.6	Re+Be/2/L		51066
22	Polygon	C	Bosque de Encino	73	7	4769990	12275.5	Hh+Be+I/2/L		51073
23	Polygon	C	Bosque de Pino	73	7	4769990	12275.5	Hh+Be+I/2/L		51073
24	Polygon	C	Agricultura de Temporal	78	7	4769990	12275.5	Hh+Be+I/2/L		51073
25	Polygon	C	Pastizal Cultivado	70	7	4769990	12275.5	Hh+Be+I/2/L		51073

Figura 6.6.16 Tabla resultante de asignar el número de curva

Para finalizar y obtener la tabla que se utilizará en el MPE se realiza la intersección de los temas donde se asigna el número de curva (*CNarmeria*) con el de *ModClark2k_Project*. Para ello en Arc Toolbox se selecciona la opción *Analysis Tools, Overlay* e *Intersect* como se observa en la Figura 6.6.17. Se da el nombre de salida (*CNarmeria_Intersect*) y ubicación del directorio donde se desea guardar. La tabla de atributos resultante se muestra en la Figura 6.6.18.

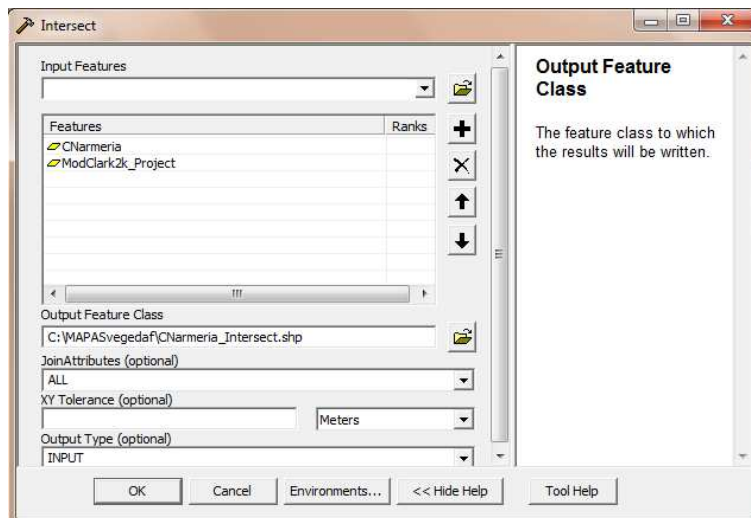


Figura 6.6.17 Intersección de los temas *CNarmeria* y *ModClark2k_Project*

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

CELL_X	CELL_Y	MOD_AREA	FLOWLENG	CN	FID	CLAVE	Shape	TIPOS	FID_CNarme	FID_edafar
-465	-140	0.919409	238.925141	60	2737	Re+V2/L	Polygon	Bosque de Encino	398	126
-465	-140	0.919409	238.925141	36	3497	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Pino	518	168
-465	-139	0.163899	237.645766	36	3502	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Pino	518	168
-465	-140	0.919409	238.925141	25	3523	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Encino	519	168
-465	-140	0.919409	238.925141	49	3532	Th+Ao/2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	520	168
-464	-138	3.006578	234.298047	60	2667	Re+V2/L	Polygon	Bosque de Pino	397	126
-464	-137	0.175391	235.245281	60	2668	Re+V2/L	Polygon	Bosque de Pino	397	126
-464	-141	0.792897	241.123297	60	2735	Re+V2/L	Polygon	Bosque de Encino	398	126
-464	-140	3.819617	239.318313	60	2738	Re+V2/L	Polygon	Bosque de Encino	398	126
-464	-139	3.733262	236.646719	69	2739	Re+V2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	399	126
-464	-138	3.006578	234.298047	69	2740	Re+V2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	399	126
-464	-137	0.175391	235.245281	69	2741	Re+V2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	399	126
-464	-140	3.819617	239.318313	36	3498	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Pino	518	168
-464	-139	3.733262	236.646719	36	3503	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Pino	518	168
-464	-141	0.792897	241.123297	25	3521	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Encino	519	168
-464	-140	3.819617	239.318313	25	3524	Th+Ao/2/L	Polygon	Bosque de Encino	519	168
-464	-141	0.792897	241.123297	49	3530	Th+Ao/2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	520	168
-464	-140	3.819617	239.318313	49	3533	Th+Ao/2/L	Polygon	Pastizal Cultivado	520	168

Figura 6.6.18 Tabla de atributos, resultado de la intersección de los temas CNarmeria y ModClark2k_Project

De la tabla de atributos resultante en la intersección anterior, son agrupadas las variables CELL_X, CELL_Y, MOD_AREA, FLOWLENGTH y CN, los cuales van a ser exportados a una tabla de Excel y ser posteriormente utilizados en el programa MPE. Para exportar los campos, se hace uso de la barra de herramientas Xtools Pro 7.1, Table Operations y Export Data to MS Excel (Figura 6.6.19).

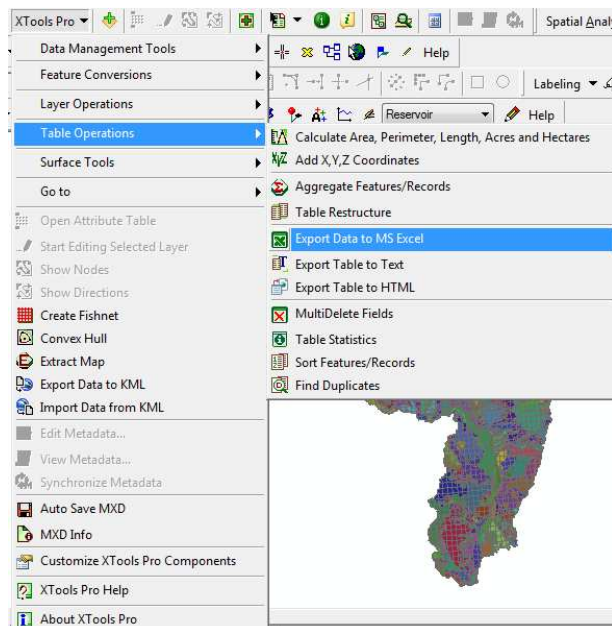


Figura 6.6.19 Menú de opciones de Xtools Pro 7.1

En la ventana mostrada en la Figura 6.6.20 se seleccionan los campos requeridos y OK.

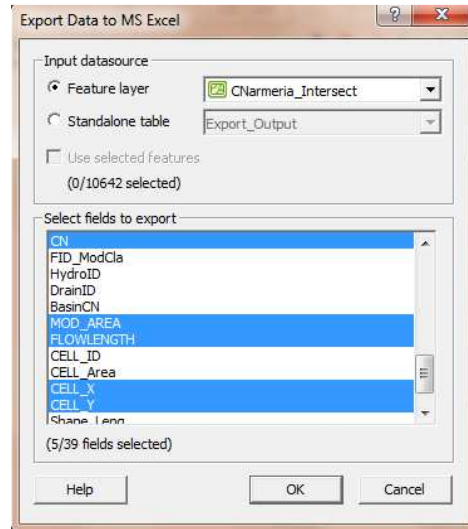


Figura 6.6.20 Campos que se exportarán a Excel

El resultado de la exportación de datos aparece en las columnas en el orden como fueron seleccionados, es decir *CN*, *MOD_AREA*, *FLOWLENGTH*, *CELL_X* y *CELL_Y*. Dado que el acomodo de los campos Modelo para Pronóstico de Escurremientos (MPE) debe de ser *CELL_X*, *CELL_Y*, *MOD_AREA*, *FLOWLENGTH* y *CN*, es necesario editar la tabla, es decir, para ello se utiliza Excel (Figura 6.6.21 a y b). Se guarda el archivo en el directorio del trabajo o proyecto de estudio y se nombra como *ModClarkCNmix.xlsx*.

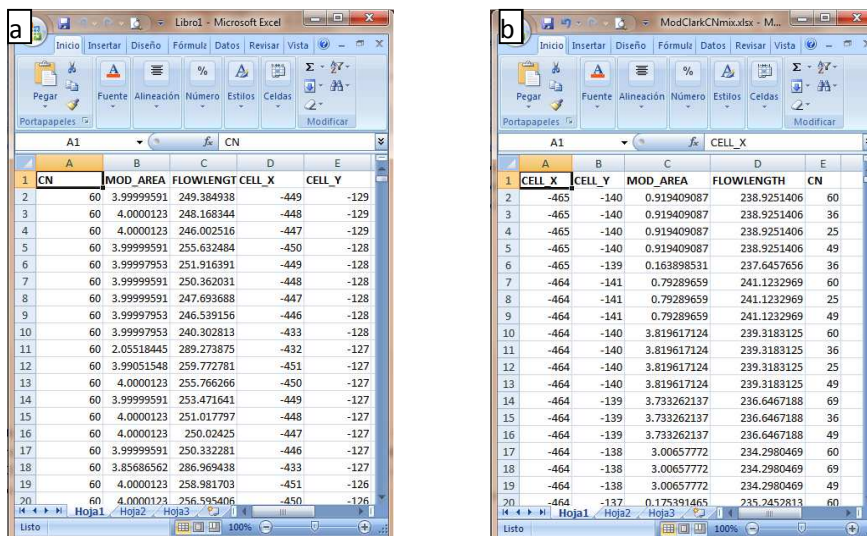


Figura 6.6.21 Exportación de datos a Excel a) Original b) En el orden requerido para el MPE

6. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

Finalmente, se exporta esta última tabla a un formato de texto (.txt), esta será la tabla requerida por el programa MPE. En Excel, se selecciona *Guardar como* y *Otros formatos*. En la ventana que aparece se selecciona *Tipo*, después *Texto (Delimitado por tabulaciones) (*.txt)*, se elige el nombre (*ModClarkCNmix.txt*) y ubicación del nuevo archivo (Figura 6.6.22).

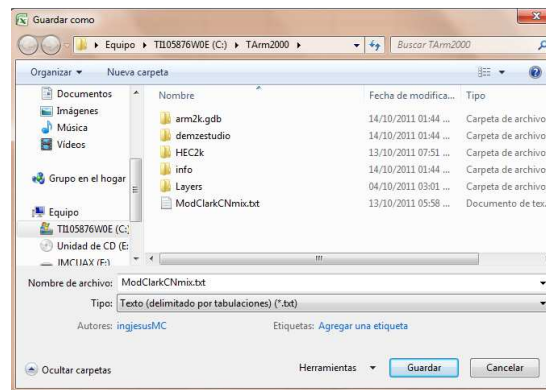
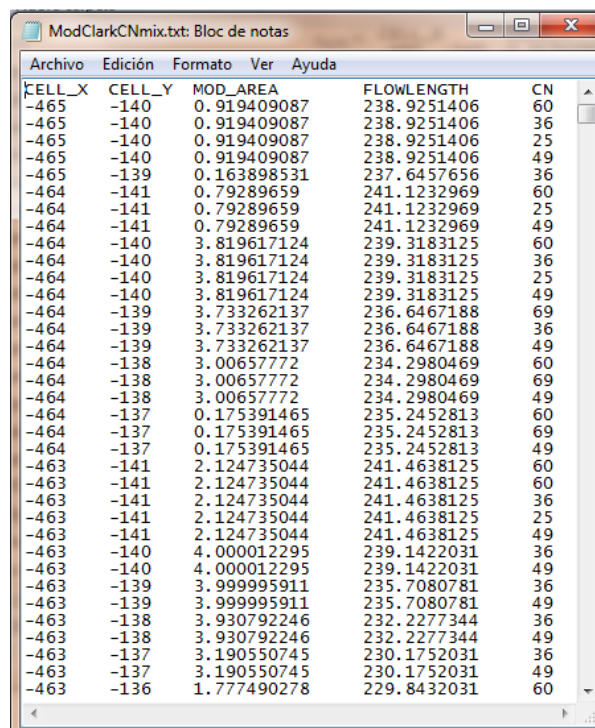


Figura 6.6.22 Cambiar formato a .txt

La tabla exportada en formato .txt con la que hará el cálculo el MPE se muestra en la Figura 6.6.23.



CELL_X	CELL_Y	MOD_AREA	FLOWLENGTH	CN
-465	-140	0.919409087	238.9251406	60
-465	-140	0.919409087	238.9251406	36
-465	-140	0.919409087	238.9251406	25
-465	-140	0.919409087	238.9251406	49
-465	-139	0.163898531	237.6457656	36
-464	-141	0.79289659	241.1232969	60
-464	-141	0.79289659	241.1232969	25
-464	-141	0.79289659	241.1232969	49
-464	-140	3.819617124	239.3183125	60
-464	-140	3.819617124	239.3183125	36
-464	-140	3.819617124	239.3183125	25
-464	-140	3.819617124	239.3183125	49
-464	-139	3.733262137	236.6467188	69
-464	-139	3.733262137	236.6467188	36
-464	-139	3.733262137	236.6467188	49
-464	-138	3.00657772	234.2980469	60
-464	-138	3.00657772	234.2980469	69
-464	-138	3.00657772	234.2980469	49
-464	-137	0.175391465	235.2452813	60
-464	-137	0.175391465	235.2452813	69
-464	-137	0.175391465	235.2452813	49
-463	-141	2.124735044	241.4638125	60
-463	-141	2.124735044	241.4638125	60
-463	-141	2.124735044	241.4638125	25
-463	-141	2.124735044	241.4638125	49
-463	-140	4.000012295	239.1422031	36
-463	-140	4.000012295	239.1422031	49
-463	-139	3.999995911	235.7080781	36
-463	-139	3.999995911	235.7080781	49
-463	-138	3.930792246	232.2277344	36
-463	-138	3.930792246	232.2277344	49
-463	-137	3.190550745	230.1752031	36
-463	-137	3.190550745	230.1752031	49
-463	-136	1.777490278	229.8432031	60

Figura 6.6.23 Archivo ModClarkCNmix.txt

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

El programa de Modelo para Pronóstico de Esgurrimiento (MPE) pronostica esgurrimientos mediante un modelo de Parámetros Distribuidos. Éste programa se aplica a la cuenca del Río Armería, cuya área de cobertura comprende los Estados de Colima y Jalisco. En general, la información de lluvias requerida por el MPE, fue obtenida a partir de las 37 estaciones climatológicas y la información de registros hidrométricos se obtuvo de dos estaciones hidrométricas (Coliman y Peñitas II), todas estas estaciones distribuidas dentro de la cuenca.

Para la aplicación del programa MPE, se consideró el evento extremo del 27 de enero de 1992, donde se presentó un gasto medio máximo de **3, 666.09 m³/s** y un gasto instantáneo de **4, 384.00 m³/s** de acuerdo con lo registrado por la estación hidrométrica Coliman (clave 16032). Tanto para lluvias como para gastos, se consideraron datos cinco días antes y cinco días después de la fecha en que ocurrió dicho evento. Por lo que con esta información se corre y calibra el modelo.

Una vez calibrado el modelo, se hace la réplica para obtener el gasto correspondiente a un precipitación media en la cuenca de 196.384 mm correspondiente a un Tr de 100 años, el cual se compara con el obtenido para el mismo periodo de retorno, utilizando la información hidrométrica.

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

7.1. DATOS DE ENTRADA DEL MPE

Los datos iniciales son los siguientes:

- ✓ Fecha de análisis: 22 de enero al 01 de febrero de 1992
- ✓ ΔT de 24 hrs, en minutos.
- ✓ El archivo con el registro de lluvia en formato de texto, Lluvia_armeria2.txt (Figura 7.1.1).
- ✓ El archivo de celdas Clark.txt (Figura 7.1.2).
- ✓ Archivo de escurrimientos medidos, Gasto_arm.txt. (Figura 7.1.3)

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00	T_08:00
x	y				0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4	0
629555.4021	2138172.395				0	0	0	67.3	123.3	16	15.5	0	0	20	0	0
624403.1298	2123379.77				0	0	0	67.5	140.2	11.1	2.3	11.4	0	16.9	1.2	0
624352.927	2130757.716				0	0	0	123	1	9.2	2.5	0	0	21.5	1.5	0
634985.2079	2114231.578	0.2			35	0	0	46.8	115.9	12.3	2.1	8.2	0	21.8	1.7	0
619229.8603	2110433.709				0	0	0	65.5	117.3	11.3	4.5	23.5	4.5	0	0	5.8
617593.3486	2091978.373				0	0	0	47	62	87	3	11	0	0	4	0
629581.674	2134483.336				0	0	0	80.6	120.2	18.5	0	17.4	0	22.4	1	0
617417.4086	2119644.61				0	0	0	62	174	13	0	6	0	18	0	0
554303.4455	2126726.25				0	0	0	50	120	14	15	3	2	25	2	0
610228.0068	2149112.024	0.5			30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
620874.066	2127045.23				0	0	0	35	69	0	4	1	17.5	0	0	0
578314.3045	2243013.171				0	4	0	32	91	6	0	0	0	0	7.8	0
634548.5484	1631048.906				0	0.7	0	22.5	70	0.5	0	0	0	4.5	0.5	0
573385.5593	2172901.816				0	0.5	0	23	0	0	0	0	0	3.5	0	1.5
575039.3508	2195041.806				0	0	0	48	80	2.3	31.7	0	0	10	0	0
571474.0188	2213471.536				0	0	0	1.7	27.7	84.1	0	0	0	0.4	0	1.7
629061.4988	2206422.323				0	0	0.9	53.9	85.4	0.4	0	0	0.2	0	5.8	0
599252.3415	2233897.698				0	1.8	0	20.5	91	0	0	0	0	4.4	2	0
613339.1346	2167589.796				0	3.5	0	26	91.5	0	0	0	0	7	6	0
615382.8763	2163900.77				0	0	0	27.5	68	4.2	0	1.5	0	0	0	0
562677.6931	2235571.346				0	0	0	25	65	0	1	0	0	7.5	0	0
606597.0831	2171224.595				0	0	0	28.6	68.2	0	0.5	1.2	0	3.6	0	0
625886.3114	2162126.738				0	0	0									

Figura 7.1.1 Archivo de registro de lluvias (Lluvias_armeria2.txt)

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	CELL_X	CELL_Y	MOD_AREA	FLOWLENGTH	CN
465	140	0.30166			238.9251406	60			
465	140	0.200117			238.9251406	36			
465	140	0.337111			238.9251406	25			
465	140	0.079816898			238.9251406	49			
465	139	0.163773			237.6457656	36			
464	141	0.0100167			241.1232969	60			
464	141	0.546979			241.1232969	25			
464	141	0.235293			241.1232969	49			
464	140	0.021581301			239.3183125	60			
464	140	0.190561			239.3183125	36			
464	140	0.984326			239.3183125	25			
464	140	2.62023			239.3183125	49			
464	139	0.089734602			236.6467188	69			
464	139	1.01867			236.6467188	36			
464	139	2.62204			236.6467188	49			
464	138	0.00369726			234.2980469	60			
464	138	1.31193			234.2980469	69			
464	138	1.68868			234.2980469	49			
464	137	0.020561801			235.2452813	60			
464	137	0.134049			235.2452813	69			
464	137	0.020648801			235.2452813	49			
463	141	0.00671733			241.4638125	60			
463	141	0.073749398			241.4638125	60			
463	141	0.539916			241.4638125	36			
463	141	0.960319			241.4638125	25			
463	141	0.542398			241.4638125	49			
463	140	0.221508			239.1422031	36			
463	140	3.77549			239.1422031	49			
463	139	1.16606			235.7080781	36			
463	139	2.83092			235.7080781	49			
463	138	3.30014			232.2277344	36			
463	138	0.6277			232.2277344	49			
463	137	2.98217			230.1752031	36			
463	137	0.205962			230.1752031	49			
463	136	0.354613			229.8432031	60			
463	136	0.00616069			0	60			
463	136	0.032531			229.8432031	69			
463	136	0.00367338			0	60			
463	136	0.879521			229.8432031	36			
463	136	0.509475			229.8432031	49			
463	135	0.00343631			229.3498594	60			
463	135	0.00444651			229.3498594	60			
462	144	0.0039917			228.3115469	60			
462	144	0.451552			228.3115469	60			

Figura 7.1.2 Archivo de celdas para el modelo de Clark (Clark.txt)

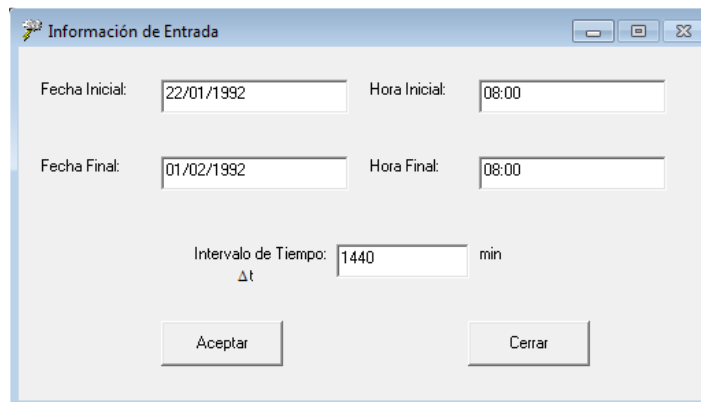
7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)



horas	Qtot	Qdirecto	Qbase
08:00	0	174.2309	0
08:00	0	150.8979	0
08:00	0	137.3438	0
08:00	0	155.825	0
08:00	0	2825.012	0
08:00	0	3666.088	0
08:00	0	1363.97	0
08:00	0	861.3421	0
08:00	0	631.4167	0
08:00	0	491	0
08:00	0	530.9583	0

Figura 7.1.3 Archivo de escurrimientos medidos (Gasto_arm.txt)

En la barra de menú del programa MPE aparece la opción *información*, en la que se ingresan los datos de entrada: fechas e intervalo de tiempo (Figura 7.1.4). Además, se incluyen los archivos de lluvia y de celdas generadas con ArcGIS, esta ventana se observa en la Figura 7.1.5



Información de Entrada

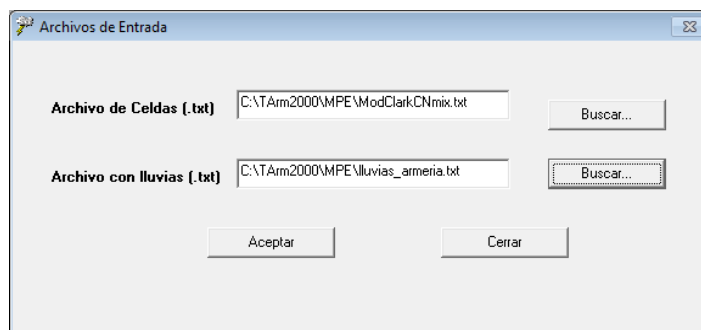
Fecha Inicial: 22/01/1992 Hora Inicial: 08:00

Fecha Final: 01/02/1992 Hora Final: 08:00

Intervalo de Tiempo: 1440 min
 Δt

Aceptar Cerrar

Figura 7.1.4 Información de entrada del MPE (Fechas e intervalo de tiempo)



Archivos de Entrada

Archivo de Celdas (.txt) C:\TArm2000\MPE\ModClarkCNmix.txt Buscar...

Archivo con lluvias (.txt) C:\TArm2000\MPE\lluvias_armeria.txt Buscar...

Aceptar Cerrar

Figura 7.1.5 Ingreso de archivos de texto (lluvia y celdas)

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

7.2. OBTENCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA

La precipitación media se obtiene seleccionando del menú de *Precipitación* la opción *Precipitación Media*. La ventana que se despliega (Figura 7.2.1) se da *click* en *Calcular*, con lo que se complementan las columnas de hora y lluvia. En la parte derecha también aparecen los valores de *Área de cuenca* y *Precipitación de la lluvia*. Una forma de comprobar que la información introducida fue correcta, es verificando el área de la cuenca, esto asegura también que el programa leyó bien el archivo de celdas. La precipitación media obtenida con el MPE es de 137.50 mm y el área de la cuenca es de 9, 665.285 km².

