

**PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES
URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE
COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ**

INFORME FINAL

Óscar Arturo Fuentes Mariles
Juan Ansberto Cruz Gerón
Faustino De Luna Cruz
José Alberto Sánchez Cruz
Hipólito Lorenzo Morales Rodríguez
Cathya Verónica Guzmán Herrera
Alejandra Morales Zamacona
Beatriz Cortés Navarro
Eliud De La Rosa Camacho
Joel Enrique Eb Pareja
Laura Vélez Morales
Óscar Pozos Estrada
José Luis Mata Romualdo
Javier González Prado
Ismael Salas Meza

**Elaborado para:
SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO
GOBIERNO DEL ESTADO DE COLIMA**

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

- 1.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**
- 1.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LAS CUENCAS INVOLUCRADAS**
- 1.3 ANÁLISIS DE LLUVIAS MEDIAS Y MÍNIMAS**
- 1.4 ANÁLISIS DE LLUVIAS DE DISEÑO**
- 1.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA**
- 1.6 DESARROLLO DEL MODELO LLUVIA-ESCURRIMIENTO**
- 1.7 INSTRUMENTACIÓN AUTOMATIZADA PILOTO DE UN CAUCE URBANO Y DOS ESTACIONES DE LLUVIA**
- 1.8 CÁLCULO DE AVENIDAS DE DISEÑO**

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON LOS CAUCES

- 2.1 REVISIÓN DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO**
- 2.2 REVISIÓN DE TANQUES DE REGULACIÓN**
- 2.3 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RED DE AGUA POTABLE**
- 2.4 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RED DE ALCANTARILLADO**
- 2.5 REVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- 2.6 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO**
- 2.7 DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

CAPÍTULO 3. MODELACIÓN HIDRÁULICA EN CAUCES Y LLANURAS DE INUNDACIÓN

- 3.1 REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA PARA LA APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS**

3.2 RECORRIDOS DE CAMPO PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUCES

3.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LOS CAUCES, VELOCIDADES DE FLUJO Y VOLÚMENES DESBORDADOS

3.4 MODELACIÓN MATEMÁTICA EN LLANURAS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE HIDROGRAMAS DE DESBORDAMIENTO.

CAPÍTULO 4. GENERACIÓN DE CRITERIOS PARA EL MANEJO DE AGUA DE LOS CAUCES

4.1 BALANCE HIDRÁULICO GENERAL

4.2 CRITERIOS PARA LA