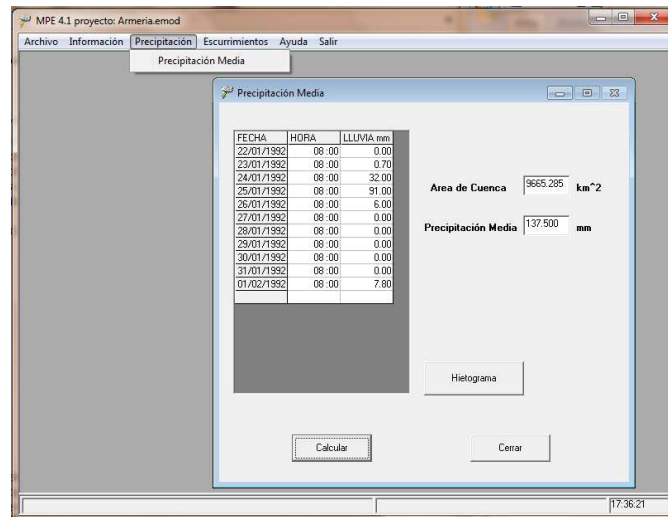


Figura 7.2.1 Precipitación media de la cuenca del Río Armería

El hietograma de la cuenca del río Armería se puede graficar dando *click* en el botón *Hietograma* encontrado en la ventana de *Precipitación Media* (Figura 7.2.2)

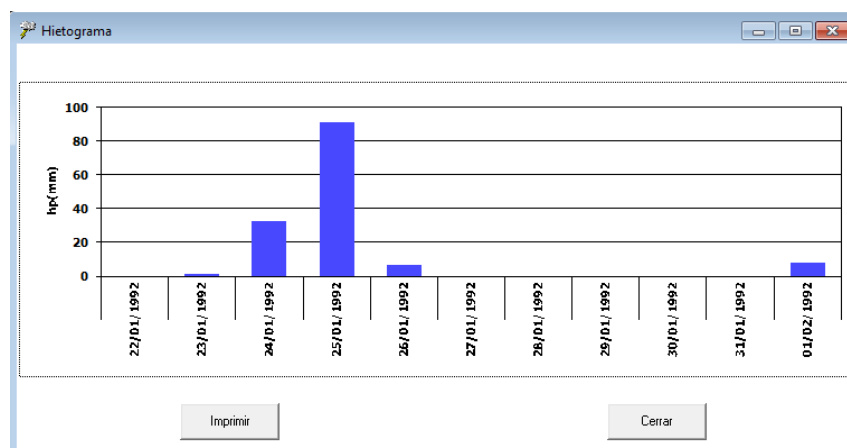


Figura 7.2.2 Hietograma de la cuenca Armería

7.3. ESCURRIMIENTOS

Dentro del menú del MPE está la opción de *Escurremientos*, en la que se introduce la información del *Escurreimiento Observado* para lo cual se tienen dos opciones, la primera es para introducir datos manualmente y la segunda es ingresando una tabla realizada en formato de texto. Si se opta por el ingreso de una tabla, se debe tomar en cuenta el orden de las columnas, hora, gasto total, gasto directo y gasto base como se observa en la Figura 7.3.1.

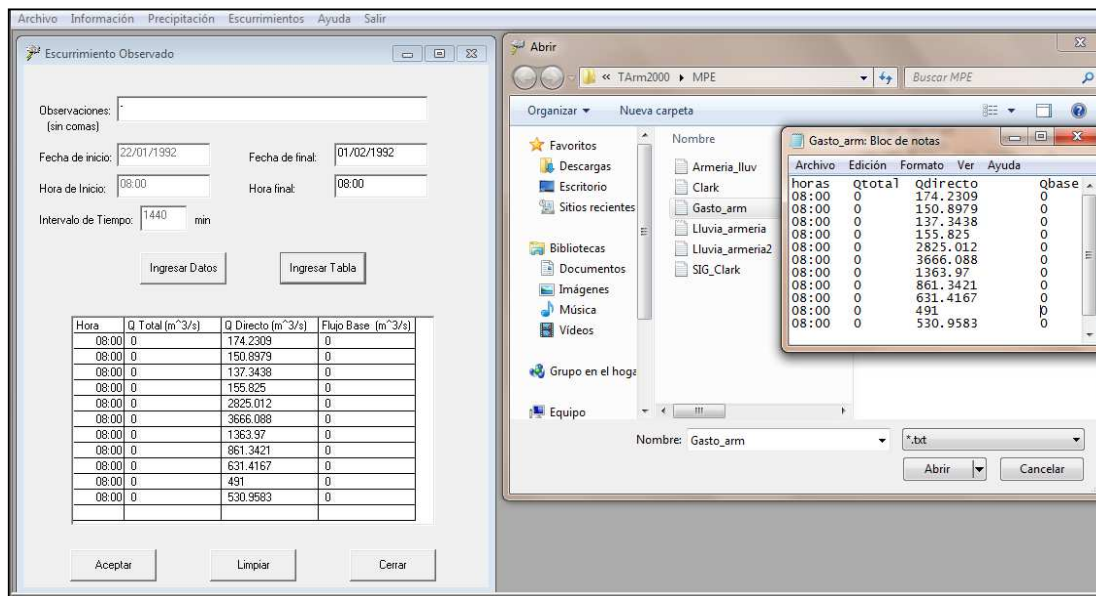


Figura 7.3.1 Escurreimientos observados, MPE

Una vez introducida la información, se procede a generar el hidrograma como se muestra en la Figura 7.3.2.

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

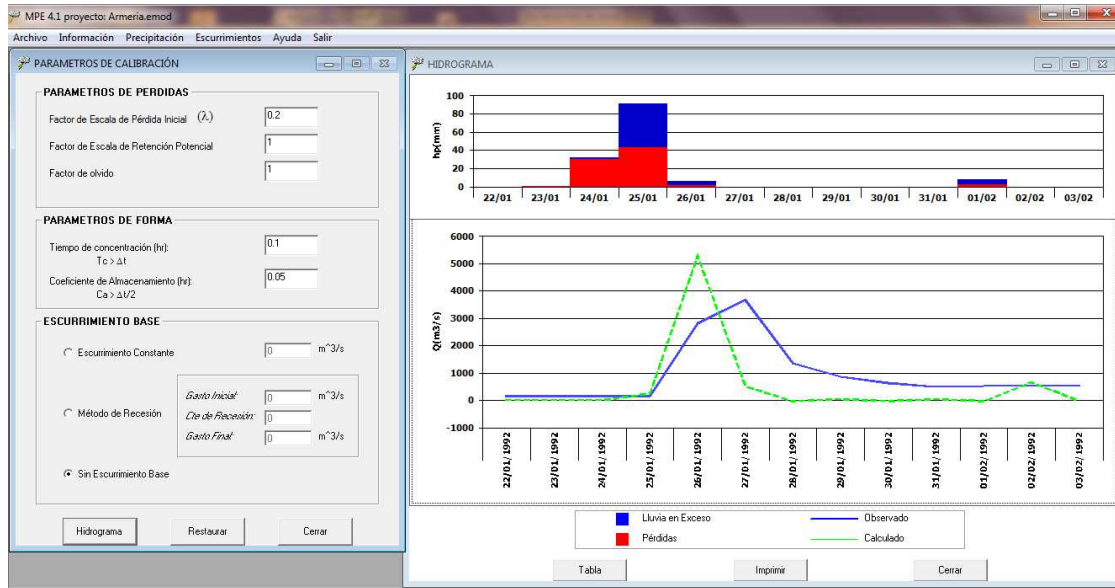


Figura 7.3.2 Primera aproximación de ajuste, MPE

Dado que el hidrograma calculado presenta diferencias respecto al hidrograma medido, se tendrá que realizar la calibración del modelo cuyo procedimiento se presenta enseguida.

7.4. CALIBRACIÓN DEL MPE

Para calibrar el modelo, de tal manera que el Hidrograma calculado sea lo más parecido con el observado, se selecciona la opción Hidrograma, dentro del menú *Ecurrimiento*, ahí se encuentran los parámetros de calibración de forma y pérdida que son los que se tendrán que modificar (Figura 7.4.2 y Figura 7.4.3).

Para calibrar el modelo se acostumbra inicialmente, cambiar los parámetros de forma donde el tiempo de concentración (T_c) se calcula con la fórmula de Kirpich. Mientras que el coeficiente de atenuación de almacenamiento se calcula como $k = 0.6T_c$.

$$L = 291065.839 \text{ m}$$

$$= 291.065839 \text{ km}$$

$$S = 0.0004400 \text{ m/m}$$

$$\text{Tiempo de concentración}$$

$$T_c = 102.666163 \text{ h}$$

$$\text{Coef. Almacenamiento}$$

$$k = 61.599698$$

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

El resultado de esta primera aproximación se muestra en la Figura 7.4.1.

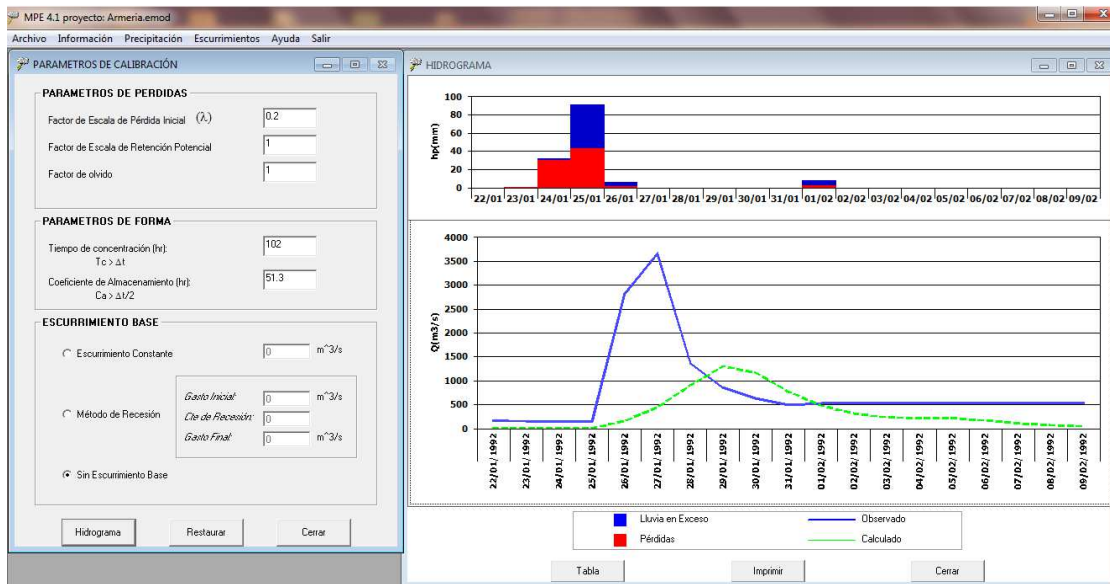


Figura 7.4.1 Segunda aproximación, utilizando el tiempo de concentración (kirpich)

Como se puede observar en la figura anterior, al considerar el tiempo de concentración de 102.666 h, el hidrograma calculado no se parece al hidrograma medido, por lo que se emplea una segunda aproximación, reduciendo el tiempo de concentración y el coeficiente de almacenamiento, con los valores se presentan en la Figura 7.4.2.

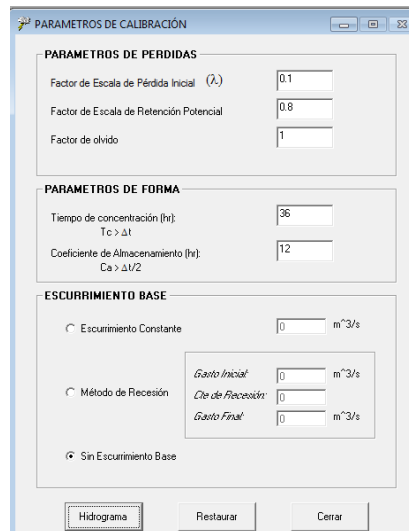


Figura 7.4.2 Parámetros de calibración 2ª aproximación

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

Con estos parámetros se logra que los hidrogramas calculado y observado sean bastante parecidos, por lo que los datos de ajuste propuestos proporcionan un excelente resultado, haciendo que el modelo quede ajustado. (Figura 7.4.3).

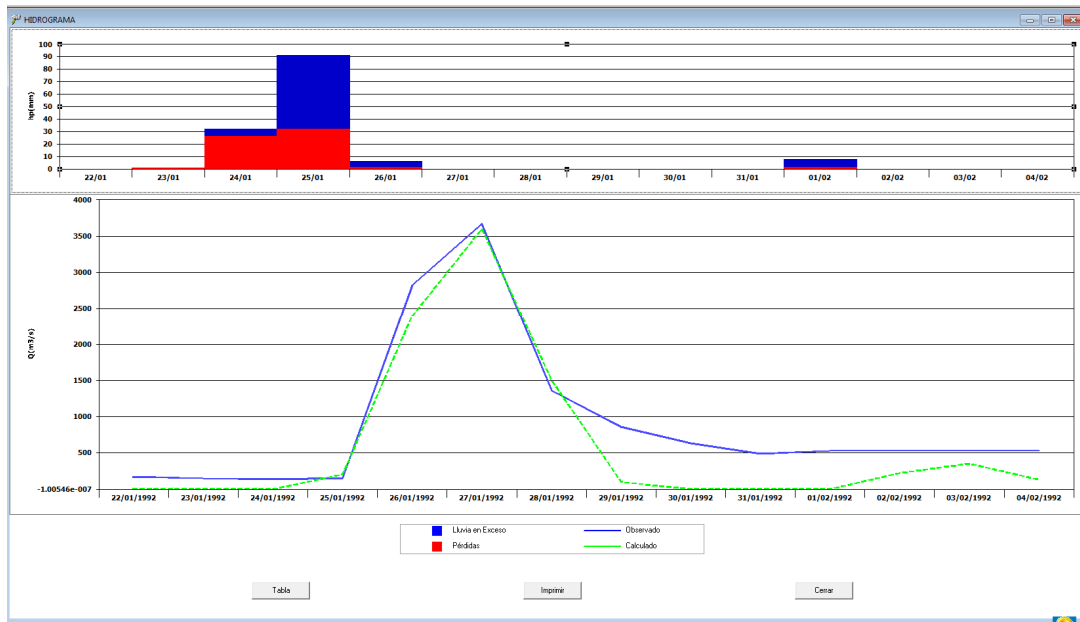


Figura 7.4.3 Hidrograma calibrado

La tabla datos del hidrograma calculado (calibrado) se presenta en la Figura 7.4.4. Mientras que la tabla resumen muestra en la Figura 7.4.5

Hidrograma

Proyecto:

Fecha Inicial de lluvia: 22/01/1992

Fecha final de lluvia: 01/02/1992

Fecha	Hora	Precip (mm)	Pérdidas(mm)	Exceso(mm)	Q Directo(m ³ /s)	Q Base m
22/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23/01/1992	08:00	0.70	0.70	0.00	0.00	
24/01/1992	08:00	32.00	26.21	5.79	0.00	
25/01/1992	08:00	91.00	31.79	59.21	202.80	
26/01/1992	08:00	6.00	1.20	4.80	2397.56	
27/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	3600.62	
28/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	1506.41	
29/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	100.55	
30/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	
31/01/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	
01/02/1992	08:00	7.80	1.48	6.32	0.00	
02/02/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	221.11
03/02/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	363.72
04/02/1992	08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	132.61

Guardar tabla... Cerrar

Figura 7.4.4 Resultados del hidrograma calibrado

The screenshot shows a software window titled 'TABLA RESUMEN'. It contains several input fields and tables. At the top, there is a text box for 'Observaciones: (sin comas)'. Below it, a section titled 'Lluvia' contains four rows of data: 'Area de cuenca' (9665.285 km²), 'Lluvia media' (137.500 mm), 'Pérdidas' (61.379 mm), and 'Lluvia en Exceso' (76.121 mm). A section titled 'Volumen Escurrido' contains two tables. The first table compares 'Observado' and 'Calculado' values for 'Total', 'Directo', and 'Base' flows, all in Mm3. The second table compares 'Observado' and 'Calculado' values for 'Qmáximo' in m3/s. At the bottom, there are three buttons: 'Aceptar', 'Guardar tabla...', and 'Cerrar'.

Lluvia		
Area de cuenca	9665.285	km ²
Lluvia media	137.500	mm
Pérdidas	61.379	mm
Lluvia en Exceso	76.121	mm

Volumen Escurrido			
	Observado	Calculado	
Total	949370.518	735728.176	Mm3
Directo	949370.518	735728.176	Mm3
Base	0.000	0.000	Mm3

	Observado	Calculado	
Qmáximo	3666.088	3600.618	m3/s

Figura 7.4.5 Tabla resumen

Como se puede observar en la Tabla Resumen, se tiene que el gasto máximo observado es de **3,666.088 m³/s** y el calculado es de **3600.618 m³/s**. Con lo que se tiene un error del **1.790%**, lo que es una muy buena aproximación.

7.5. APLICACIÓN DEL MPE A UNA TORMENTA CON $TR = 100$ AÑOS

En este apartado, se pretende obtener el hidrograma asociado a una lluvia con periodo de retorno de 100 años (**196.384 mm**). Para obtener el hidrograma se introduce en el MPE la información de lluvias de la Tabla 4.22, presentada en el subcapítulo 4.4. El hidrograma que se obtiene para ésta tormenta es el mostrado en la Figura 7.5.1 y el resumen de resultados se presentan en la Figura 7.5.2.

7. APLICACIÓN DEL MODELO PARA PRONÓSTICO DE ESCURRIMIENTO (MPE)

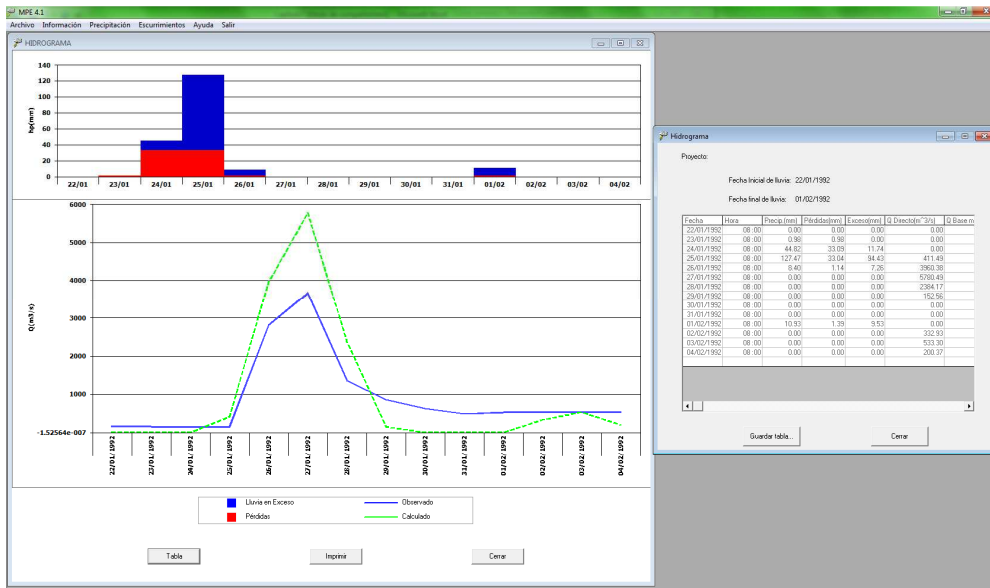


Figura 7.5.1 Hidrograma asociado a una lluvia con $Tr=100$ años

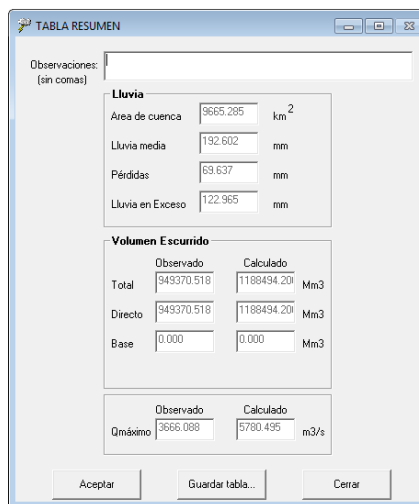


Figura 7.5.2 Tabla resumen (Lluvia con $Tr=100$ años)

De acuerdo con el hidrograma mostrado en la Figura 7.5.1, se tiene que el gasto medio asociado a un periodo de retorno de $Tr= 100$ años, calculado con el MPE es de:

$$Q_{med} = 5,780.495 \text{ m}^3/\text{s}$$

Mientras que el gasto medio diario máximo obtenido del análisis estadístico es:

$$Q_{medmax} = 5,897.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

7.6. RESUMEN DE RESULTADOS

Los parámetros de calibración obtenidos para la cuenca del Río Armería son los que se presentan en la Figura 7.6.1.

Parámetros de Perdida	Valor
Factor de escala de pérdida inicial (λ)	0.1
Factor de escala de retención potencial (f_s)	0.8
Factor de olvido (f_o)	1

Parámetros de Forma	Valor
T_c , en hrs.	36
k , en hrs	12

Figura 7.6.1 Ajuste de los parámetros de calibración del MPE

En la tabla anterior se percibe que el factor de olvido es de 1; lo que indica que las condiciones climatológicas presentadas en este periodo de transición fueron lluviosas, motivo por el cual no hubo evapotranspiración y el escurrimiento se presentó de forma directa.

De acuerdo con lo visto en el capítulo 4 (Tabla 4.6), el gasto medio diario máximo e instantáneo para un periodo de retorno de 100 años de la estación Coliman es de: **5,897.60** m³/s y **5991.50** m³/s, respectivamente.

El hidrograma asociado a un periodo de retorno de 100 años que se obtiene mediante el Modelo para Pronóstico de Ecurrimiento, refleja que el gasto medio es **5,780.49** m³/s. Por lo que al comparar el gasto medio diario máximo con el gasto medio se tiene un error menor al 10 %.

$$Q_{med} = 5,780.49 \quad (\text{MPE})$$

$$Q_{medmax} = 5,897.60 \quad (\text{Análisis estadístico})$$

$$E(\%) = \frac{|Q_{medmax} - Q_{med}|}{Q_{medmax}} * 100$$

$$E(\%) = \frac{|5,897.60 - 5,780.49|}{5,897.60} * 100$$

$$E(\%) = 1.98$$

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo permitió encontrar parámetros de pérdidas y forma en la cuenca del Río Armería para futuras calibraciones, considerando información de lluvias y estimando el comportamiento de los escurrimientos que se presentan en el Río Armería, con un error de aproximación menor al 10%.

Existen modelos de parámetros concentrados y distribuidos. Los primeros consideran una lluvia promedio en toda la cuenca, además que la cuenca es una sola entidad. Mientras que los segundos, permite mejorar la estimación de los hidrogramas que ocurrirán en un futuro, ya que toman en cuenta la distribución espacial de las lluvias; uno de los métodos utilizado por el MPE es el de Shepard, el cual obtiene la precipitación distribuida interpolando las lluvias registradas en una red de estaciones pluviográficas. El método MPE también considera que la cuenca se divide en celdas, donde a cada una de éstas se le asignan las características fisiográficas. En fin, estos modelos son los que más se aproximan a la realidad, obteniendo resultados más exactos o con mayor similitud a los observados en un evento calibrado.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los modelos lluvia- escurrimiento permiten estimar acontecimientos hidrológicos por medio de pronósticos de avenidas, considerando histogramas adimensionales y lluvias pronosticadas. Con lo que es posible obtener o estimar hidrogramas con anticipación a su ocurrencia. Por lo que es necesario calibrar el modelo para varias condiciones como frentes fríos, tormentas tropicales, etc.

El Modelo para Pronóstico de Escurrimientos proporciona resultados congruentes que asemejan el evento observado con el calculado. Para ello es necesario que se cuente con información adecuada de lluvia y escurrimientos.

Respecto a información que se proporciona al MPE de estaciones climatológicas e hidrométricas, mientras se tengan registros más completos y precisos, se obtendrán resultados más confiables, ya que disminuye la incertidumbre en la calibración de los parámetros, es decir, los pronósticos en la cuenca serán mejores.

Con el Modelo para Pronóstico de Escurrimientos es posible estimar gastos asociados a distintos periodos de retorno (T_r), con muy buena aproximación.

Con el trabajo se concluye también, que el MPE se puede utilizar en regiones o en cuencas donde la información de estaciones hidrométricas cuente con poca información de registros de gasto. Con el que se pueden obtener resultados congruentes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. J. Aparicio Mijares, Fundamentos de hidrología de superficie, México: Limusa, 2009, p. 304.
- [2] V. T. Chow, D. Maidment R. y L. Mays W., Hidrología Aplicada, Santa Fe: McGrawHill, 1994.
- [3] R. Domínguez M. y J. Gracia S., Manual de diseño de obras civiles, Hidrotécnica, A.1.4. Pérdidas, D.F.: CFE, 1979.
- [4] R. Domínguez M., G. Esquivel G., A. Baldemar M., A. Mendoza R. y M. L. Arganis J., Manual del Modelo para Pronóstico de Escurrimiento, Distrito Federal: Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, 2008.
- [5] B. Méndez A., Aplicaciones hidrológicas de los radares Meteorológicos, D.F.: Tesis Doctoral, División de Estudios de Posgrado, Fac. de Ing. UNAM, 2005.
- [6] USACE, Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, U.S.: Technical Reference Manual, 2001.
- [7] USACE, Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System HEC-GeoHMS, U.S.: User's Manual, 2003.
- [8] INEGI, «Conjunto de Datos Vectoriales de Edafología, esc. 1:250,000. Datum ITRF92, formato Shape, serie II,» México, D.F..
- [9] INEGI, «Conjunto de datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, esc. 1:250,000. Datum ITRF92, Formato Shape, Serie II,» México D. F..
- [10] INEGI, «Instituto Nacional de Estadística y Geografía,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/Descarga.aspx>.

ANEXOS

A. PARÁMETROS DE AJUSTE PARA LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN GUMBEL Y DOBLE GUMBEL

I. ESTACIONES DE LA ZONA BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA

Las 9 estaciones consideradas correspondientes a la parte baja de la cuenca del río Armería fueron ajustadas principalmente con la función de distribución Doble Gumbel como se puede apreciar en la

Tabla A-1. De estas, la estación 14352 fue ajustada a la función de distribución Gumbel cuyos parámetros de ajuste se obtuvieron por el método de máxima verosimilitud, esta estación es la única que corresponde al estado de Jalisco. En esta zona no fueron considerados los datos de las estaciones 6056, 6065, 6066 y 6075 ya que estas poseen pocos datos o no cumplen con la condición donde $\alpha_2 < \alpha_1$, y por lo tanto no se ajustan a las distribuciones Gumbel o Doble Gumbel.

Nombre	Función	Parámetros
DOBLE GUMBEL	$F(x) = p \left[e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}} \right] + (1-p) \left[e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}} \right]$	α_1 : Parámetro de forma (1ª población) β_1 : Parámetro de escala (1ª población) α_2 : Parámetro de forma (2ª población) β_2 : Parámetro de escala (2ª población) p : Parámetro de asociación

Tabla A-1 Parámetros de ajuste de cada estación, consideradas en la zona baja de la cuenca

Clave	Nombre	Estado	Método de ajuste	P	α_1	β_1	α_2	β_2
6007	Comala, Comala	Colima	Doble Gumbel	0.91	0.050926	70.5368	0.007902	203.3073
6008	Coquimatlán, Coquimatlán	Colima	Doble Gumbel	0.86	0.046568	69.2469	0.013782	188.4724
6014	Las Peñitas, Comala	Colima	Doble Gumbel	0.91	0.041866	72.4219	0.020598	238.9912
6015	Los Ortices, Colima	Colima	Doble Gumbel	0.9	0.040716	62.326	0.00639	182.7556
6017	Madrid, Tecmán	Colima	Doble Gumbel	0.91	0.03129	82.2525	0.00614	225.0497
6020	Pueblo Juárez, Coquimatlán	Colima	Doble Gumbel	0.81	0.043494	56.2171	0.014318	177.2948
6023	Rancho Papaloapan, Tecomán	Colima	Doble Gumbel	0.88	0.032335	75.4152	0.028505	224.1971
6052	E.T.A. 254, Comala	Colima	Doble Gumbel	0.88	0.04812	67.0138	0.009131	164.1281
14352	Zapotitlán, Zapotitlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud		0.0388	53.5049		
6056	Canoas, Tolimán	Colima	NO SE CONSIDERAN					
6065	Mixcuate, Villa Juárez	Colima	NO SE CONSIDERAN					
6066	El Terrero, Minatitlán	Colima	NO SE CONSIDERAN					
6075	El Algodonal, Coquimatlán	Colima	NO SE CONSIDERAN					

II. ESTACIONES DE LA ZONA ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO ARMERÍA

Respecto a la zona alta de la cuenca, se obtuvieron mejores resultados al realizar el ajuste mediante la función de distribución Gumbel como se observa en la

Tabla A-2. En esta zona se consideraron datos de 28 estaciones climatológicas correspondientes al Estado de Jalisco. La obtención de los parámetros de ajuste de 12 de ellas fue mediante el método de momentos (43%) y las restantes (57%) por el método de máxima verosimilitud.

Nombre	Función	Parámetros
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-t}}$ donde $t = \alpha_1(x - \beta_1)$	α_1 : Parámetro de forma β_1 : Parámetro de escala

Tabla A-2 Parámetros de ajuste para las estaciones en la zona alta de la cuenca

Clave	Nombre	Estado	Método de ajuste	α_1	β_1
14013	Atemajac de Brizuela,	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0774	42.4529
14014	Atengo, Atengo (SMN)	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0644	47.1433
14019	Autlán, Autlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0481	55.0626
14031	Venustiano Carranza,	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0699	47.6536
14041	Chiquilistlán,	Jalisco	Gumbel momentos	0.0647	48.1592
14043	Ejutla, Ejutla	Jalisco	Gumbel momentos	0.0514	58.1274
14046	El Chante, Autlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0485	49.9193
14050	El Grullo, El Grullo	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0771	53.8909
14051	El Limón, El Limón (SMN)	Jalisco	Gumbel momentos	0.0459	62.9988
14052	El Nogal, Tapalpa	Jalisco	Gumbel momentos	0.0549	44.8482
14078	Juchitlán, Juchitlán	Jalisco	Gumbel momentos	0.0908	48.9902
14094	Manantlán, Autlán	Jalisco	Gumbel momentos	0.08675	52.4863
14139	Tacotán, Unión de Tula	Jalisco	Gumbel momentos	0.085	51.0215
14142	Tapalpa, Tapalpa (SMN)	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0612	46.3438
14143	Tecolotlán, Tecolotlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0663	52.7888
14151	Tolimán, Tolimán (SMN)	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0491	59.3225
14155	Tuxcacuesco, Tuxcacuesco	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.073	57.2208
14158	Unión de Tula	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0689	52.7666
14184	Tapalpa, Tapalpa (DGE)	Jalisco	Gumbel momentos	0.0477	49.3367
14185	Tecolotlán, Tecolotlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0688	54.4681
14190	Tolimán, Tolimán (DGE)	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0636	48.1022
14301	Tenamaxtlán, Tenamaxtlán	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0919	59.5079
14311	Canoas, Tolimán	Jalisco	Gumbel momentos	0.079	48.2633
14312	Cuatla, Cuatla	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.0758	48.0132
14343	Presa Basilio Badillo,	Jalisco	Gumbel momentos	0.0668	56.2172
14350	El Rosario, Tuxcacuesco	Jalisco	Gumbel momentos	0.0602	61.8236
14390	El Corcovado, Autlán	Jalisco	Gumbel momentos	0.0653	48.0656
14395	Ixtlahuacán STGO, U. Tula	Jalisco	Gumbel Máxima Verosimilitud	0.1162	29.2699

**B. TABLAS DE RESULTADOS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA
(ZONA BAJA)**

10. ANEXOS

Tabla B-1 Resultados del ajuste, estación 6007

6007				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
48	368.2	372.17	15.79	3.860692775
24	273	263.65	87.36	3.156849494
16	177.2	189.84	159.72	2.740493007
12	160	152.89	50.58	2.441716399
9.6	125	136.73	137.59	2.207266775
8	120	127.16	51.25	2.013418678
6.86	118	120.43	5.89	1.847962662
6	116.9	115.24	2.77	1.701983355
5.33	116.7	111	32.45	1.571257663
4.8	114.3	107.42	47.36	1.454081455
4.36	107.6	104.3	10.89	1.345033103
4	105.7	101.53	17.37	1.245899324
3.69	98	99.04	1.07	1.151743278
3.43	96.4	96.76	0.13	1.065170732
3.2	95.5	94.65	0.72	0.981647055
3	90	92.7	7.27	0.902720456
2.82	89.5	90.86	1.85	0.825763829
2.67	87.6	89.13	2.33	0.756609276
2.53	87	87.48	0.23	0.687261401
2.4	86	85.91	0.01	0.6180462
2.29	86	84.4	2.55	0.555283388
2.18	84.6	82.95	2.71	0.488069131
2.09	84	81.55	6	0.429266574
2	82.6	80.19	5.81	0.366512921
1.92	81.5	78.86	6.96	0.306923616
1.85	80	77.57	5.93	0.251408559
1.78	79.6	76.29	10.93	0.192281323
1.71	74.6	75.04	0.2	0.128988949
1.66	73.7	73.81	0.01	0.080848899
1.6	73	72.58	0.17	0.019356889
1.55	71	71.37	0.13	-0.035455877
1.5	68.6	70.15	2.41	-0.094047828
1.45	68.5	68.94	0.19	-0.157064647
1.41	68.4	67.71	0.47	-0.211223042
1.37	68	66.48	2.31	-0.269311624
1.33	67.6	65.23	5.63	-0.332063652
1.3	65	63.95	1.1	-0.382767501
1.26	63.5	62.64	0.74	-0.456275686
1.23	62	61.28	0.52	-0.516821695
1.2	58	59.87	3.48	-0.583198081
1.17	56	58.37	5.63	-0.656981304
1.14	55.5	56.78	1.63	-0.740575045
1.12	50	55.03	25.34	-0.803611151
1.09	49	53.08	16.68	-0.913937287
1.07	48	50.81	7.9	-1.003172285
1.04	47.8	47.96	0.03	-1.181143141
1.02	40	43.75	14.06	-1.369103856

Tabla B-2 Resultados del ajuste, estación 6008

6008				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
59	356.5	337.08	377.1364	4.069002403
29.5	272	281.67	93.5089	3.367196729
19.67	220.7	246.61	671.3281	2.953119726
14.75	214.2	219.58	28.9444	2.656346305
11.8	205	196.94	64.9636	2.424149549
9.83	182.5	177.61	23.9121	2.232276505
8.43	153.9	161.63	59.7529	2.069325575
7.38	148.3	149.08	0.6084	1.926854086
6.56	148	139.41	73.7881	1.799433874
5.9	129.2	131.88	7.1824	1.683530484
5.36	123.3	125.83	6.4009	1.577494007
4.92	120	120.83	0.6889	1.481850314
4.54	120	116.58	11.6964	1.391104773
4.21	116.5	112.91	12.8881	1.304929289
3.93	112.3	109.66	6.9696	1.225410959
3.69	104.5	106.75	5.0625	1.151743278
3.47	98.3	104.12	33.8724	1.07899661
3.28	98	101.71	13.7641	1.011513972
3.11	97	99.48	6.1504	0.94691805
2.95	95.7	97.4	2.89	0.881947766
2.81	95	95.46	0.2116	0.821304154
2.68	95	93.62	1.9044	0.76137677
2.57	90	91.89	3.5721	0.707590425
2.46	87.7	90.23	6.4009	0.650614814
2.36	85.5	88.66	9.9856	0.595699434
2.27	85	87.14	4.5796	0.543412642
2.19	84.5	85.68	1.3924	0.494381183
2.11	83.7	84.27	0.3249	0.442656308
2.03	81.5	82.91	1.9881	0.387904712
1.97	81.5	81.58	0.0064	0.344615452
1.9	80.2	80.29	0.0081	0.291403118
1.84	80	79.02	0.9604	0.243194537
1.79	77.1	77.79	0.4761	0.200968797
1.74	76.5	76.57	0.0049	0.156665265
1.69	76.3	75.38	0.8464	0.110046801
1.64	76.2	74.2	4	0.060829839
1.59	75.9	73.03	8.2369	0.008670724
1.55	75.5	71.87	13.1769	-0.035455877
1.51	72.5	70.72	3.1684	-0.081998521
1.48	71	69.58	2.0164	-0.118681532
1.44	71	68.43	6.6049	-0.170268936
1.4	70.5	67.28	10.3684	-0.225351487
1.37	68.5	66.13	5.6169	-0.269311624
1.34	67.6	64.96	6.9696	-0.31588992
1.31	65.6	63.78	3.3124	-0.365483121
1.28	63.5	62.58	0.8464	-0.418595693
1.26	62.5	61.36	1.2996	-0.456275686
1.23	61	60.1	0.81	-0.516821695
1.2	60.2	58.81	1.9321	-0.583198081
1.18	58	57.46	0.2916	-0.631438181
1.16	57.8	56.04	3.0976	-0.683602509
1.13	53.5	54.55	1.1025	-0.771236502
1.11	50.4	52.94	6.4516	-0.837955035
1.09	48.7	51.18	6.1504	-0.913937287
1.07	42	49.21	51.9841	-1.003172285
1.05	39.9	46.91	49.1401	-1.113344054
1.04	39	44.03	25.3009	-1.181143141
1.02	38.5	39.86	1.8496	-1.369103856

10. ANEXOS

Tabla B-3 Resultados del ajuste, estación 6014

6014				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
48	287.6	303.92	266.3424	3.860692775
24	287	262.58	596.3364	3.156849494
16	212.3	232.39	403.6081	2.740493007
12	210.6	202.16	71.2336	2.441716399
9.6	160.8	169.45	74.8225	2.207266775
8	145.5	149.66	17.3056	2.013418678
6.86	140.2	138.32	3.5344	1.847962662
6	132.5	130.47	4.1209	1.701983355
5.33	131	124.43	43.1649	1.571257663
4.8	120.8	119.5	1.69	1.454081455
4.36	117.7	115.32	5.6644	1.345033103
4	112.8	111.67	1.2769	1.245899324
3.69	110.3	108.42	3.5344	1.151743278
3.43	108.2	105.48	7.3984	1.065170732
3.2	108	102.79	27.1441	0.981647055
3	106.6	100.31	39.5641	0.902720456
2.82	105.7	97.99	59.4441	0.825763829
2.67	97.1	95.81	1.6641	0.756609276
2.53	96	93.74	5.1076	0.687261401
2.4	92.8	91.78	1.0404	0.6180462
2.29	91.9	89.9	4	0.555283388
2.18	90.2	88.1	4.41	0.488069131
2.09	87.5	86.36	1.2996	0.429266574
2	83	84.67	2.7889	0.366512921
1.92	81.2	83.03	3.3489	0.306923616
1.85	80.9	81.43	0.2809	0.251408559
1.78	76.4	79.86	11.9716	0.192281323
1.71	75.6	78.32	7.3984	0.128988949
1.66	73.2	76.8	12.96	0.080848899
1.6	72.1	75.3	10.24	0.019356889
1.55	71.7	73.81	4.4521	-0.035455877
1.5	70	72.32	5.3824	-0.094047828
1.45	69	70.83	3.3489	-0.157064647
1.41	68.8	69.34	0.2916	-0.211223042
1.37	66.6	67.83	1.5129	-0.269311624
1.33	66.5	66.3	0.04	-0.332063652
1.3	64.7	64.75	0.0025	-0.382767501
1.26	60	63.15	9.9225	-0.456275686
1.23	60	61.5	2.25	-0.516821695
1.2	58.4	59.78	1.9044	-0.583198081
1.17	57.5	57.97	0.2209	-0.656981304
1.14	54.6	56.04	2.0736	-0.740575045
1.12	51	53.95	8.7025	-0.803611151
1.09	49.2	51.6	5.76	-0.913937287
1.07	48.3	48.89	0.3481	-1.003172285
1.04	48	45.52	6.1504	-1.181143141
1.02	47	40.68	39.9424	-1.369103856

Tabla B-4 Resultados del ajuste, estación 6015

6015				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
32	340	336.48	12.3904	3.449903552
16	180	199.91	396.4081	2.740493007
10.67	161	151.74	85.7476	2.318635658
8	147	132.51	209.9601	2.013418678
6.4	123	120.98	4.0804	1.77255092
5.33	111	112.74	3.0276	1.571257663
4.57	95.9	106.29	107.9521	1.398579074
4	95	100.97	35.6409	1.245899324
3.56	89	96.4	54.76	1.109410521
3.2	88	92.38	19.1844	0.981647055
2.91	85	88.76	14.1376	0.86500407
2.67	84	85.46	2.1316	0.756609276
2.46	84	82.41	2.5281	0.650614814
2.29	82.5	79.54	8.7616	0.555283388
2.13	80	76.84	9.9856	0.455857208
2	74.6	74.26	0.1156	0.366512921
1.88	73	71.77	1.5129	0.275614976
1.78	70.5	69.37	1.2769	0.192281323
1.68	67	67.01	0.0001	0.100421318
1.6	65.5	64.7	0.64	0.019356889
1.52	64.5	62.41	4.3681	-0.070119918
1.45	63.5	60.11	11.4921	-0.157064647
1.39	60.9	57.8	9.61	-0.239734979
1.33	60	55.44	20.7936	-0.332063652
1.28	51	53	4	-0.418595693
1.23	50	50.45	0.2025	-0.516821695
1.19	49	47.72	1.6384	-0.60687254
1.14	47.5	44.72	7.7284	-0.740575045
1.1	41	41.28	0.0784	-0.874591383
1.07	36	37.02	1.0404	-1.003172285
1.03	24	30.74	45.4276	-1.263029148

10. ANEXOS

Tabla B-5 Resultados del ajuste, estación 6017

6017				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
37	400.1	393.16	48.1636	3.597249705
18.5	231.8	257.68	669.7744	2.89011447
12.33	196.8	204.02	52.1284	2.470042761
9.25	187.4	179.7	59.29	2.167963722
7.4	180.3	164.77	241.1809	1.929767083
6.17	163.7	154.05	93.1225	1.732588236
5.29	154.5	145.68	77.7924	1.562881131
4.63	153	138.78	202.2084	1.413360487
4.11	129	132.89	15.1321	1.277259516
3.7	117	127.73	115.1329	1.154925382
3.36	115.9	123.11	51.9841	1.040496161
3.08	115.8	118.92	9.7344	0.935061548
2.85	114.4	115.06	0.4356	0.839021046
2.64	107	111.48	20.0704	0.742163752
2.47	103.4	108.11	22.1841	0.65593666
2.31	103	104.93	3.7249	0.567007361
2.18	102.7	101.89	0.6561	0.488069131
2.06	100	98.98	1.0404	0.408815101
1.95	96	96.18	0.0324	0.329723328
1.85	95.2	93.45	3.0625	0.251408559
1.76	92.7	90.79	3.6481	0.174650271
1.68	87.2	88.18	0.9604	0.100421318
1.61	86.8	85.61	1.4161	0.029912449
1.54	85.7	83.05	7.0225	-0.046853581
1.48	80.2	80.5	0.09	-0.118681532
1.42	77.3	77.93	0.3969	-0.197339421
1.37	73	75.34	5.4756	-0.269311624
1.32	71.6	72.69	1.1881	-0.348588551
1.28	69.8	69.96	0.0256	-0.418595693
1.23	63.5	67.12	13.1044	-0.516821695
1.19	63.1	64.12	1.0404	-0.60687254
1.16	58.2	60.89	7.2361	-0.683602509
1.12	56.8	57.31	0.2601	-0.803611151
1.09	54.3	53.19	1.2321	-0.913937287
1.06	50.6	48.08	6.3504	-1.054897094
1.03	50.2	40.62	91.7764	-1.263029148

Tabla B-6 Resultados del ajuste, estación 6020

6020				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
19	262.5	256.13	40.5769	2.917527168
9.5	178	194.28	265.0384	2.196194392
6.33	160	151.6	70.56	1.76055737
4.75	131.5	123.44	64.9636	1.442277465
3.8	94	106.7	161.29	1.186192975
3.17	88.5	95.65	51.1225	0.970207411
2.71	87.4	87.47	0.0049	0.775539574
2.38	85.5	80.89	21.2521	0.606938313
2.11	82	75.3	44.89	0.442656308
1.9	79	70.37	74.4769	0.291403118
1.73	67	65.86	1.2996	0.147535099
1.58	65	61.62	11.4244	-0.00214971
1.46	61	57.54	11.9716	-0.144070235
1.36	47.5	53.48	35.7604	-0.284529067
1.27	46	49.33	11.0889	-0.43718999
1.19	37.5	44.89	54.6121	-0.60687254
1.12	37.5	39.8	5.29	-0.803611151
1.06	32.8	33.08	0.0784	-1.054897094

10. ANEXOS

Tabla B-7 Resultados del ajuste, estación 6023

6023				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
52	279.5	287.31	60.9961	3.941550387
26	272	260.11	141.3721	3.238550275
17.33	243	242.48	0.2704	2.82286869
13	220	228.32	69.2224	2.525194941
10.4	217	215.48	2.3104	2.291683562
8.67	200	202.63	6.9169	2.099218418
7.43	181.3	188.7	54.76	1.934120675
6.5	175.5	173.92	2.4964	1.789437659
5.78	172.5	161.13	129.2769	1.660925246
5.2	158.7	151.36	53.8756	1.543771433
4.73	143	143.72	0.5184	1.43751621
4.33	133	137.45	19.8025	1.337141451
4	121.5	132.12	112.7844	1.245899324
3.71	119.5	127.46	63.3616	1.158097227
3.47	118.1	123.32	27.2484	1.07899661
3.25	118	119.56	2.4336	1.000420501
3.06	117.3	116.13	1.3689	0.927076355
2.89	115	112.96	4.1616	0.856420105
2.74	110	109.99	0.0001	0.789497726
2.6	110	107.21	7.7841	0.722559893
2.48	109	104.58	19.5364	0.661229081
2.36	104.5	102.08	5.8564	0.595699434
2.26	103.8	99.69	16.8921	0.537421013
2.17	102	97.4	21.16	0.481714464
2.08	96.8	95.19	2.5921	0.422499087
2	96.3	93.05	10.5625	0.366512921
1.93	95	90.98	16.1604	0.314586512
1.86	93.2	88.96	17.9776	0.25954904
1.79	89	86.98	4.0804	0.200968797
1.73	83	85.05	4.2025	0.147535099
1.68	82.1	83.14	1.0816	0.100421318
1.63	82	81.26	0.5476	0.050645636
1.58	80.4	79.4	1	-0.00214971
1.53	79	77.56	2.0736	-0.058406642
1.49	75.5	75.72	0.0484	-0.106273506
1.44	74	73.88	0.0144	-0.170268936
1.41	73.5	72.04	2.1316	-0.211223042
1.37	71.8	70.18	2.6244	-0.269311624
1.33	70.3	68.31	3.9601	-0.332063652
1.3	67.7	66.4	1.69	-0.382767501
1.27	62.5	64.45	3.8025	-0.43718999
1.24	55.5	62.45	48.3025	-0.496053695
1.21	54	60.38	40.7044	-0.560340159
1.18	53.5	58.22	22.2784	-0.631438181
1.16	52.7	55.93	10.4329	-0.683602509
1.13	51	53.49	6.2001	-0.771236502
1.11	50	50.84	0.7056	-0.837955035
1.08	48	47.87	0.0169	-0.956545405
1.06	44	44.41	0.1681	-1.054897094
1.04	41.6	40.12	2.1904	-1.181143141
1.02	34	33.94	0.0036	-1.369103856

Tabla B-8 Resultados del ajuste, estación 6052

6052				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
27	268.6	273.44	23.4256	3.277026048
13.5	179	178.69	0.0961	2.564455944
9	127	140.16	173.1856	2.138911028
6.75	118	123.46	29.8116	1.830442191
5.4	108.6	113.37	22.7529	1.585748668
4.5	107	106.15	0.7225	1.381050422
3.86	104.6	100.49	16.8921	1.204487741
3.38	98	95.8	4.84	1.047609654
3	96.4	91.76	21.5296	0.902720456
2.7	89.5	88.19	1.7161	0.770841683
2.45	87.7	84.96	7.5076	0.645263202
2.25	82.6	82	0.36	0.531391212
2.08	82	79.22	7.7284	0.422499087
1.93	81.3	76.6	22.09	0.314586512
1.8	79.4	74.1	28.09	0.209573275
1.69	73	71.67	1.7689	0.110046801
1.59	69.1	69.3	0.04	0.008670724
1.5	69	66.95	4.2025	-0.094047828
1.42	64	64.6	0.36	-0.197339421
1.35	63.5	62.22	1.6384	-0.300050307
1.29	63.2	59.76	11.8336	-0.400463671
1.23	57.2	57.18	0.0004	-0.516821695
1.17	52	54.38	5.6644	-0.656981304
1.13	49	51.23	4.9729	-0.771236502
1.08	48	47.41	0.3481	-0.956545405
1.04	22.6	41.99	375.9721	-1.181143141

10. ANEXOS

Tabla B-9 Resultados del ajuste, estación 14352

14352				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
36	137	145.39	70.3921	3.569466566
18	134.5	127.18	53.5824	2.861928676
12	127.5	116.36	124.0996	2.441716399
9	112	108.56	11.8336	2.138911028
7.2	110	102.42	57.4564	1.900246641
6	101	97.32	13.5424	1.701983355
5.14	100	92.93	49.9849	1.53082411
4.5	96	89.06	48.1636	1.381050422
4	91.5	85.58	35.0464	1.245899324
3.6	86.5	82.4	16.81	1.122631247
3.27	82	79.47	6.4009	1.007830108
3	78	76.74	1.5876	0.902720456
2.77	75.5	74.17	1.7689	0.803257238
2.57	74.5	71.74	7.6176	0.707590425
2.4	74	69.41	21.0681	0.6180462
2.25	71.5	67.18	18.6624	0.531391212
2.12	70	65.03	24.7009	0.449280009
2	62.5	62.94	0.1936	0.366512921
1.89	62.5	60.9	2.56	0.283543123
1.8	61.5	58.9	6.76	0.209573275
1.71	57	56.93	0.0049	0.128988949
1.64	53	54.98	3.9204	0.060829839
1.57	49.5	53.03	12.4609	-0.013108248
1.5	48	51.08	9.4864	-0.094047828
1.44	46	49.12	9.7344	-0.170268936
1.38	45.5	47.13	2.6569	-0.254384453
1.33	40	45.1	26.01	-0.332063652
1.29	38.5	43	20.25	-0.400463671
1.24	35.5	40.81	28.1961	-0.496053695
1.2	35	38.49	12.1801	-0.583198081
1.16	34	36	4	-0.683602509
1.13	32	33.24	1.5376	-0.771236502
1.09	31	30.07	0.8649	-0.913937287
1.06	22	26.18	17.4724	-1.054897094
1.03	20.5	20.65	0.0225	-1.263029148

**C. TABLAS DE RESULTADOS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA
(ZONA ALTA)**

10. ANEXOS

Tabla C-1 Resultados del ajuste, estación 14013

14013				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
60	99	95.26	13.9876	4.085952773
30	83	86.19	10.1761	3.384294493
20	82	80.84	1.3456	2.970195249
15	80	77.01	8.9401	2.673752092
12	78	74.01	15.9201	2.441716399
10	75.5	71.54	15.6816	2.250367327
8.57	74	69.43	20.8849	2.086871756
7.5	74	67.58	41.2164	1.944205697
6.67	70	65.93	16.5649	1.81750357
6	67	64.45	6.5025	1.701983355
5.45	65.5	63.09	5.8081	1.595971431
5	63	61.84	1.3456	1.499939987
4.62	61	60.67	0.1089	1.410912192
4.29	61	59.58	2.0164	1.326520291
4	60	58.55	2.1025	1.245899324
3.75	59	57.58	2.0164	1.170683338
3.53	55	56.66	2.7556	1.099376876
3.33	55	55.78	0.6084	1.029728121
3.16	54	54.93	0.8649	0.966364229
3	53	54.12	1.2544	0.902720456
2.86	53	53.34	0.1156	0.843400146
2.73	53	52.58	0.1764	0.784867371
2.61	52.5	51.85	0.4225	0.727498401
2.5	49	51.13	4.5369	0.671726992
2.4	48	50.44	5.9536	0.6180462
2.31	48	49.76	3.0976	0.567007361
2.22	47	49.1	4.41	0.513067573
2.14	47	48.45	2.1025	0.462388591
2.07	47	47.82	0.6724	0.415682187
2	45.5	47.19	2.8561	0.366512921
1.94	45	46.57	2.4649	0.322186044
1.88	45	45.96	0.9216	0.275614976
1.82	45	45.36	0.1296	0.226540013
1.76	44	44.76	0.5776	0.174650271
1.71	42.5	44.17	2.7889	0.128988949
1.67	42	43.58	2.4964	0.090689559
1.62	42	43	1	0.040340912
1.58	42	42.41	0.1681	-0.00214971
1.54	42	41.82	0.0324	-0.046853581
1.5	42	41.24	0.5776	-0.094047828
1.46	42	40.65	1.8225	-0.144070235
1.43	42	40.05	3.8025	-0.183691047
1.4	41	39.45	2.4025	-0.225351487
1.36	40	38.85	1.3225	-0.284529067
1.33	39.6	38.23	1.8769	-0.332063652
1.3	38.5	37.6	0.81	-0.382767501
1.28	36.5	36.96	0.2116	-0.418595693
1.25	36	36.3	0.09	-0.475884995
1.22	36	35.62	0.1444	-0.538233722
1.2	36	34.92	1.1664	-0.583198081
1.18	35	34.18	0.6724	-0.631438181
1.15	34	33.4	0.36	-0.711420172
1.13	34	32.57	2.0449	-0.771236502
1.11	32	31.67	0.1089	-0.837955035
1.09	32	30.69	1.7161	-0.913937287
1.07	31	29.58	2.0164	-1.003172285
1.05	25	28.27	10.6929	-1.113344054
1.03	22.5	26.63	17.0569	-1.263029148
1.02	22.5	24.24	3.0276	-1.369103856

Tabla C-2 Resultados del ajuste, estación 14014

14014				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
38	98	103.42	29.3764	3.624281669
19	94.5	92.45	4.2025	2.917527168
12.67	89	85.94	9.3636	2.498410846
9.5	86	81.25	22.5625	2.196194392
7.6	83	77.55	29.7025	1.958438109
6.33	80	74.49	30.3601	1.76055737
5.43	67	71.86	23.6196	1.591894945
4.75	65.5	69.54	16.3216	1.442277465
4.22	65	67.46	6.0516	1.307654107
3.8	65	65.56	0.3136	1.186192975
3.45	63	63.82	0.6724	1.072108031
3.17	62	62.19	0.0361	0.970207411
2.92	62	60.66	1.7956	0.869267771
2.71	60	59.22	0.6084	0.775539574
2.53	60	57.84	4.6656	0.687261401
2.38	58	56.52	2.1904	0.606938313
2.24	56	55.26	0.5476	0.525322724
2.11	56	54.03	3.8809	0.442656308
2	55.5	52.83	7.1289	0.366512921
1.9	55	51.67	11.0889	0.291403118
1.81	53	50.52	6.1504	0.218096464
1.73	51	49.4	2.56	0.147535099
1.65	50	48.28	2.9584	0.070896607
1.58	50	47.17	8.0089	-0.00214971
1.52	49	46.05	8.7025	-0.070119918
1.46	47	44.94	4.2436	-0.144070235
1.41	44	43.81	0.0361	-0.211223042
1.36	43	42.66	0.1156	-0.284529067
1.31	43	41.48	2.3104	-0.365483121
1.27	40	40.26	0.0676	-0.43718999
1.23	38	38.98	0.9604	-0.516821695
1.19	36.5	37.63	1.2769	-0.60687254
1.15	35	36.16	1.3456	-0.711420172
1.12	32	34.54	6.4516	-0.803611151
1.09	30	32.67	7.1289	-0.913937287
1.06	28.5	30.37	3.4969	-1.054897094
1.03	24	27.09	9.5481	-1.263029148

10. ANEXOS

Tabla C-3 Resultados del ajuste, estación 14019

14019				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
50	134	136.14	4.5796	3.901938658
25	130	121.52	71.9104	3.198534261
16.67	128	112.88	228.6144	2.782838829
12.5	120	106.68	177.4224	2.48432751
10	117	101.82	230.4324	2.250367327
8.33	99	97.8	1.44	2.056600865
7.14	93	94.37	1.8769	1.891217213
6.25	92	91.35	0.4225	1.746671079
5.56	83	88.66	32.0356	1.618097878
5	83	86.23	10.4329	1.499939987
4.55	81	83.99	8.9401	1.393602483
4.17	78	81.93	15.4449	1.293954231
3.85	74	80	36	1.201462112
3.57	74	78.19	17.5561	1.11273242
3.33	71.5	76.48	24.8004	1.029728121
3.13	71	74.86	14.8996	0.954743076
2.94	71	73.31	5.3361	0.877739454
2.78	70	71.83	3.3489	0.807800601
2.63	70	70.4	0.16	0.737300068
2.5	70	69.02	0.9604	0.671726992
2.38	69.3	67.68	2.6244	0.606938313
2.27	68	66.39	2.5921	0.543412642
2.17	67.5	65.12	5.6644	0.481714464
2.08	67	63.89	9.6721	0.422499087
2	67	62.68	18.6624	0.366512921
1.92	65	61.49	12.3201	0.306923616
1.85	64.8	60.32	20.0704	0.251408559
1.79	64.5	59.16	28.5156	0.200968797
1.72	63	58.02	24.8004	0.138310385
1.67	60	56.88	9.7344	0.090689559
1.61	58	55.75	5.0625	0.029912449
1.56	58	54.62	11.4244	-0.024208902
1.52	55	53.49	2.2801	-0.070119918
1.47	52	52.35	0.1225	-0.131278218
1.43	52	51.21	0.6241	-0.183691047
1.39	51.5	50.05	2.1025	-0.239734979
1.35	47	48.87	3.4969	-0.300050307
1.32	45	47.67	7.1289	-0.348588551
1.28	45	46.44	2.0736	-0.418595693
1.25	40.5	45.17	21.8089	-0.475884995
1.22	40	43.86	14.8996	-0.538233722
1.19	40	42.48	6.1504	-0.60687254
1.16	39	41.02	4.0804	-0.683602509
1.14	39	39.45	0.2025	-0.740575045
1.11	37	37.73	0.5329	-0.837955035
1.09	35	35.81	0.6561	-0.913937287
1.06	34	33.57	0.1849	-1.054897094
1.04	28.5	30.77	5.1529	-1.181143141
1.02	23	26.72	13.8384	-1.369103856

Tabla C-4 Resultados del ajuste, estación 14031

14031				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
42	96	100.95	24.5025	3.725645038
21	95.5	90.86	21.5296	3.02022654
14	88.5	84.88	13.1044	2.602232166
10.5	80	80.58	0.3364	2.301750855
8.4	80	77.2	7.84	2.06552518
7	80	74.4	31.36	1.869824714
6	70	72	4	1.701983355
5.25	62.5	69.89	54.6121	1.554433319
4.67	62	68	36	1.423093584
4.2	62	66.28	18.3184	1.302196935
3.82	60	64.7	22.09	1.192329064
3.5	60	63.23	10.4329	1.08923964
3.23	60	61.86	3.4596	0.992954327
3	59	60.57	2.4649	0.902720456
2.8	58	59.34	1.7956	0.816823857
2.63	58	58.17	0.0289	0.737300068
2.47	58	57.04	0.9216	0.65593666
2.33	56.5	55.96	0.2916	0.578588314
2.21	56	54.91	1.1881	0.506879825
2.1	56	53.89	4.4521	0.435985403
2	55	52.9	4.41	0.366512921
1.91	55	51.92	9.4864	0.299196211
1.83	55	50.97	16.2409	0.234905522
1.75	54	50.02	15.8404	0.165702981
1.68	52	49.09	8.4681	0.100421318
1.62	51.8	48.16	13.2496	0.040340912
1.56	51	47.24	14.1376	-0.024208902
1.5	50	46.31	13.6161	-0.094047828
1.45	49	45.37	13.1769	-0.157064647
1.4	47	44.43	6.6049	-0.225351487
1.35	45	43.47	2.3409	-0.300050307
1.31	45	42.49	6.3001	-0.365483121
1.27	44.7	41.47	10.4329	-0.43718999
1.24	43.7	40.42	10.7584	-0.496053695
1.2	36	39.31	10.9561	-0.583198081
1.17	33	38.13	26.3169	-0.656981304
1.14	33	36.85	14.8225	-0.740575045
1.11	32	35.42	11.6964	-0.837955035
1.08	31	33.77	7.6729	-0.956545405
1.05	30	31.73	2.9929	-1.113344054
1.02	26.5	28.79	5.2441	-1.369103856

10. ANEXOS

Tabla C-5 Resultados del ajuste, estación 14041

14041				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
19	115.5	93.27	494.1729	2.917527168
9.5	90	82.12	62.0944	2.196194392
6.33	80	75.39	21.2521	1.76055737
4.75	61	70.46	89.4916	1.442277465
3.8	60	66.5	42.25	1.186192975
3.17	60	63.14	9.8596	0.970207411
2.71	53.7	60.18	41.9904	0.775539574
2.38	52.2	57.5	28.09	0.606938313
2.11	51.4	55.02	13.1044	0.442656308
1.9	50	52.67	7.1289	0.291403118
1.73	49.6	50.4	0.64	0.147535099
1.58	49.3	48.18	1.2544	-0.00214971
1.46	47.3	45.96	1.7956	-0.144070235
1.36	47	43.69	10.9561	-0.284529067
1.27	44	41.3	7.29	-0.43718999
1.19	42	38.68	11.0224	-0.60687254
1.12	40	35.61	19.2721	-0.803611151
1.06	34.5	31.46	9.2416	-1.054897094

Tabla C-6 Resultados del ajuste, estación 14043

14043				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
61	183.3	138	2052.09	4.102620597
30.5	115	124.34	87.2356	3.401104778
20.33	103.5	116.28	163.3284	2.986983963
15.25	100.6	110.52	98.4064	2.69085986
12.2	100	106	36	2.458979598
10.17	99.5	102.28	7.7284	2.268136095
8.71	99.3	99.1	0.04	2.104114607
7.63	99	96.32	7.1824	1.962668501
6.78	95	93.85	1.3225	1.835251154
6.1	94	91.62	5.6644	1.72010006
5.55	93	89.57	11.7649	1.616106625
5.08	88.5	87.69	0.6561	1.517705611
4.69	88	85.94	4.2436	1.427924497
4.36	87	84.3	7.29	1.345033103
4.07	85.5	82.76	7.5076	1.265970776
3.81	84.2	81.3	8.41	1.189265798
3.59	82	79.91	4.3681	1.119342706
3.39	77.5	78.58	1.1664	1.051147129
3.21	77.5	77.32	0.0324	0.985430699
3.05	76.6	76.1	0.25	0.923059092
2.9	76.5	74.92	2.4964	0.860721571
2.77	76.5	73.79	7.3441	0.803257238
2.65	75	72.69	5.3361	0.747003014
2.54	71.5	71.62	0.0144	0.692384143
2.44	70	70.59	0.3481	0.639881474
2.35	70	69.57	0.1849	0.590029855
2.26	69.3	68.58	0.5184	0.537421013
2.18	68	67.61	0.1521	0.488069131
2.1	66	66.66	0.4356	0.435985403
2.03	65.5	65.73	0.0529	0.387904712
1.97	64	64.8	0.64	0.344615452
1.91	62.5	63.9	1.96	0.299196211
1.85	60	63	9	0.251408559
1.79	59	62.11	9.6721	0.200968797
1.74	58.6	61.23	6.9169	0.156665265
1.69	58	60.35	5.5225	0.110046801
1.65	57.6	59.48	3.5344	0.070896607
1.61	56	58.61	6.8121	0.029912449
1.56	55.5	57.75	5.0625	-0.024208902
1.53	55.5	56.88	1.9044	-0.058406642
1.49	55	56.01	1.0201	-0.106273506
1.45	53.5	55.13	2.6569	-0.157064647
1.42	53	54.25	1.5625	-0.197339421
1.39	52.5	53.36	0.7396	-0.239734979
1.36	52	52.45	0.2025	-0.284529067
1.33	52	51.54	0.2116	-0.332063652
1.3	51.5	50.6	0.81	-0.382767501
1.27	50	49.65	0.1225	-0.43718999
1.24	50	48.66	1.7956	-0.496053695
1.22	49	47.65	1.8225	-0.538233722
1.2	49	46.59	5.8081	-0.583198081
1.17	49	45.49	12.3201	-0.656981304
1.15	48.1	44.33	14.2129	-0.711420172
1.13	45	43.09	3.6481	-0.771236502
1.11	41.5	41.75	0.0625	-0.837955035
1.09	41	40.28	0.5184	-0.913937287
1.07	38	38.61	0.3721	-1.003172285
1.05	37.5	36.66	0.7056	-1.113344054
1.03	35.2	34.2	1	-1.263029148
1.02	35	30.61	19.2721	-1.369103856

10. ANEXOS

Tabla C-7 Resultados del ajuste, estación 14046

14046				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
35	138	122.91	227.7081	3.540889304
17.5	114.8	108.32	41.9904	2.832924885
11.67	96.7	99.65	8.7025	2.412563131
8.75	94.2	93.4	0.64	2.108986882
7	85.5	88.47	8.8209	1.869824714
5.83	83.5	84.37	0.7569	1.670406638
5	75.3	80.84	30.6916	1.499939987
4.38	75	77.73	7.4529	1.350259429
3.89	69.4	74.93	30.5809	1.213509281
3.5	68.5	72.37	14.9769	1.08923964
3.18	66	70.01	16.0801	0.974035529
2.92	65.4	67.81	5.8081	0.869267771
2.69	65	65.74	0.5476	0.766120826
2.5	63	63.77	0.5929	0.671726992
2.33	62.8	61.89	0.8281	0.578588314
2.19	61.4	60.08	1.7424	0.494381183
2.06	61.2	58.33	8.2369	0.408815101
1.94	60	56.63	11.3569	0.322186044
1.84	60	54.97	25.3009	0.243194537
1.75	57.5	53.34	17.3056	0.165702981
1.67	56	51.72	18.3184	0.090689559
1.59	55	50.12	23.8144	0.008670724
1.52	53.7	48.52	26.8324	-0.070119918
1.46	49.5	46.9	6.76	-0.144070235
1.4	44.2	45.27	1.1449	-0.225351487
1.35	44	43.61	0.1521	-0.300050307
1.3	43.7	41.89	3.2761	-0.382767501
1.25	40.6	40.11	0.2401	-0.475884995
1.21	40	38.22	3.1684	-0.560340159
1.17	38.5	36.2	5.29	-0.656981304
1.13	35.7	33.96	3.0276	-0.771236502
1.09	28	31.39	11.4921	-0.913937287
1.06	20.5	28.24	59.9076	-1.054897094
1.03	18	23.77	33.2929	-1.263029148

Tabla C-8 Resultados del ajuste, estación 14050

14050				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
47	98	103.68	32.2624	3.839413771
23.5	98	94.55	11.9025	3.135336654
15.67	88.6	89.15	0.3025	2.718957507
11.75	87.5	85.27	4.9729	2.419709128
9.4	85.9	82.23	13.4689	2.184997779
7.83	83.4	79.71	13.6161	1.990421383
6.71	81.1	77.55	12.6025	1.823993897
5.88	80.2	75.66	20.6116	1.679798458
5.22	78.7	73.97	22.3729	1.54804994
4.7	77	72.44	20.7936	1.430331146
4.27	72.1	71.03	1.1449	1.321166605
3.92	69.3	69.73	0.1849	1.222448984
3.62	67.5	68.51	1.0201	1.129175497
3.36	66	67.37	1.8769	1.040496161
3.13	65.7	66.29	0.3481	0.954743076
2.94	65	65.26	0.0676	0.877739454
2.76	62.8	64.28	2.1904	0.798692445
2.61	61.6	63.33	2.9929	0.727498401
2.47	61.2	62.42	1.4884	0.65593666
2.35	61	61.54	0.2916	0.590029855
2.24	60.7	60.69	0.0001	0.525322724
2.14	60.1	59.86	0.0576	0.462388591
2.04	60	59.04	0.9216	0.394927186
1.96	60	58.25	3.0625	0.337199446
1.88	57	57.46	0.2116	0.275614976
1.81	56.3	56.69	0.1521	0.218096464
1.74	56	55.93	0.0049	0.156665265
1.68	55	55.18	0.0324	0.100421318
1.62	54.6	54.42	0.0324	0.040340912
1.57	54.3	53.67	0.3969	-0.013108248
1.52	54.3	52.92	1.9044	-0.070119918
1.47	54.2	52.17	4.1209	-0.131278218
1.42	52	51.41	0.3481	-0.197339421
1.38	51.8	50.64	1.3456	-0.254384453
1.34	51	49.85	1.3225	-0.31588992
1.31	48.5	49.05	0.3025	-0.365483121
1.27	48.5	48.23	0.0729	-0.43718999
1.24	48	47.37	0.3969	-0.496053695
1.21	47	46.48	0.2704	-0.560340159
1.18	46.2	45.54	0.4356	-0.631438181
1.15	43	44.53	2.3409	-0.711420172
1.12	41.4	43.43	4.1209	-0.803611151
1.09	40	42.2	4.84	-0.913937287
1.07	38.5	40.77	5.1529	-1.003172285
1.04	36.5	38.98	6.1504	-1.181143141
1.02	35.5	36.41	0.8281	-1.369103856

10. ANEXOS

Tabla C-9 Resultados del ajuste, estación 14051

14051				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
29	170.4	135.95	1186.8025	3.349801478
14.5	120.2	120.47	0.0729	2.638631924
9.67	110	111.23	1.5129	2.214944993
7.25	106.3	104.55	3.0625	1.907709152
5.8	105.1	99.25	34.2225	1.664728662
4.83	102.1	94.84	52.7076	1.461096943
4.14	93.2	91.02	4.7524	1.285642156
3.63	85.3	87.63	5.4289	1.132431355
3.22	80	84.56	20.7936	0.989199752
2.9	76.6	81.74	26.4196	0.860721571
2.64	71.5	79.12	58.0644	0.742163752
2.42	69	76.66	58.6756	0.629026243
2.23	68.7	74.32	31.5844	0.519215023
2.07	67.4	72.07	21.8089	0.415682187
1.93	67.1	69.91	7.8961	0.314586512
1.81	66.1	67.79	2.8561	0.218096464
1.71	60.1	65.72	31.5844	0.128988949
1.61	60	63.68	13.5424	0.029912449
1.53	60	61.63	2.6569	-0.058406642
1.45	60	59.58	0.1764	-0.157064647
1.38	60	57.49	6.3001	-0.254384453
1.32	57.2	55.34	3.4596	-0.348588551
1.26	56.1	53.1	9	-0.456275686
1.21	56	50.71	27.9841	-0.560340159
1.16	49	48.11	0.7921	-0.683602509
1.12	47.5	45.16	5.4756	-0.803611151
1.07	46.5	41.58	24.2064	-1.003172285
1.04	44.5	36.56	63.0436	-1.181143141

Tabla C-10 Resultados del ajuste, estación 14052

14052				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
60	142	119.28	516.1984	4.085952773
30	140	106.5	1122.25	3.384294493
20	122	98.95	531.3025	2.970195249
15	88	93.55	30.8025	2.673752092
12	88	89.33	1.7689	2.441716399
10	81.3	85.84	20.6116	2.250367327
8.57	73.5	82.87	87.7969	2.086871756
7.5	71	80.26	85.7476	1.944205697
6.67	70	77.95	63.2025	1.81750357
6	68	75.85	61.6225	1.701983355
5.45	67.5	73.94	41.4736	1.595971431
5	67	72.17	26.7289	1.499939987
4.62	66.7	70.53	14.6689	1.410912192
4.29	64.5	68.99	20.1601	1.326520291
4	60.1	67.54	55.3536	1.245899324
3.75	60	66.17	38.0689	1.170683338
3.53	60	64.87	23.7169	1.099376876
3.33	60	63.63	13.1769	1.029728121
3.16	60	62.44	5.9536	0.966364229
3	60	61.29	1.6641	0.902720456
2.86	58.8	60.19	1.9321	0.843400146
2.73	57.5	59.12	2.6244	0.784867371
2.61	54.5	58.09	12.8881	0.727498401
2.5	54	57.08	9.4864	0.671726992
2.4	53	56.11	9.6721	0.6180462
2.31	52.9	55.15	5.0625	0.567007361
2.22	51	54.22	10.3684	0.513067573
2.14	51	53.3	5.29	0.462388591
2.07	50.5	52.41	3.6481	0.415682187
2	49.5	51.52	4.0804	0.366512921
1.94	49	50.65	2.7225	0.322186044
1.88	49	49.8	0.64	0.275614976
1.82	48.5	48.95	0.2025	0.226540013
1.76	48	48.11	0.0121	0.174650271
1.71	47.5	47.27	0.0529	0.128988949
1.67	47.5	46.44	1.1236	0.090689559
1.62	47	45.61	1.9321	0.040340912
1.58	46.5	44.79	2.9241	-0.00214971
1.54	46	43.96	4.1616	-0.046853581
1.5	45.5	43.14	5.5696	-0.094047828
1.46	44.5	42.3	4.84	-0.144070235
1.43	43.5	41.47	4.1209	-0.183691047
1.4	41.3	40.62	0.4624	-0.225351487
1.36	39	39.77	0.5929	-0.284529067
1.33	39	38.9	0.01	-0.332063652
1.3	38.9	38.01	0.7921	-0.382767501
1.28	38.3	37.11	1.4161	-0.418595693
1.25	38.1	36.18	3.6864	-0.475884995
1.22	38	35.22	7.7284	-0.538233722
1.2	37.9	34.22	13.5424	-0.583198081
1.18	37.5	33.18	18.6624	-0.631438181
1.15	36	32.09	15.2881	-0.711420172
1.13	36	30.92	25.8064	-0.771236502
1.11	35	29.66	28.5156	-0.837955035
1.09	33	28.27	22.3729	-0.913937287
1.07	31.5	26.7	23.04	-1.003172285
1.05	30	24.86	26.4196	-1.113344054
1.03	29.5	22.55	48.3025	-1.263029148
1.02	22.5	19.17	11.0889	-1.369103856

10. ANEXOS

Tabla C-11 Resultados del ajuste, estación 14078

14078				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
58	86	93.61	57.9121	4.051759742
29	81	85.88	23.8144	3.349801478
19.33	80	81.32	1.7424	2.935216244
14.5	80	78.05	3.8025	2.638631924
11.6	75	75.49	0.2401	2.406268161
9.67	75	73.38	2.6244	2.214944993
8.29	75	71.58	11.6964	2.05146517
7.25	71	70	1	1.907709152
6.44	70.5	68.59	3.6481	1.779340035
5.8	69.4	67.32	4.3264	1.664728662
5.27	68.7	66.16	6.4516	1.558666211
4.83	68.4	65.09	10.9561	1.461096943
4.46	68	64.09	15.2881	1.370892868
4.14	68	63.16	23.4256	1.285642156
3.87	67	62.28	22.2784	1.207504108
3.63	65	61.44	12.6736	1.132431355
3.41	64	60.65	11.2225	1.058184006
3.22	61.2	59.89	1.7161	0.989199752
3.05	61	59.17	3.3489	0.923059092
2.9	60.1	58.47	2.6569	0.860721571
2.76	60	57.8	4.84	0.798692445
2.64	59	57.14	3.4596	0.742163752
2.52	59	56.51	6.2001	0.682111169
2.42	59	55.9	9.61	0.629026243
2.32	58	55.3	7.29	0.572815486
2.23	56	54.71	1.6641	0.519215023
2.15	55.8	54.14	2.7556	0.468874827
2.07	55	53.58	2.0164	0.415682187
2	55	53.03	3.8809	0.366512921
1.93	55	52.48	6.3504	0.314586512
1.87	54.6	51.95	7.0225	0.26761739
1.81	53	51.42	2.4964	0.218096464
1.76	52.1	50.89	1.4641	0.174650271
1.71	51	50.37	0.3969	0.128988949
1.66	50.5	49.85	0.4225	0.080848899
1.61	50	49.33	0.4489	0.029912449
1.57	50	48.82	1.3924	-0.013108248
1.53	50	48.3	2.89	-0.058406642
1.49	49.3	47.78	2.3104	-0.106273506
1.45	47.5	47.26	0.0576	-0.157064647
1.41	47	46.74	0.0676	-0.211223042
1.38	47	46.2	0.64	-0.254384453
1.35	45	45.67	0.4489	-0.300050307
1.32	43	45.12	4.4944	-0.348588551
1.29	42.5	44.56	4.2436	-0.400463671
1.26	41	43.98	8.8804	-0.456275686
1.23	41	43.39	5.7121	-0.516821695
1.21	40.5	42.78	5.1984	-0.560340159
1.18	40	42.14	4.5796	-0.631438181
1.16	40	41.46	2.1316	-0.683602509
1.14	40	40.74	0.5476	-0.740575045
1.12	37.8	39.97	4.7089	-0.803611151
1.09	34	39.12	26.2144	-0.913937287
1.07	32.4	38.16	33.1776	-1.003172285
1.05	30.4	37.03	43.9569	-1.113344054
1.04	30	35.62	31.5844	-1.181143141
1.02	29	33.56	20.7936	-1.369103856

Tabla C-12 Resultados del ajuste, estación 14049

14094				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
27	190.5	162.41	789.0481	3.277026048
13.5	152.5	141.5	121	2.564455944
9	138.5	129.01	90.0601	2.138911028
6.75	136	119.95	257.6025	1.830442191
5.4	109.5	112.77	10.6929	1.585748668
4.5	108.6	106.76	3.3856	1.381050422
3.86	107	101.56	29.5936	1.204487741
3.38	98.3	96.93	1.8769	1.047609654
3	88.3	92.73	19.6249	0.902720456
2.7	85	88.85	14.8225	0.770841683
2.45	75.5	85.24	94.8676	0.645263202
2.25	74.9	81.83	48.0249	0.531391212
2.08	74.5	78.57	16.5649	0.422499087
1.93	71	75.43	19.6249	0.314586512
1.8	67.9	72.38	20.0704	0.209573275
1.69	67	69.39	5.7121	0.110046801
1.59	60.5	66.43	35.1649	0.008670724
1.5	60	63.47	12.0409	-0.094047828
1.42	55.2	60.48	27.8784	-0.197339421
1.35	53.8	57.42	13.1044	-0.300050307
1.29	52.8	54.25	2.1025	-0.400463671
1.23	52.5	50.89	2.5921	-0.516821695
1.17	50.5	47.25	10.5625	-0.656981304
1.13	45.3	43.13	4.7089	-0.771236502
1.08	45.2	38.16	49.5616	-0.956545405
1.04	41.6	31.23	107.5369	-1.181143141

10. ANEXOS

Tabla C-13 Resultados del ajuste, estación 14139

14139				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
50	106	96.95	81.9025	3.901938658
25	99.8	88.67	123.8769	3.198534261
16.67	87	83.77	10.4329	2.782838829
12.5	86.3	80.26	36.4816	2.48432751
10	81	77.51	12.1801	2.250367327
8.33	71.9	75.23	11.0889	2.056600865
7.14	70.2	73.29	9.5481	1.891217213
6.25	69.6	71.58	3.9204	1.746671079
5.56	69.5	70.06	0.3136	1.618097878
5	68.2	68.68	0.2304	1.499939987
4.55	68	67.41	0.3481	1.393602483
4.17	64	66.24	5.0176	1.293954231
3.85	63.9	65.15	1.5625	1.201462112
3.57	63.5	64.12	0.3844	1.11273242
3.33	59	63.16	17.3056	1.029728121
3.13	58	62.24	17.9776	0.954743076
2.94	57.2	61.36	17.3056	0.877739454
2.78	57	60.52	12.3904	0.807800601
2.63	56.5	59.71	10.3041	0.737300068
2.5	56.5	58.93	5.9049	0.671726992
2.38	56.5	58.17	2.7889	0.606938313
2.27	56.2	57.44	1.5376	0.543412642
2.17	56.2	56.72	0.2704	0.481714464
2.08	56	56.02	0.0004	0.422499087
2	55.5	55.34	0.0256	0.366512921
1.92	55	54.66	0.1156	0.306923616
1.85	54.9	54	0.81	0.251408559
1.79	54.6	53.34	1.5876	0.200968797
1.72	54.5	52.69	3.2761	0.138310385
1.67	54.5	52.05	6.0025	0.090689559
1.61	53.5	51.41	4.3681	0.029912449
1.56	53.5	50.77	7.4529	-0.024208902
1.52	53	50.13	8.2369	-0.070119918
1.47	52.2	49.49	7.3441	-0.131278218
1.43	51.1	48.84	5.1076	-0.183691047
1.39	51	48.18	7.9524	-0.239734979
1.35	50	47.51	6.2001	-0.300050307
1.32	49.7	46.84	8.1796	-0.348588551
1.28	48.4	46.14	5.1076	-0.418595693
1.25	47.8	45.42	5.6644	-0.475884995
1.22	45.5	44.67	0.6889	-0.538233722
1.19	42.5	43.89	1.9321	-0.60687254
1.16	42.5	43.06	0.3136	-0.683602509
1.14	42.5	42.18	0.1024	-0.740575045
1.11	40	41.21	1.4641	-0.837955035
1.09	36.7	40.12	11.6964	-0.913937287
1.06	36	38.85	8.1225	-1.054897094
1.04	35.5	37.26	3.0976	-1.181143141
1.02	34.5	34.97	0.2209	-1.369103856

Tabla C-14 Resultados del ajuste, estación 14142

14142				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
38	101.3	105.59	18.4041	3.624281669
19	100	94.03	35.6409	2.917527168
12.67	99.3	87.18	146.8944	2.498410846
9.5	82	82.24	0.0576	2.196194392
7.6	78.5	78.36	0.0196	1.958438109
6.33	68.4	75.13	45.2929	1.76055737
5.43	64	72.36	69.8896	1.591894945
4.75	63.5	69.92	41.2164	1.442277465
4.22	63	67.73	22.3729	1.307654107
3.8	63	65.73	7.4529	1.186192975
3.45	62.5	63.89	1.9321	1.072108031
3.17	62.5	62.18	0.1024	0.970207411
2.92	62	60.57	2.0449	0.869267771
2.71	62	59.05	8.7025	0.775539574
2.53	60	57.61	5.7121	0.687261401
2.38	57.3	56.22	1.1664	0.606938313
2.24	57	54.88	4.4944	0.525322724
2.11	54.3	53.59	0.5041	0.442656308
2	52.2	52.33	0.0169	0.366512921
1.9	52	51.11	0.7921	0.291403118
1.81	50	49.9	0.01	0.218096464
1.73	49	48.71	0.0841	0.147535099
1.65	48	47.54	0.2116	0.070896607
1.58	46.5	46.37	0.0169	-0.00214971
1.52	44.5	45.2	0.49	-0.070119918
1.46	44	44.02	0.0004	-0.144070235
1.41	43.5	42.83	0.4489	-0.211223042
1.36	42.6	41.62	0.9604	-0.284529067
1.31	42	40.38	2.6244	-0.365483121
1.27	41.5	39.09	5.8081	-0.43718999
1.23	41.5	37.75	14.0625	-0.516821695
1.19	40.6	36.32	18.3184	-0.60687254
1.15	40	34.78	27.2484	-0.711420172
1.12	37.5	33.08	19.5364	-0.803611151
1.09	26.5	31.11	21.2521	-0.913937287
1.06	25	28.69	13.6161	-1.054897094
1.03	17.5	25.24	59.9076	-1.263029148

10. ANEXOS

Tabla C-15 Resultados del ajuste, estación 14143

14143				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
35	98.2	106.17	63.5209	3.540889304
17.5	93	95.5	6.25	2.832924885
11.67	91	89.16	3.3856	2.412563131
8.75	77.6	84.59	48.8601	2.108986882
7	74.6	80.98	40.7044	1.869824714
5.83	74.4	77.98	12.8164	1.670406638
5	73.6	75.4	3.24	1.499939987
4.38	72.6	73.13	0.2809	1.350259429
3.89	72	71.08	0.8464	1.213509281
3.5	71	69.21	3.2041	1.08923964
3.18	69.3	67.48	3.3124	0.974035529
2.92	66.5	65.87	0.3969	0.869267771
2.69	64.8	64.36	0.1936	0.766120826
2.5	60.4	62.92	6.3504	0.671726992
2.33	59.5	61.54	4.1616	0.578588314
2.19	58.5	60.22	2.9584	0.494381183
2.06	58.4	58.94	0.2916	0.408815101
1.94	58	57.7	0.09	0.322186044
1.84	57.8	56.48	1.7424	0.243194537
1.75	57.5	55.29	4.8841	0.165702981
1.67	55	54.11	0.7921	0.090689559
1.59	55	52.93	4.2849	0.008670724
1.52	53.5	51.76	3.0276	-0.070119918
1.46	51.4	50.58	0.6724	-0.144070235
1.4	50.1	49.39	0.5041	-0.225351487
1.35	49	48.17	0.6889	-0.300050307
1.3	48.5	46.92	2.4964	-0.382767501
1.25	46.8	45.61	1.4161	-0.475884995
1.21	46.4	44.24	4.6656	-0.560340159
1.17	44.8	42.75	4.2025	-0.656981304
1.13	43.8	41.12	7.1824	-0.771236502
1.09	41.2	39.24	3.8416	-0.913937287
1.06	40.5	36.93	12.7449	-1.054897094
1.03	22.5	33.66	124.5456	-1.263029148

Tabla C-16 Resultados del ajuste, estación 14151

14151				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
26	120.5	125.27	22.7529	3.238550275
13	116	110.74	27.6676	2.525194941
8.67	104.1	102.06	4.1616	2.099218418
6.5	103.6	95.76	61.4656	1.789437659
5.2	85.5	90.76	27.6676	1.543771433
4.33	81.4	86.57	26.7289	1.337141451
3.71	80.5	82.93	5.9049	1.158097227
3.25	79	79.69	0.4761	1.000420501
2.89	78	76.75	1.5625	0.856420105
2.6	74.2	74.04	0.0256	0.722559893
2.36	73.4	71.49	3.6481	0.595699434
2.17	69	69.09	0.0081	0.481714464
2	67.5	66.79	0.5041	0.366512921
1.86	66.5	64.56	3.7636	0.25954904
1.73	66.1	62.39	13.7641	0.147535099
1.63	62.5	60.25	5.0625	0.050645636
1.53	62	58.12	15.0544	-0.058406642
1.44	55	55.98	0.9604	-0.170268936
1.37	54	53.79	0.0441	-0.269311624
1.3	51.7	51.53	0.0289	-0.382767501
1.24	51	49.14	3.4596	-0.496053695
1.18	47	46.56	0.1936	-0.631438181
1.13	46.5	43.65	8.1225	-0.771236502
1.08	38.1	40.14	4.1616	-0.956545405
1.04	25	35.27	105.4729	-1.181143141

10. ANEXOS

Tabla C-17 Resultados del ajuste, estación 14155

14155				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
47	128	109.85	329.4225	3.839413771
23.5	101.5	100.2	1.69	3.135336654
15.67	91.5	94.49	8.9401	2.718957507
11.75	88.5	90.39	3.5721	2.419709128
9.4	85.5	87.17	2.7889	2.184997779
7.83	85	84.51	0.2401	1.990421383
6.71	79	82.23	10.4329	1.823993897
5.88	77	80.23	10.4329	1.679798458
5.22	76	78.45	6.0025	1.54804994
4.7	75	76.83	3.3489	1.430331146
4.27	73.7	75.34	2.6896	1.321166605
3.92	73	73.96	0.9216	1.222448984
3.62	72	72.68	0.4624	1.129175497
3.36	72	71.47	0.2809	1.040496161
3.13	71.7	70.33	1.8769	0.954743076
2.94	71	69.24	3.0976	0.877739454
2.76	71	68.2	7.84	0.798692445
2.61	65.5	67.2	2.89	0.727498401
2.47	65.5	66.24	0.5476	0.65593666
2.35	65.5	65.31	0.0361	0.590029855
2.24	65	64.41	0.3481	0.525322724
2.14	65	63.53	2.1609	0.462388591
2.04	64.5	62.67	3.3489	0.394927186
1.96	63.5	61.83	2.7889	0.337199446
1.88	63.5	61	6.25	0.275614976
1.81	63	60.18	7.9524	0.218096464
1.74	63	59.38	13.1044	0.156665265
1.68	62	58.58	11.6964	0.100421318
1.62	62	57.78	17.8084	0.040340912
1.57	58.5	56.99	2.2801	-0.013108248
1.52	55.7	56.2	0.25	-0.070119918
1.47	53.5	55.4	3.61	-0.131278218
1.42	53.4	54.6	1.44	-0.197339421
1.38	53	53.78	0.6084	-0.254384453
1.34	52	52.95	0.9025	-0.31588992
1.31	52	52.11	0.0121	-0.365483121
1.27	51.3	51.23	0.0049	-0.43718999
1.24	51	50.33	0.4489	-0.496053695
1.21	50	49.39	0.3721	-0.560340159
1.18	50	48.39	2.5921	-0.631438181
1.15	47	47.32	0.1024	-0.711420172
1.12	45	46.16	1.3456	-0.803611151
1.09	43.5	44.86	1.8496	-0.913937287
1.07	39	43.35	18.9225	-1.003172285
1.04	38.4	41.46	9.3636	-1.181143141
1.02	37.5	38.74	1.5376	-1.369103856

Tabla C-18 Resultados del ajuste, estación 14158

14158				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
70	113.3	114.36	1.1236	4.2413095
35	106	104.19	3.2761	3.540889304
23.33	102	98.19	14.5161	3.127915543
17.5	101	93.9	50.41	2.832924885
14	87.5	90.55	9.3025	2.602232166
11.67	83.5	87.8	18.49	2.412563131
10	83.2	85.45	5.0625	2.250367327
8.75	83	83.39	0.1521	2.108986882
7.78	82.6	81.57	1.0609	1.983555264
7	80	79.92	0.0064	1.869824714
6.36	80	78.42	2.4964	1.765715172
5.83	78.5	77.03	2.1609	1.670406638
5.38	76	75.75	0.0625	1.581629915
5	76	74.55	2.1025	1.499939987
4.67	73.6	73.42	0.0324	1.423093584
4.38	72.3	72.36	0.0036	1.350259429
4.12	72	71.35	0.4225	1.280061644
3.89	70.6	70.38	0.0484	1.213509281
3.68	70.5	69.46	1.0816	1.148550845
3.5	70	68.58	2.0164	1.08923964
3.33	68.9	67.74	1.3456	1.029728121
3.18	68.2	66.92	1.6384	0.974035529
3.04	67	66.13	0.7569	0.919025198
2.92	65	65.37	0.1369	0.869267771
2.8	65	64.63	0.1369	0.816823857
2.69	64	63.91	0.0081	0.766120826
2.59	63.3	63.21	0.0081	0.717595911
2.5	62.5	62.52	0.0004	0.671726992
2.41	60.5	61.85	1.8225	0.62355201
2.33	60.2	61.2	1	0.578588314
2.26	60.2	60.55	0.1225	0.537421013
2.19	59.5	59.92	0.1764	0.494381183
2.12	59	59.3	0.09	0.449280009
2.06	57.8	58.69	0.7921	0.408815101
2	57.8	58.09	0.0841	0.366512921
1.94	57.5	57.49	1E-04	0.322186044
1.89	56.5	56.91	0.1681	0.283543123
1.84	55.5	56.32	0.6724	0.243194537
1.79	55.3	55.75	0.2025	0.200968797
1.75	55	55.17	0.0289	0.165702981
1.71	53	54.6	2.56	0.128988949
1.67	53	54.04	1.0816	0.090689559
1.63	53	53.47	0.2209	0.050645636
1.59	52	52.91	0.8281	0.008670724
1.56	52	52.34	0.1156	-0.024208902
1.52	51.2	51.78	0.3364	-0.070119918
1.49	51	51.21	0.0441	-0.106273506
1.46	50.8	50.64	0.0256	-0.144070235
1.43	50.6	50.07	0.2809	-0.183691047
1.4	50.6	49.49	1.2321	-0.225351487
1.37	50	48.91	1.1881	-0.269311624
1.35	50	48.32	2.8224	-0.300050307
1.32	49	47.72	1.6384	-0.348588551
1.3	49	47.11	3.5721	-0.382767501
1.27	48	46.49	2.2801	-0.43718999
1.25	48	45.86	4.5796	-0.475884995
1.23	46.5	45.2	1.69	-0.516821695
1.21	44.7	44.53	0.0289	-0.560340159
1.19	44.7	43.83	0.7569	-0.60687254
1.17	44	43.1	0.81	-0.656981304
1.15	44	42.33	2.7889	-0.711420172
1.13	43.5	41.52	3.9204	-0.771236502
1.11	40	40.66	0.4356	-0.837955035
1.09	40	39.71	0.0841	-0.913937287
1.08	40	38.67	1.7689	-0.956545405
1.06	37.8	37.5	0.09	-1.054897094
1.04	37.5	36.11	1.9321	-1.181143141
1.03	29	34.35	28.6225	-1.263029148
1.01	26.5	31.76	27.6676	-1.529337982

10. ANEXOS

Tabla C-19 Resultados del ajuste, estación 14184

14184				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
30	134	120.28	188.2384	3.384294493
15	119.5	105.38	199.3744	2.673752092
10	108.6	96.51	146.1681	2.250367327
7.5	98.2	90.09	65.7721	1.944205697
6	90.2	85.01	26.9361	1.701983355
5	88.6	80.78	61.1524	1.499939987
4.29	70	77.12	50.6944	1.326520291
3.75	67	73.88	47.3344	1.170683338
3.33	67	70.95	15.6025	1.029728121
3	62.7	68.26	30.9136	0.902720456
2.73	61.2	65.76	20.7936	0.784867371
2.5	61	63.42	5.8564	0.671726992
2.31	61	61.19	0.0361	0.567007361
2.14	60	59.07	0.8649	0.462388591
2	54.5	57.02	6.3504	0.366512921
1.88	50	55.03	25.3009	0.275614976
1.76	49.5	53.09	12.8881	0.174650271
1.67	49	51.17	4.7089	0.090689559
1.58	48.5	49.27	0.5929	-0.00214971
1.5	44.8	47.37	6.6049	-0.094047828
1.43	43.5	45.45	3.8025	-0.183691047
1.36	43	43.49	0.2401	-0.284529067
1.3	40	41.47	2.1609	-0.382767501
1.25	40	39.36	0.4096	-0.475884995
1.2	39	37.11	3.5721	-0.583198081
1.15	34.5	34.65	0.0225	-0.711420172
1.11	34.3	31.85	6.0025	-0.837955035
1.07	31.5	28.45	9.3025	-1.003172285
1.03	30.5	23.68	46.5124	-1.263029148

Tabla C-20 Resultados del ajuste, estación 14185

14185				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
31	92.8	104.13	128.3689	3.417637092
15.5	85.6	93.81	67.4041	2.707679652
10.33	82.5	87.67	26.7289	2.28457556
7.75	80.5	83.23	7.4529	1.979412778
6.2	77.2	79.72	6.3504	1.73789269
5.17	77	76.8	0.04	1.537318886
4.43	74.8	74.27	0.2809	1.363205677
3.88	72	72.04	0.0016	1.210511269
3.44	71.5	70.02	2.1904	1.068645515
3.1	70	68.17	3.3489	0.942981875
2.82	68	66.46	2.3716	0.825763829
2.58	68	64.85	9.9225	0.712606181
2.38	65	63.32	2.8224	0.606938313
2.21	64.2	61.87	5.4289	0.506879825
2.07	62	60.48	2.3104	0.415682187
1.94	60.5	59.12	1.9044	0.322186044
1.82	58	57.8	0.04	0.226540013
1.72	56.5	56.51	1E-04	0.138310385
1.63	55.9	55.23	0.4489	0.050645636
1.55	54.6	53.95	0.4225	-0.035455877
1.48	54	52.67	1.7689	-0.118681532
1.41	53.2	51.38	3.3124	-0.211223042
1.35	53	50.06	8.6436	-0.300050307
1.29	52.6	48.69	15.2881	-0.400463671
1.24	49	47.26	3.0276	-0.496053695
1.19	47	45.73	1.6129	-0.60687254
1.15	46	44.05	3.8025	-0.711420172
1.11	41	42.14	1.2996	-0.837955035
1.07	39.3	39.82	0.2704	-1.003172285
1.03	27.6	36.54	79.9236	-1.263029148

Tabla C-21 Resultados del ajuste, estación 14190

14190				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
14	93.5	88.99	20.3401	2.602232166
7	85.8	77.48	69.2224	1.869824714
4.67	75.5	70.45	25.5025	1.423093584
3.5	69.5	65.22	18.3184	1.08923964
2.8	68	60.94	49.8436	0.816823857
2.33	60	57.22	7.7284	0.578588314
2	53.7	53.86	0.0256	0.366512921
1.75	50	50.71	0.5041	0.165702981
1.56	48	47.64	0.1296	-0.024208902
1.4	39.1	44.56	29.8116	-0.225351487
1.27	38.5	41.31	7.8961	-0.43718999
1.17	36.5	37.64	1.2996	-0.656981304
1.08	30.5	32.86	5.5696	-0.956545405

10. ANEXOS

Tabla C-22 Resultados del ajuste, estación 14301

14301				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	$-\ln(\ln(T/T-1))$
29	91.5	95.98	20.0704	3.349801478
14.5	85	88.23	10.4329	2.638631924
9.67	82.4	83.62	1.4884	2.214944993
7.25	81.4	80.28	1.2544	1.907709152
5.8	81	77.63	11.3569	1.664728662
4.83	78.5	75.42	9.4864	1.461096943
4.14	78	73.51	20.1601	1.285642156
3.63	77	71.82	26.8324	1.132431355
3.22	76.5	70.29	38.5641	0.989199752
2.9	73.5	68.88	21.3444	0.860721571
2.64	72.5	67.57	24.3049	0.742163752
2.42	72	66.34	32.0356	0.629026243
2.23	71.2	65.17	36.3609	0.519215023
2.07	66.8	64.04	7.6176	0.415682187
1.93	62.3	62.96	0.4356	0.314586512
1.81	60	61.91	3.6481	0.218096464
1.71	60	60.87	0.7569	0.128988949
1.61	59	59.85	0.7225	0.029912449
1.53	57	58.83	3.3489	-0.058406642
1.45	55	57.8	7.84	-0.157064647
1.38	54.5	56.75	5.0625	-0.254384453
1.32	54.3	55.68	1.9044	-0.348588551
1.26	54	54.56	0.3136	-0.456275686
1.21	52	53.37	1.8769	-0.560340159
1.16	52	52.07	0.0049	-0.683602509
1.12	51.2	50.59	0.3721	-0.803611151
1.07	48.2	48.8	0.36	-1.003172285
1.04	46	46.29	0.0841	-1.181143141

Tabla C-23 Resultados del ajuste, estación 14311

14311				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
29	100.5	90.68	96.4324	3.349801478
14.5	90.5	81.68	77.7924	2.638631924
9.67	80.6	76.31	18.4041	2.214944993
7.25	72.1	72.42	0.1024	1.907709152
5.8	71	69.34	2.7556	1.664728662
4.83	70.1	66.78	11.0224	1.461096943
4.14	69.4	64.55	23.5225	1.285642156
3.63	64	62.58	2.0164	1.132431355
3.22	57	60.8	14.44	0.989199752
2.9	54.8	59.16	19.0096	0.860721571
2.64	53.5	57.64	17.1396	0.742163752
2.42	53.4	56.21	7.8961	0.629026243
2.23	52	54.84	8.0656	0.519215023
2.07	50.5	53.54	9.2416	0.415682187
1.93	50.5	52.28	3.1684	0.314586512
1.81	50	51.05	1.1025	0.218096464
1.71	49.6	49.85	0.0625	0.128988949
1.61	48	48.66	0.4356	0.029912449
1.53	47.5	47.47	0.0009	-0.058406642
1.45	47.2	46.27	0.8649	-0.157064647
1.38	47	45.06	3.7636	-0.254384453
1.32	45.5	43.81	2.8561	-0.348588551
1.26	41.5	42.51	1.0201	-0.456275686
1.21	40.8	41.12	0.1024	-0.560340159
1.16	38.5	39.61	1.2321	-0.683602509
1.12	37.3	37.89	0.3481	-0.803611151
1.07	37	35.81	1.4161	-1.003172285
1.04	36.2	32.89	10.9561	-1.181143141

Tabla C-24 Resultados del ajuste, estación 14312

14312				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
12	76	80.21	17.7241	2.441716399
6	66	70.46	19.8916	1.701983355
4	64.5	64.44	0.0036	1.245899324
3	60	59.92	0.0064	0.902720456
2.4	60	56.16	14.7456	0.6180462
2	55.5	52.85	7.0225	0.366512921
1.71	48.5	49.77	1.6129	0.128988949
1.5	48.5	46.77	2.9929	-0.094047828
1.33	47.5	43.71	14.3641	-0.332063652
1.2	46	40.32	32.2624	-0.583198081
1.09	27.5	36.01	72.4201	-0.913937287

10. ANEXOS

Tabla C-25 Resultados del ajuste, estación 14343

14343				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
19	92	99.87	61.9369	2.917527168
9.5	89.5	89.07	0.1849	2.196194392
6.33	89	82.57	41.3449	1.76055737
4.75	80	77.8	4.84	1.442277465
3.8	73	73.96	0.9216	1.186192975
3.17	73	70.71	5.2441	0.970207411
2.71	70.2	67.85	5.5225	0.775539574
2.38	70	65.26	22.4676	0.606938313
2.11	69	62.85	37.8225	0.442656308
1.9	68.6	60.58	64.3204	0.291403118
1.73	60.5	58.39	4.4521	0.147535099
1.58	55.5	56.24	0.5476	-0.00214971
1.46	53	54.09	1.1881	-0.144070235
1.36	47	51.89	23.9121	-0.284529067
1.27	46.5	49.58	9.4864	-0.43718999
1.19	46	47.05	1.1025	-0.60687254
1.12	44.5	44.08	0.1764	-0.803611151
1.06	35.6	40.06	19.8916	-1.054897094

Tabla C-26 Resultados del ajuste, estación 14350

14350				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
28	130	116.86	172.6596	3.314075796
14	117.5	105.04	155.2516	2.602232166
9.33	96.7	97.98	1.6384	2.177084724
7	88.5	92.87	19.0969	1.869824714
5.6	88.2	88.83	0.3969	1.62602322
4.67	85	85.44	0.1936	1.423093584
4	78.2	82.51	18.5761	1.245899324
3.5	78.2	79.91	2.9241	1.08923964
3.11	78.2	77.56	0.4096	0.94691805
2.8	78.2	75.39	7.8961	0.816823857
2.55	78	73.37	21.4369	0.697479696
2.33	77	71.46	30.6916	0.578588314
2.15	76	69.65	40.3225	0.468874827
2	73.9	67.91	35.8801	0.366512921
1.87	69.3	66.22	9.4864	0.26761739
1.75	63.8	64.58	0.6084	0.165702981
1.65	60.3	62.95	7.0225	0.070896607
1.56	58	61.34	11.1556	-0.024208902
1.47	57.5	59.72	4.9284	-0.131278218
1.4	57	58.08	1.1664	-0.225351487
1.33	51.8	56.4	21.16	-0.332063652
1.27	50.8	54.65	14.8225	-0.43718999
1.22	50.7	52.79	4.3681	-0.538233722
1.17	49	50.77	3.1329	-0.656981304
1.12	47.3	48.48	1.3924	-0.803611151
1.08	46.6	45.71	0.7921	-0.956545405
1.04	42.3	41.84	0.2116	-1.181143141

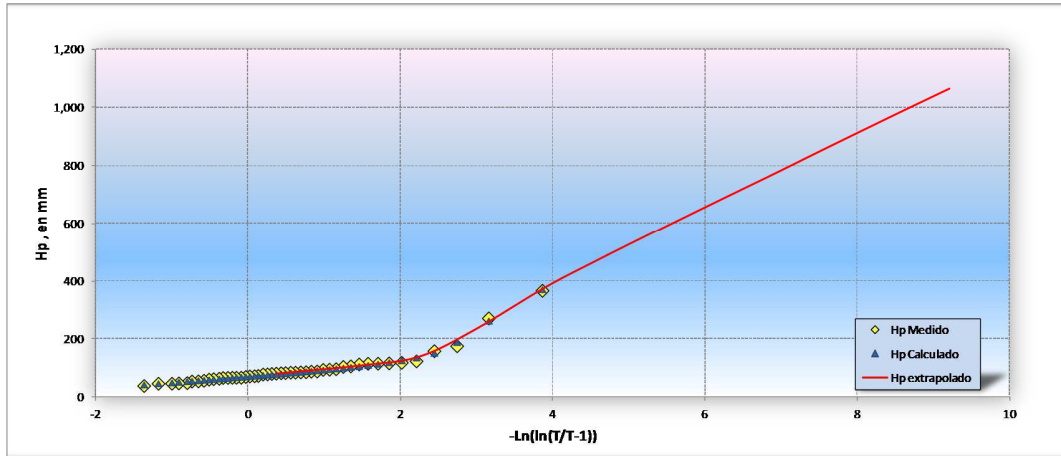
Tabla C-27 Resultados del ajuste, estación 14390

14390				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
18	107.5	91.9	243.36	2.861928676
9	88.6	80.83	60.3729	2.138911028
6	80.2	74.14	36.7236	1.701983355
4.5	69.3	69.22	0.0064	1.381050422
3.6	62.5	65.26	7.6176	1.122631247
3	60	61.89	3.5721	0.902720456
2.57	54.6	58.92	18.6624	0.707590425
2.25	51.8	56.21	19.4481	0.531391212
2	51	53.68	7.1824	0.366512921
1.8	49.8	51.28	2.1904	0.209573275
1.64	47	48.94	3.7636	0.060829839
1.5	46.5	46.63	0.0169	-0.094047828
1.38	46.2	44.27	3.7249	-0.254384453
1.29	41.4	41.81	0.1681	-0.400463671
1.2	39	39.13	0.0169	-0.583198081
1.13	36.5	36.01	0.2401	-0.771236502
1.06	35.5	31.81	13.6161	-1.054897094

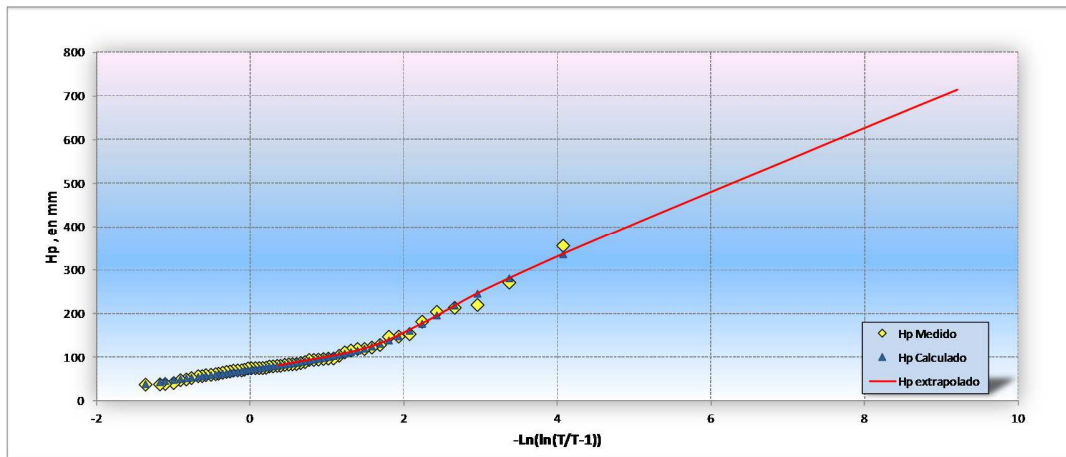
Tabla C-28 Resultados del ajuste, estación 14395

14395				
T	Hp Medido	Hp Calculado	Error	-Ln(ln(T/T-1))
12	51	50.29	0.5041	2.441716399
6	45	43.92	1.1664	1.701983355
4	45	39.99	25.1001	1.245899324
3	42	37.04	24.6016	0.902720456
2.4	40	34.59	29.2681	0.6180462
2	32	32.42	0.1764	0.366512921
1.71	27.6	30.41	7.8961	0.128988949
1.5	27.4	28.46	1.1236	-0.094047828
1.33	24.7	26.46	3.0976	-0.332063652
1.2	21.4	24.25	8.1225	-0.583198081
1.09	20.8	21.44	0.4096	-0.913937287

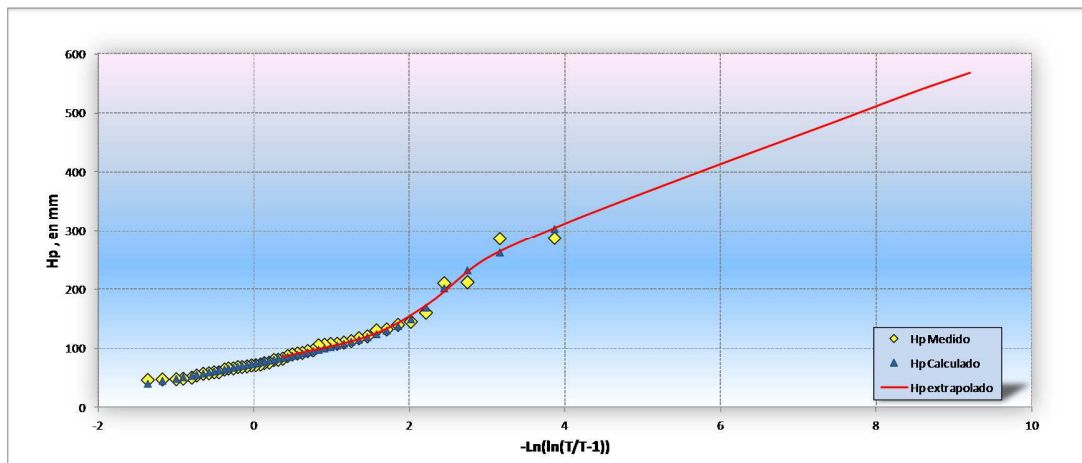
D. GRÁFICAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA BAJA)



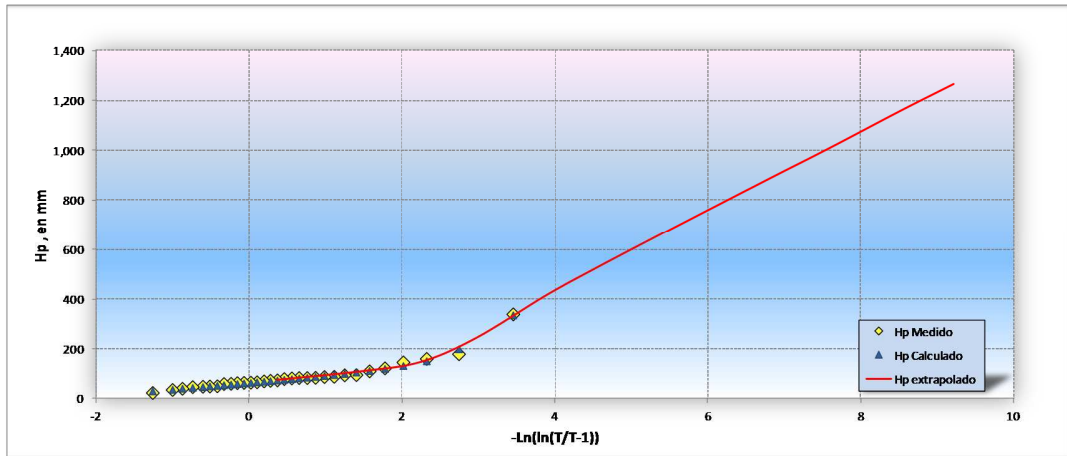
Grafica D-1 Estación 6007 Comala, Comala, ajuste Doble Gumbel



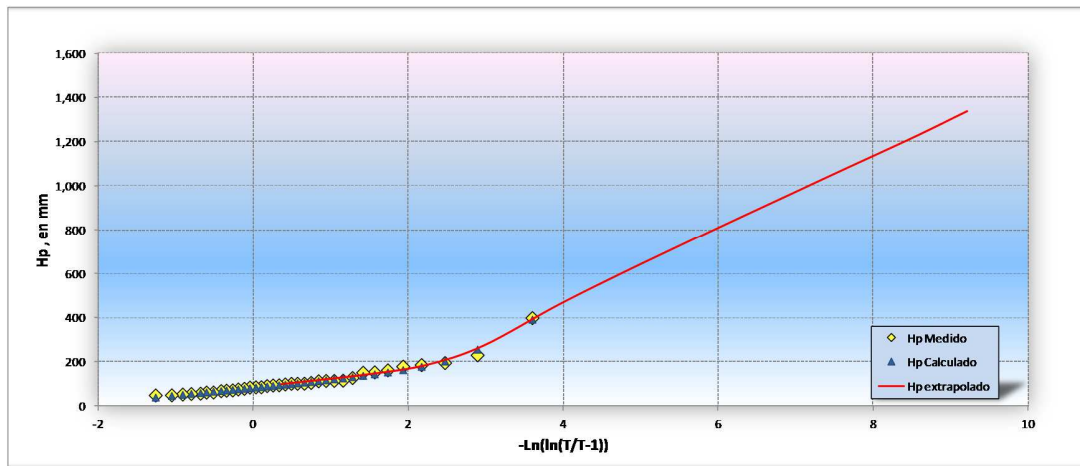
Grafica D-2 Estación 6008 Coquimatlán, Coquimatlán, ajuste Doble Gumbel



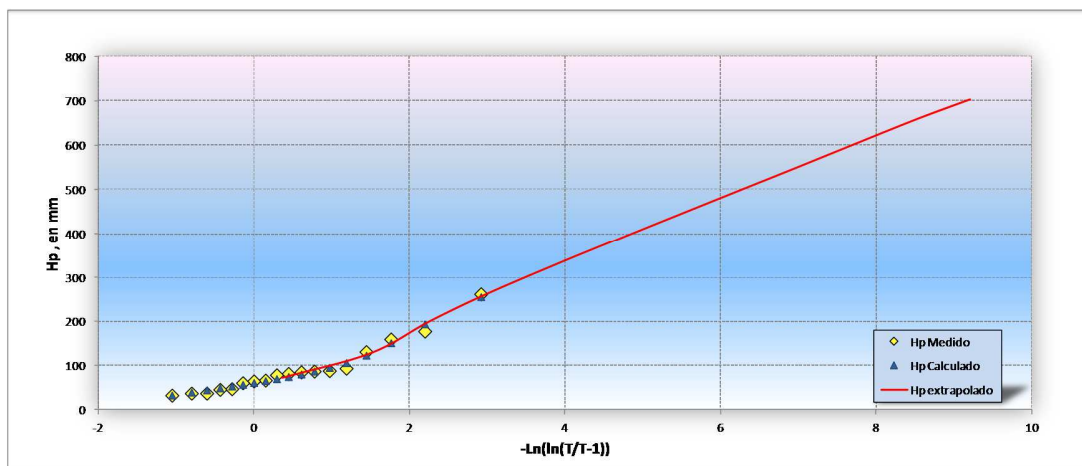
Grafica D-3 Estación 6014 Las Peñitas, Comala, ajuste Doble Gumbel



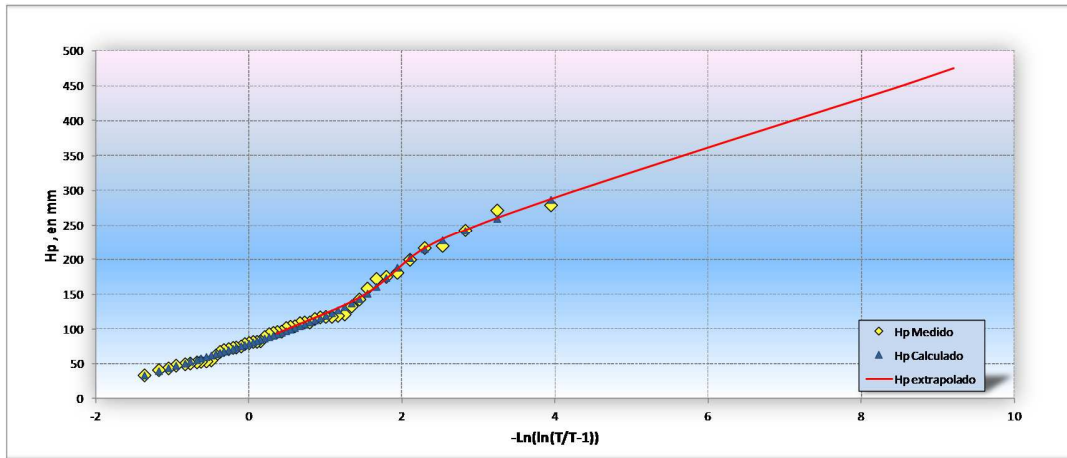
Gráfica D-4 Estación 6015 Los Ortices, Colima, ajuste Doble Gumbel



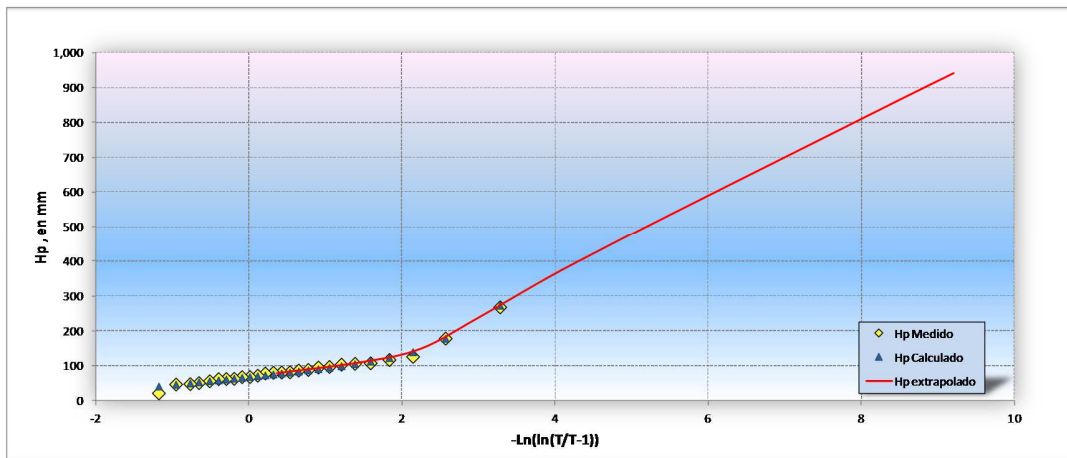
Gráfica D-5 Estación 6017 Madrid, Tecomán, ajuste Doble Gumbel



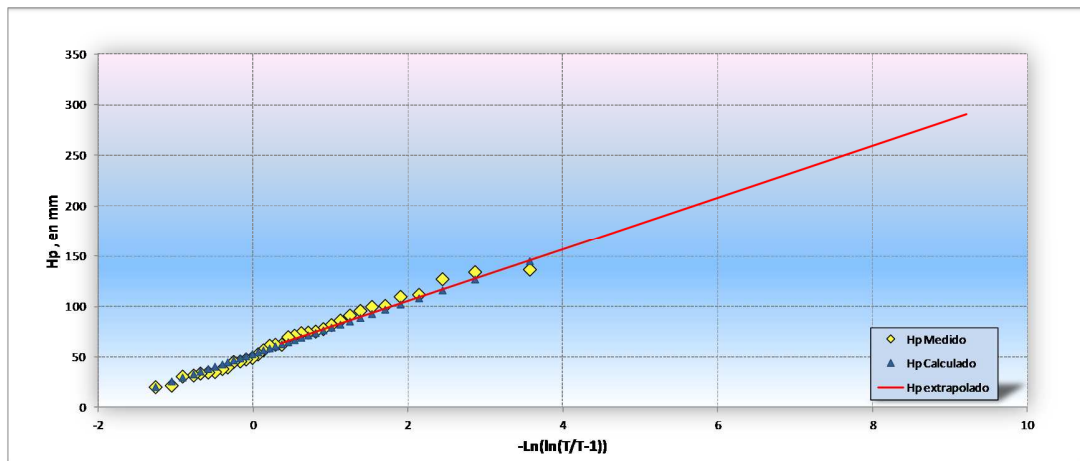
Grafica D-6 Estación 6020 Pueblo Juárez, Coquimatlán, ajuste Doble Gumbel



Grafica D-7 Estación 6023 Rancho Papaloapan, Tecomán, ajuste Doble Gumbel



Grafica D-8 Estación 6052 E.T.A. 254, Comala, ajuste Doble Gumbel



Grafica D-9 Estación 14352 Zapotitlán, Zapotitlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud

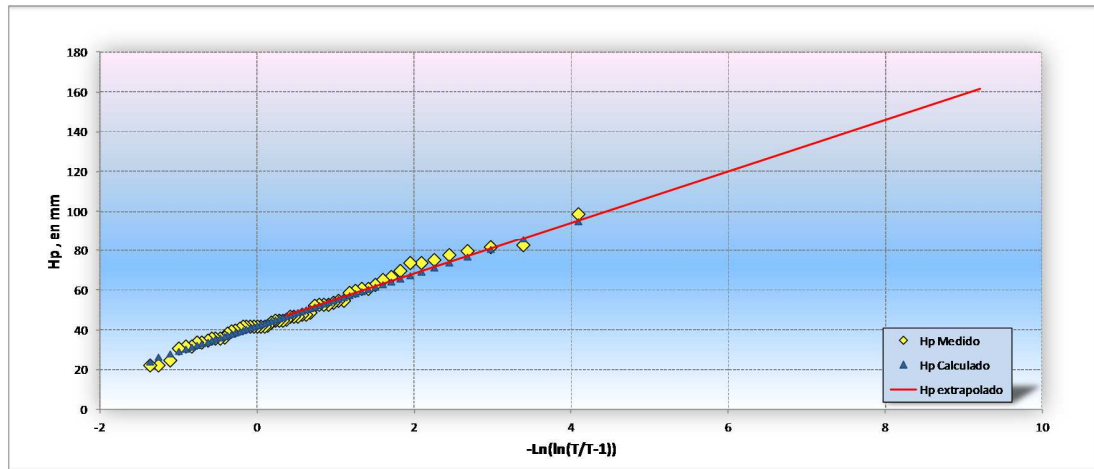
Estación 6056 Canoas, Tolimán , NO SE CONSIDERA

Estación 6065 Mixcuate, Villa Juárez, NO SE CONSIDERA

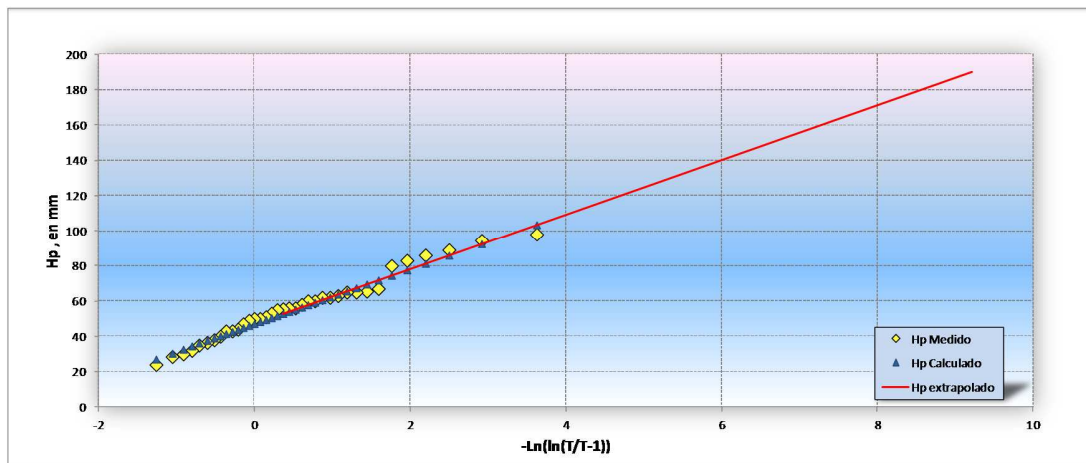
Estación 6066 El Terrero, Minatitlán, NO SE CONSIDERA

Estación 6075 El Algodonal Coquimatlán, NO SE CONSIDERA

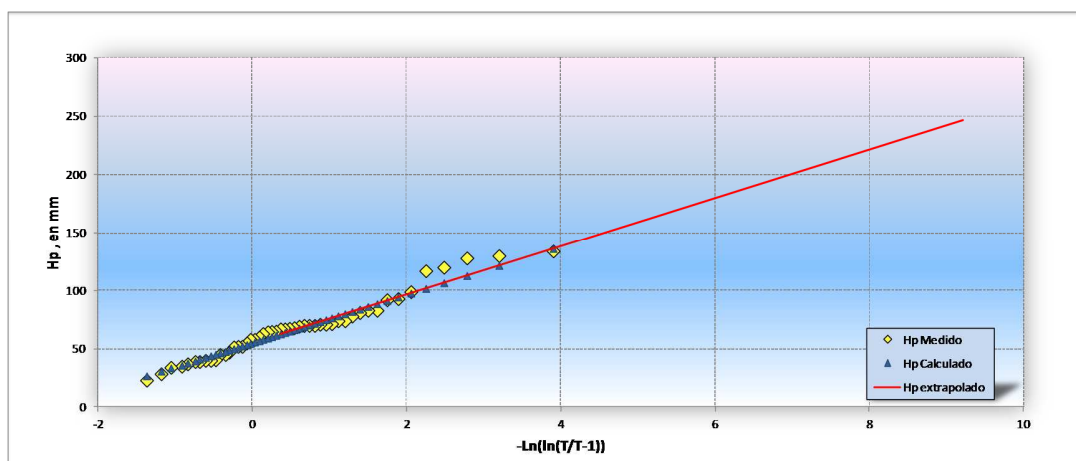
E. GRÁFICAS DE AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN A DATOS DE LLUVIA (ZONA ALTA)



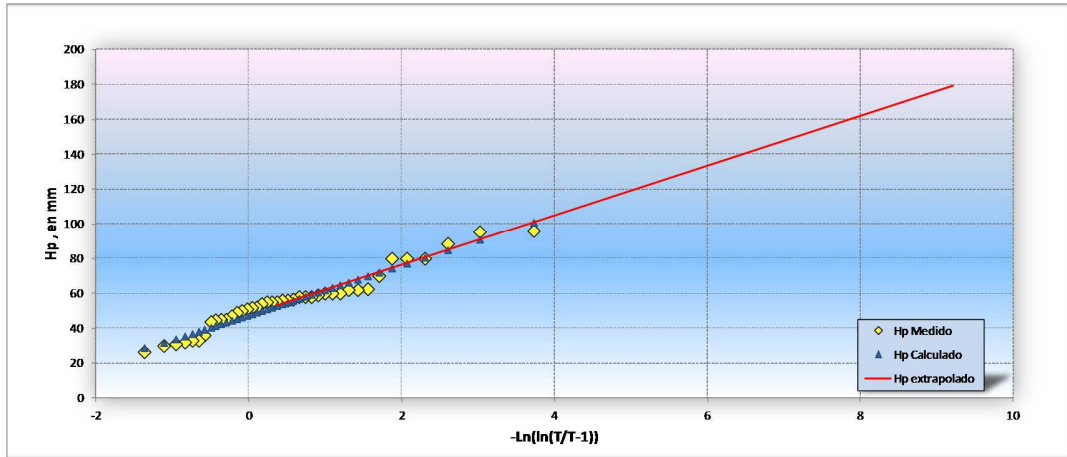
Gráfica E-1 Estación 14013 Atemajac de Brizuela, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



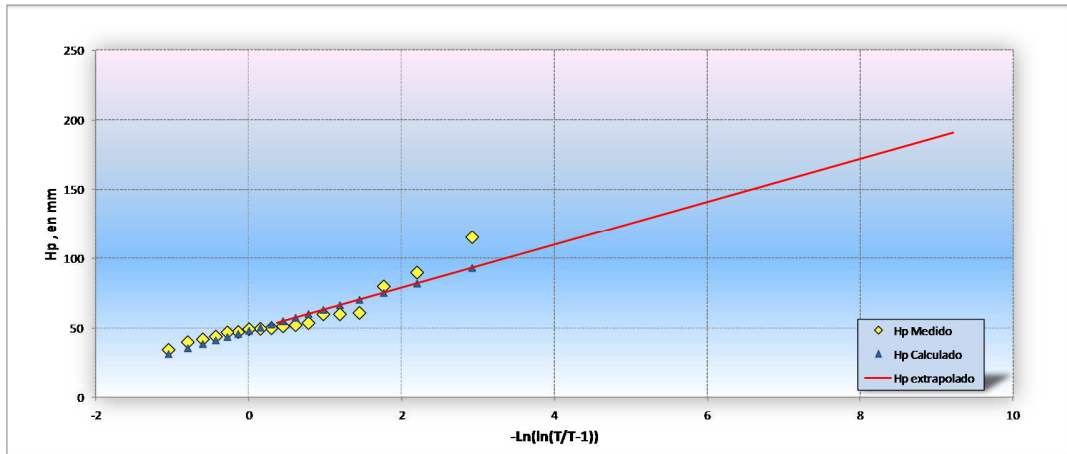
Gráfica E-2 Estación 14014 Atengo, Atengo (SMN), ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



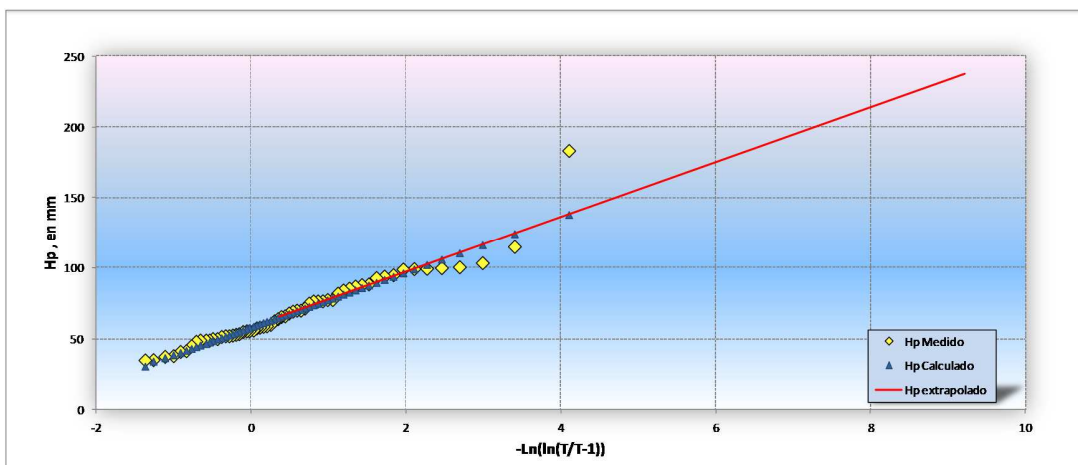
Gráfica E-3 Estación 14019 Autlán, Autlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



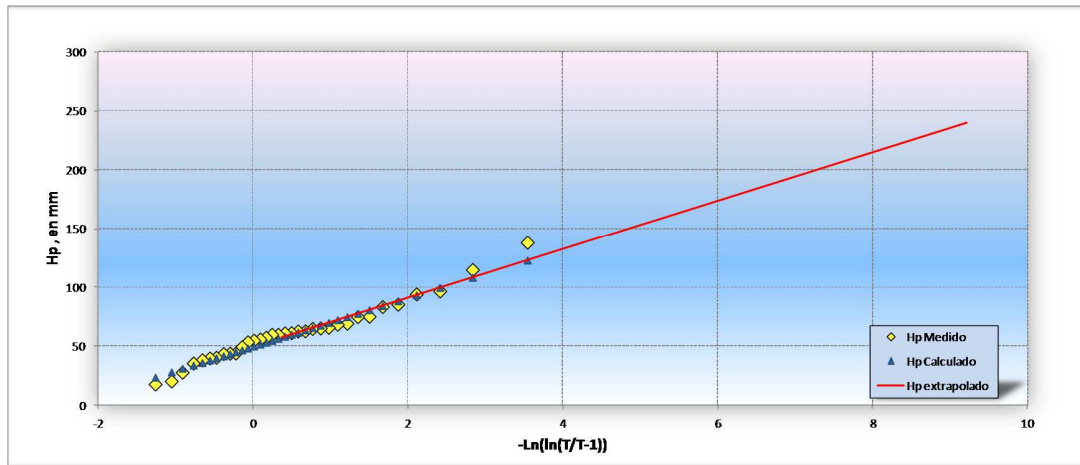
Gráfica E-4 Estación 14031 Venustiano Carranza, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



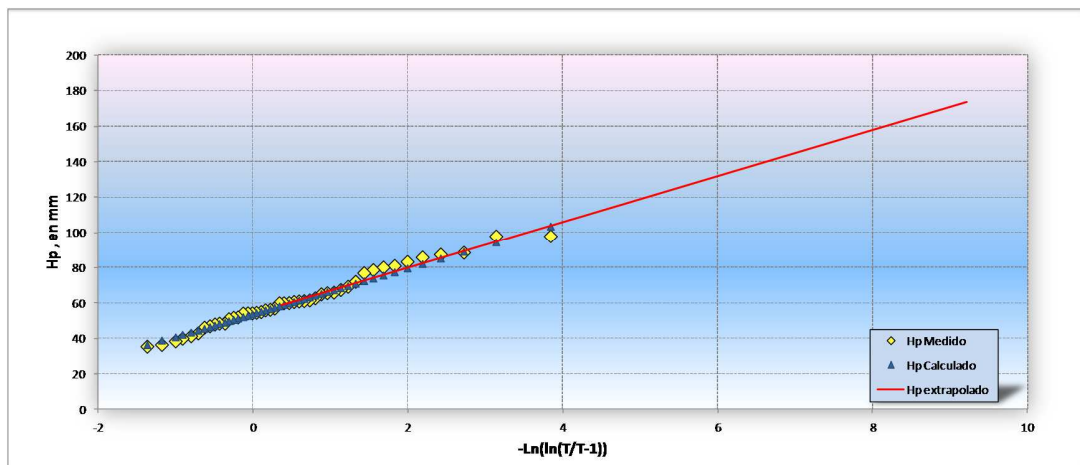
Gráfica E-5 Estación 14041 Chiquilistlán, ajuste Gumbel momentos



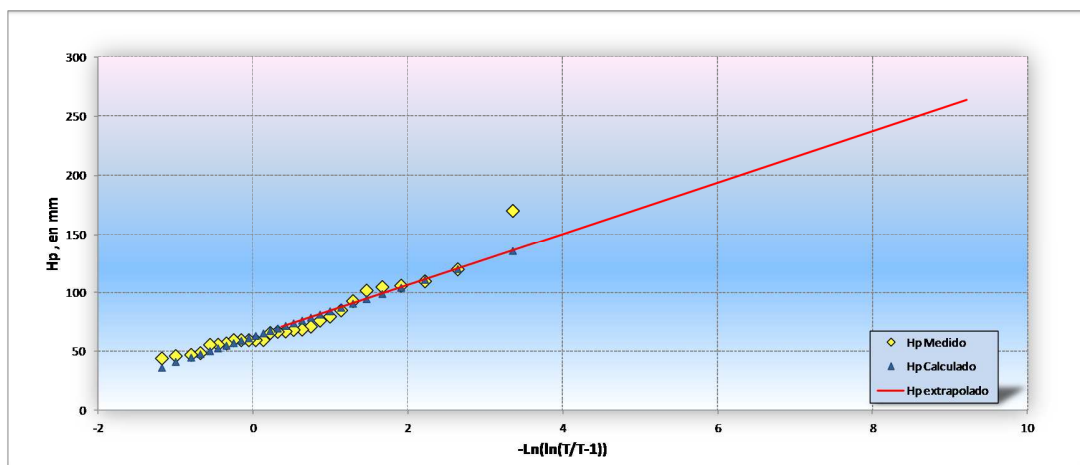
Gráfica E-6 Estación 14043 Ejutla, Ejutla, ajuste Gumbel momentos



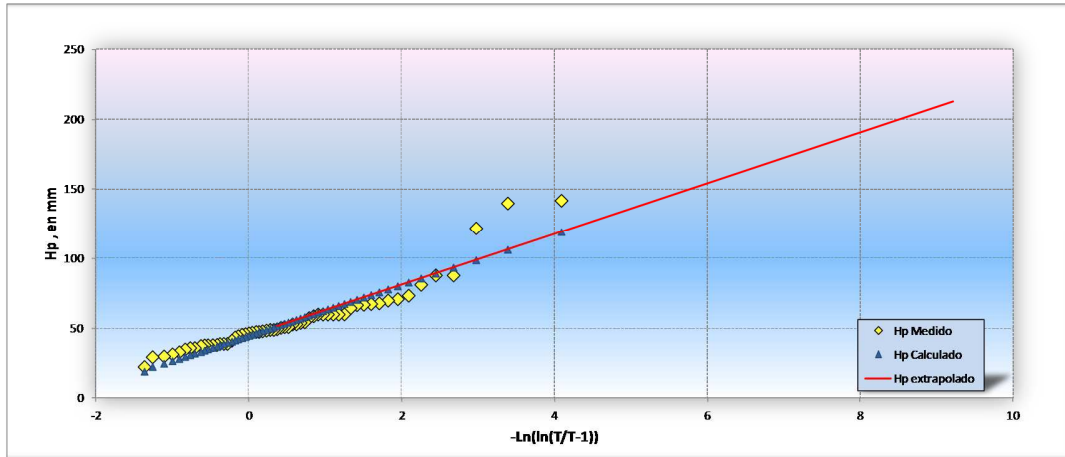
Gráfica E-7 Estación 14046 El Chante, Autlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



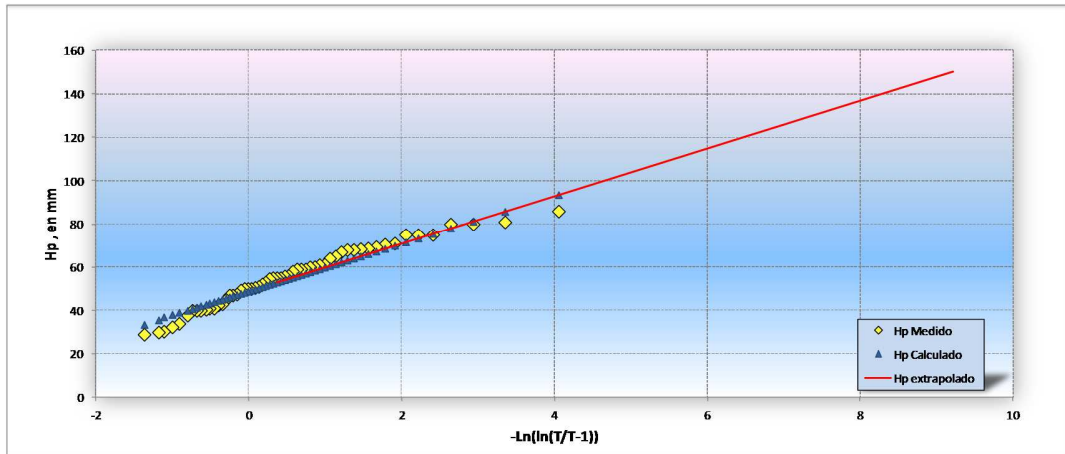
Gráfica E-8 Estación 14050 El Grullo, El Grullo, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



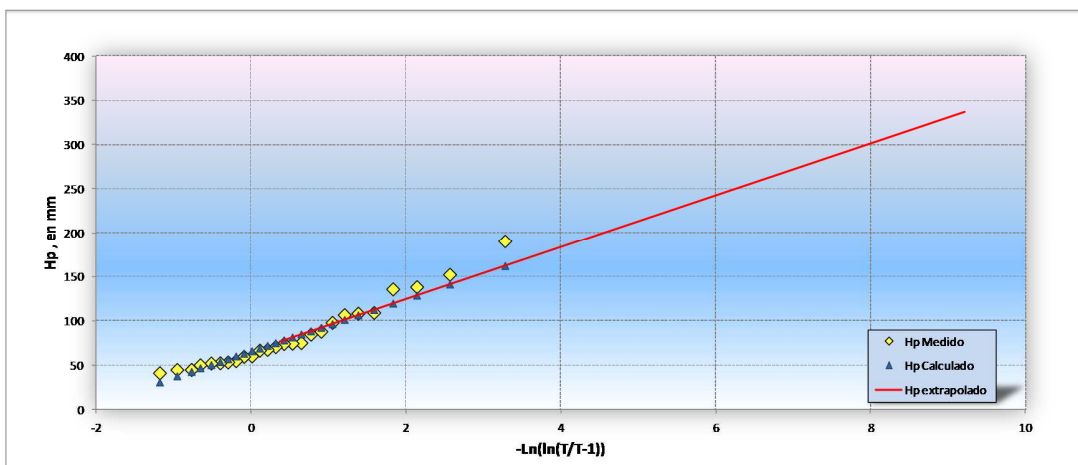
Gráfica E-9 Estación 14051 El Limón, El Limón (SMN), ajuste Gumbel momentos



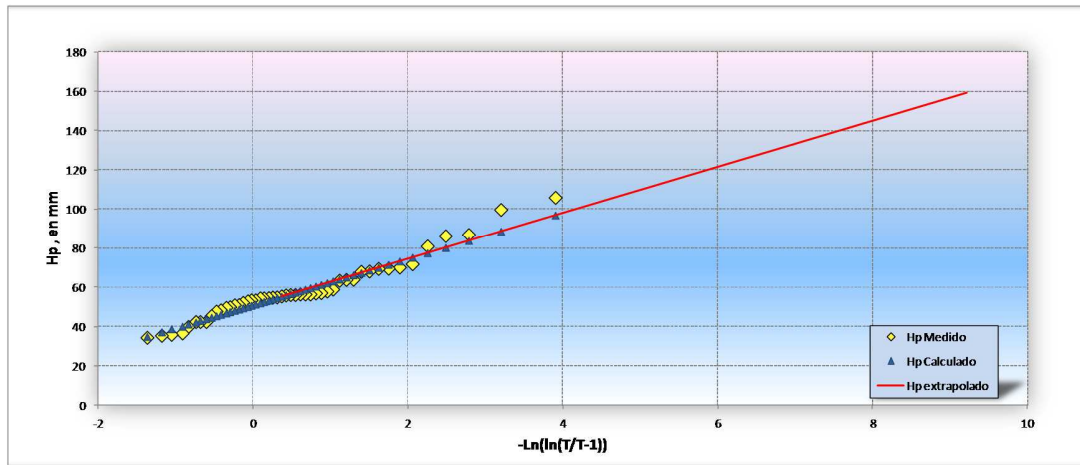
Gráfica E-10 Estación 14052 El Nogal, Tapalpa, ajuste Gumbel momentos



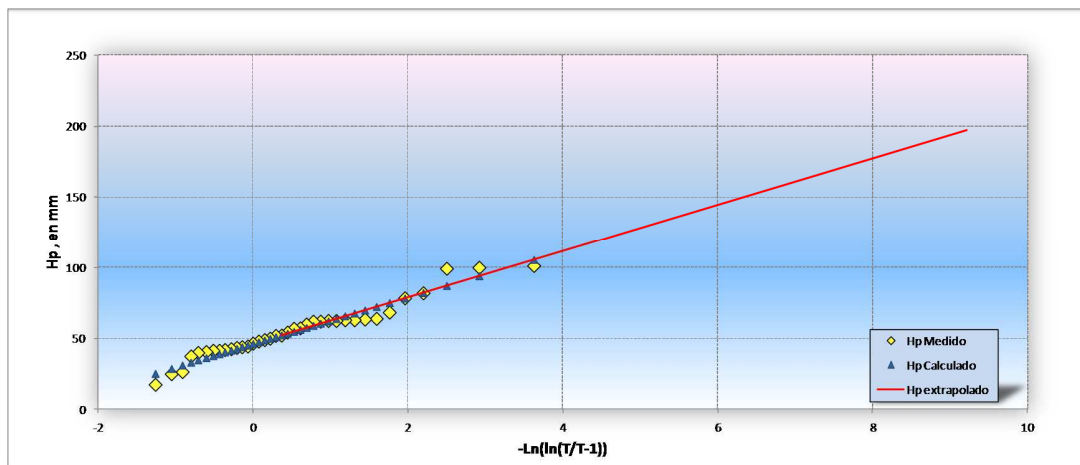
Gráfica E-11 Estación 14078 Juchitlán, Juchitlán, ajuste Gumbel momentos



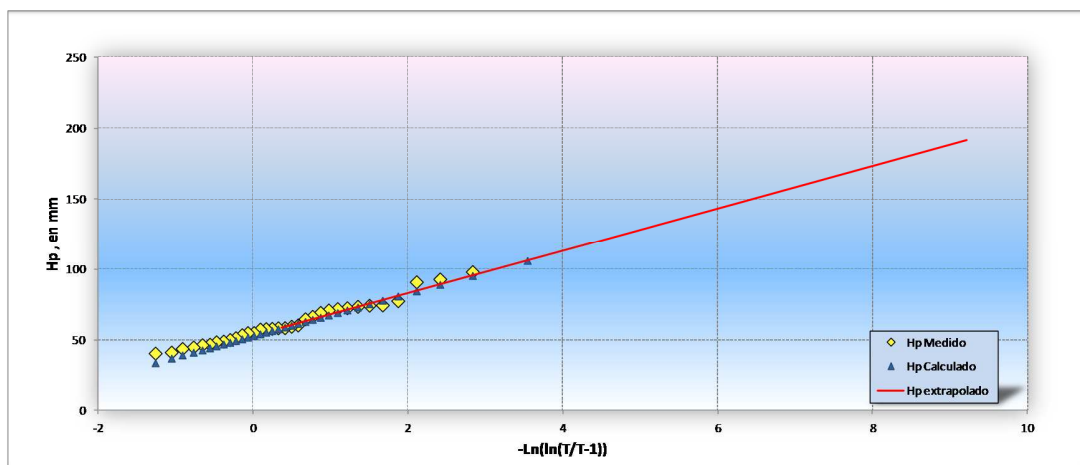
Gráfica E-12 Estación 14094 Manantlán, Autlán, ajuste Gumbel momentos



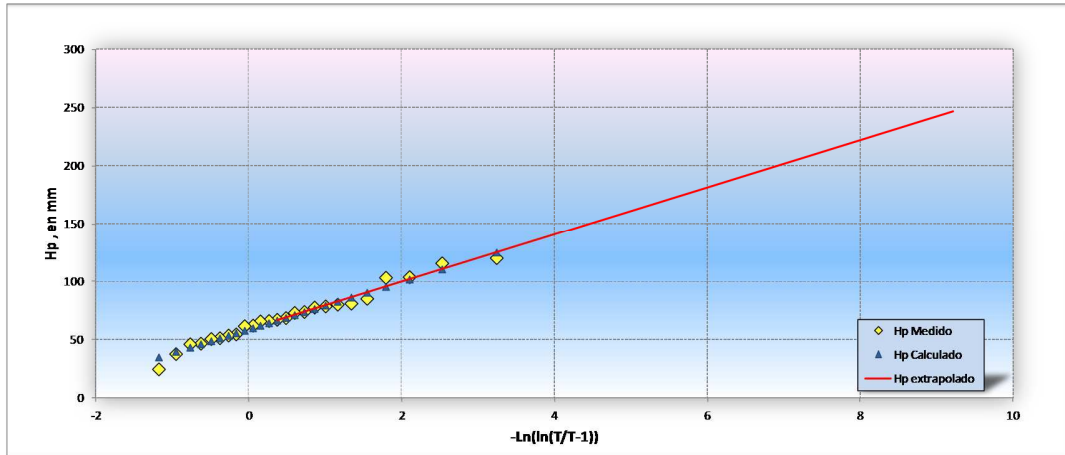
Gráfica E-13 Estación 14139 Tacotán, Unión de Tula, ajuste Gumbel momentos



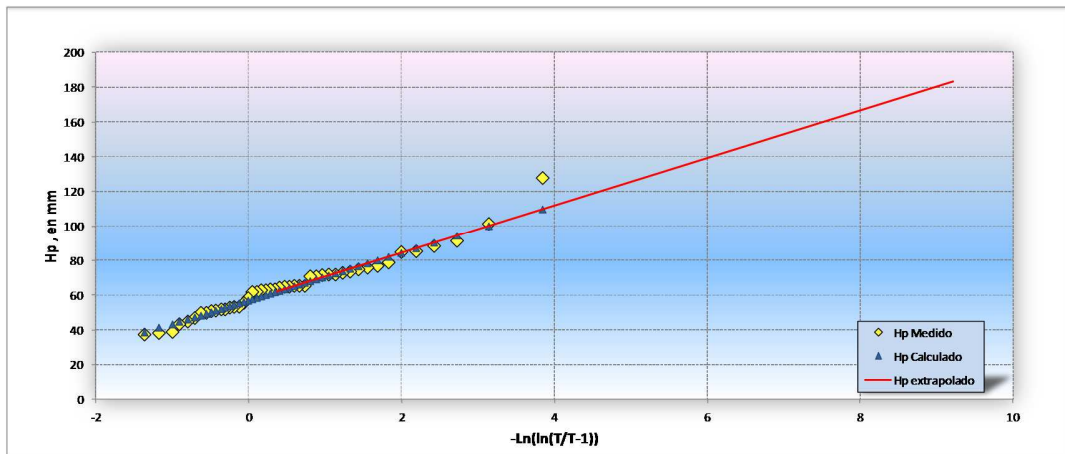
Gráfica E-14 Estación 14142 Tapalpa, Tapalpa (SMN), ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



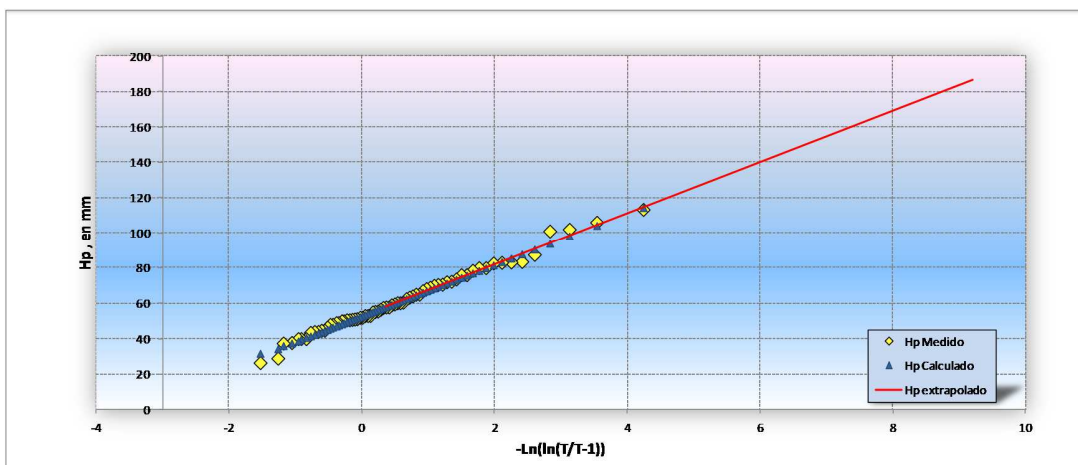
Gráfica E-15 Estación 14143 Tecolotlán, Tecolotlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



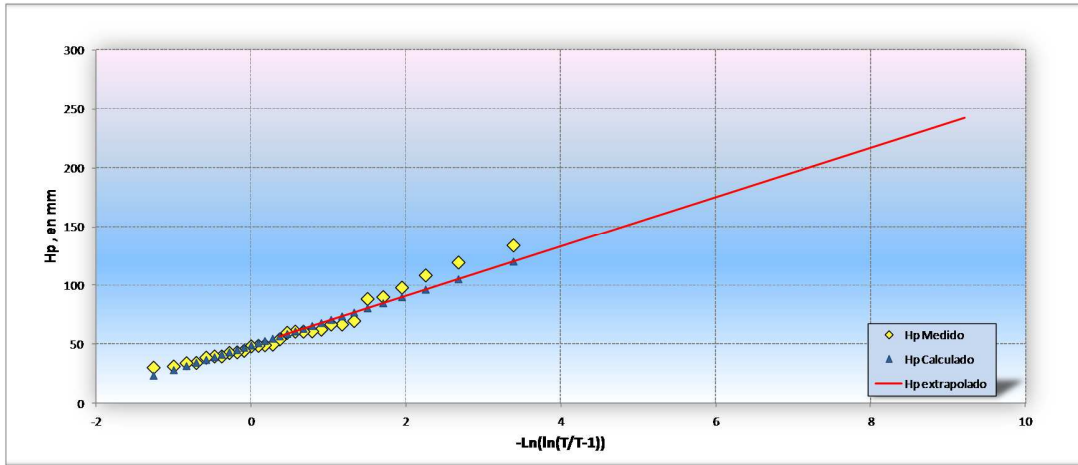
Gráfica E-16 Estación 14151 Tolimán, Tolimán (SMN), ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



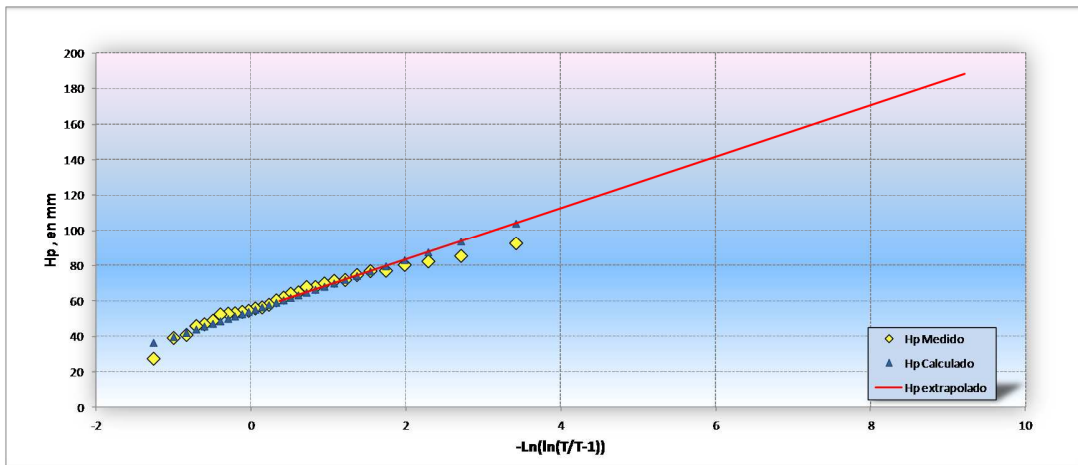
Gráfica E-17 Estación 14155 Tuxcacuesco, Tuxcacuesco, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



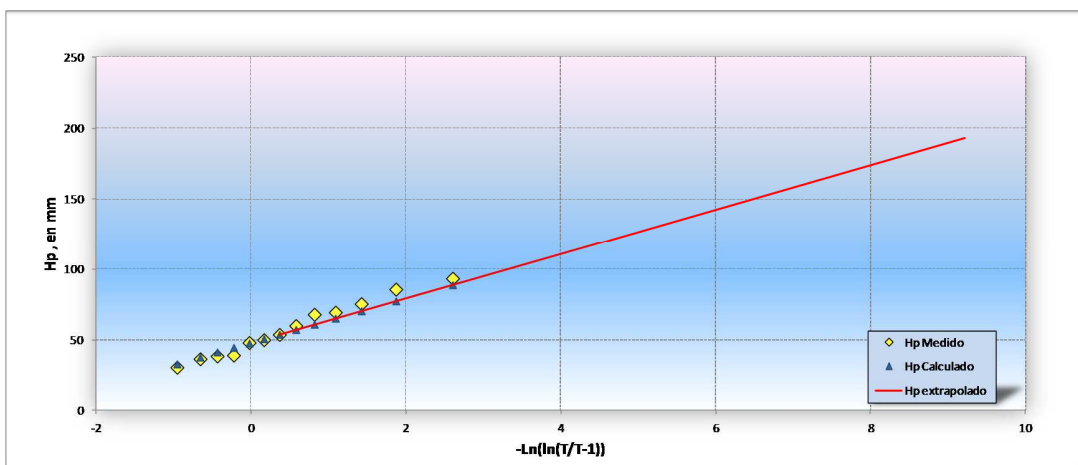
Gráfica E-18 Estación 14158 Unión de Tula, Unión de Tula, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



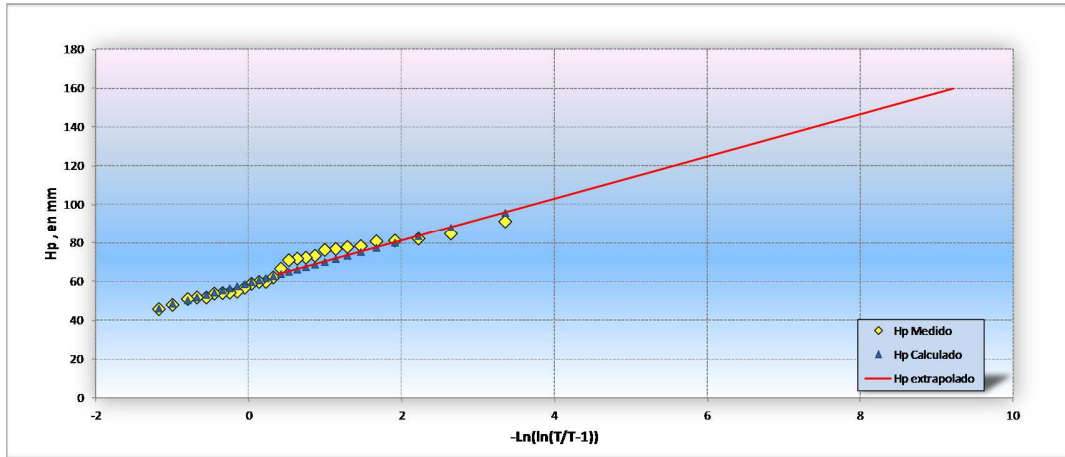
Gráfica E-19 Estación 14184 Tapalpa, Tapalpa (DGE), ajuste Gumbel momentos



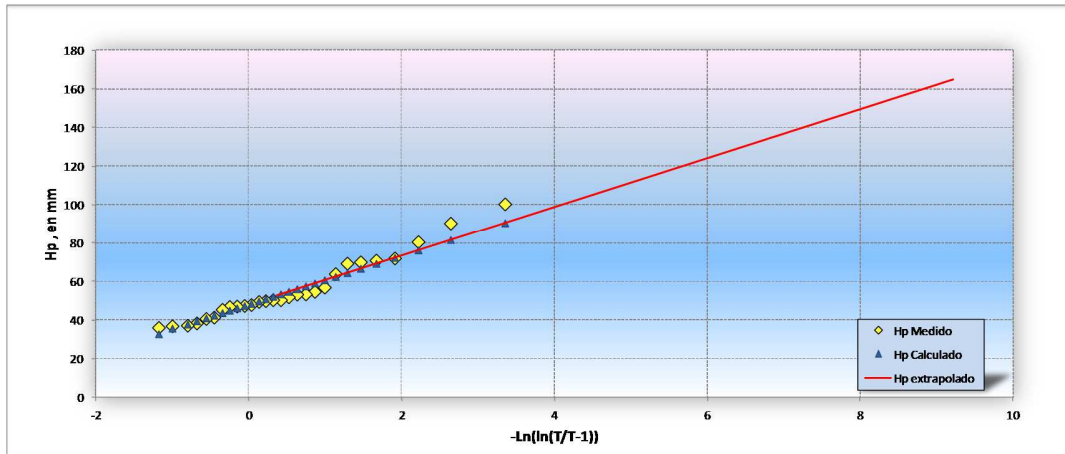
Gráfica E-20 Estación 14185 Tecolotlán, Tecolotlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



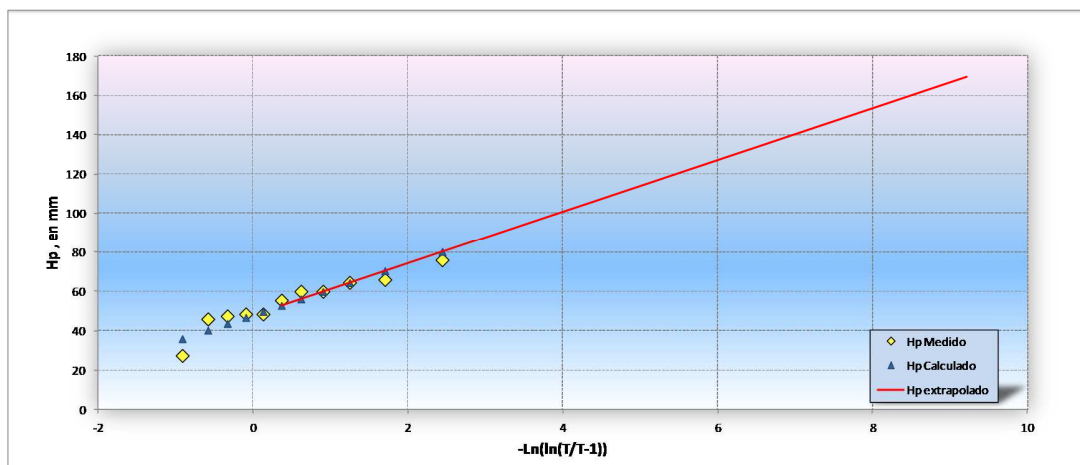
Gráfica E-21 Estación 14190 Tolimán, Tolimán (DGE), ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



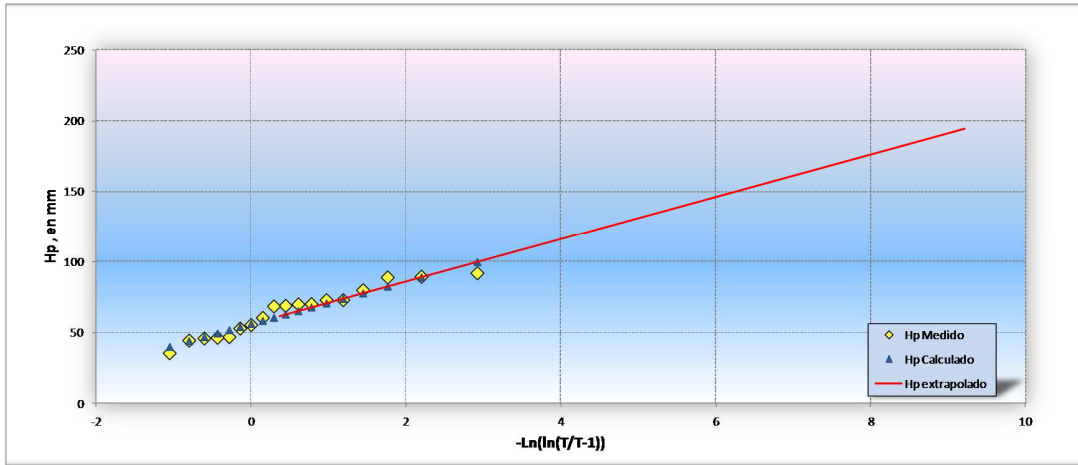
Gráfica E-22 Estación 14301 Tenamatlán, Tenamatlán, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



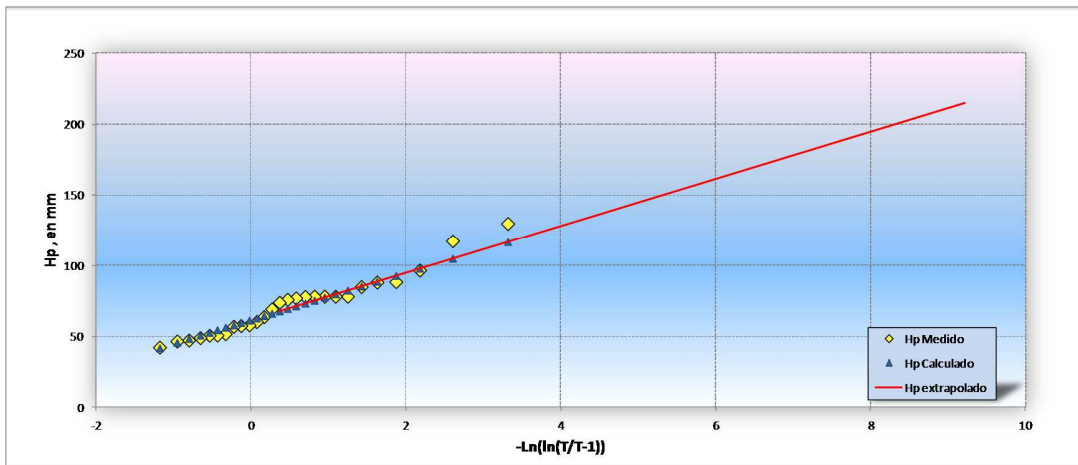
Gráfica E-23 Estación 14311 Canoas, Tolimán, ajuste Gumbel momentos



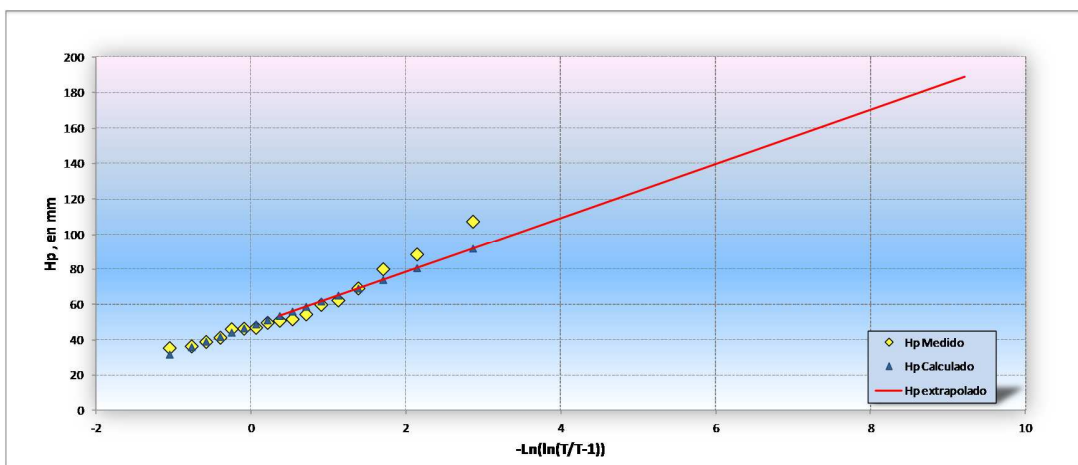
Gráfica E-24 Estación 14312 Cuautla, Cuautla, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud



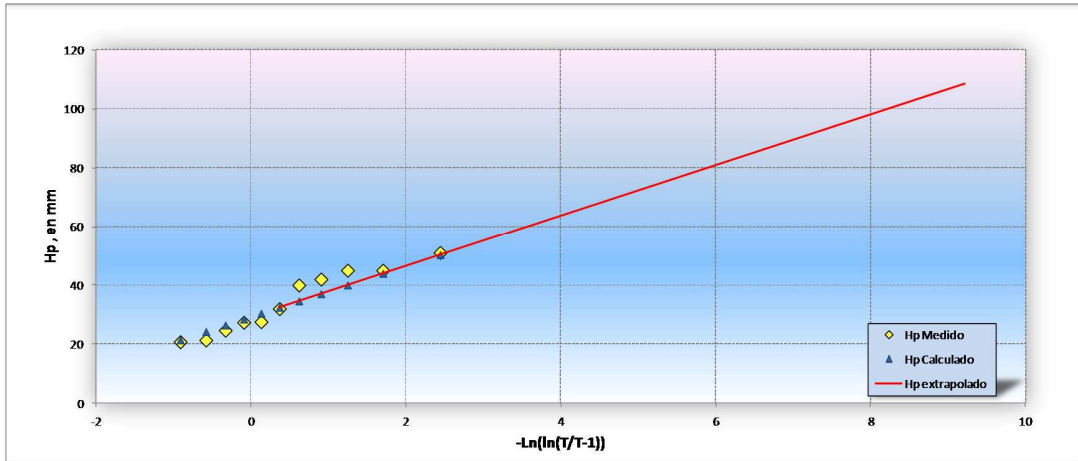
Gráfica E-25 Estación 14343 Presa Basilio Badillo, ajuste Gumbel momentos



Gráfica E-26 Estación 14350 El Rosario, Tuxcacuesco, ajuste Gumbel momentos



Gráfica E-27 Estación 14390 El Corcovado, Autlán, ajuste Gumbel momentos



Gráfica E-28 Estación 14395 Ixtlahuacán STGO, U. Tula, ajuste Gumbel Máxima Verosimilitud

F. AJUSTE DE DISTRIBUCIÓN (PROGRAMA)

PROGRAMA AX.EXE

Los ajustes de datos de cada estación se realizaron con el programa AX.EXE, el cual ajusta distintas funciones de probabilidad a muestras de datos además de calcular el error estándar en cada una de ellas a partir de la muestra original. Las funciones de probabilidad que son utilizadas por el programa son: Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel. Cuyos parámetros de las funciones de probabilidad se calculan por el método de momentos y máxima verosimilitud, además en las funciones Log Normal y Gamma son posible calcularse para dos o tres parámetros. Como se muestra en la Tabla F-1.

Tabla F-1 Funciones de distribución de probabilidad, que emplea el programa AX

Función	Métodos			
	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros
Normal	-----	Ok	-----	OK
Log-Normal	OK	Ok	OK	OK
Gumbel	-----	Ok	-----	OK
Exponencial	-----	Ok	-----	OK
Gamma	OK	OK	OK	OK
Doble Gumbel	OK			

El programa tiene la opción de que los ajustes se pueden hacer por separado, o bien hacer un cálculo global, en donde calcula los errores estándar de todas las funciones mostrándonos una tabla en donde se puede observar cual fue el error de cada una de las distribuciones de probabilidad, además de que tiene la opción de que todos los resultados se pueden imprimir.

Dado que el programa es muy amigable, también se despliega en pantalla la representación gráfica de la función de distribución ajustada y de los valores de la muestra, en donde el periodo de retorno es representado en el eje horizontal o de las abscisas mediante una escala logarítmica, mientras que en el eje vertical o de las ordenadas tenemos los datos de la muestra original y los del ajuste.

Las estaciones que fueron ajustadas a la distribución de probabilidad doble Gumbel, es decir, muestras que estaban formadas por dos poblaciones distintas, se les aplicó una segunda aproximación en donde los parámetros α_1 , β_1 , α_2 y β_2 correspondían al menor error estándar, siempre y cuando se cumplía que:

$$\alpha_1 > \alpha_2$$

Y

$$0.80 \leq P \leq 0.92$$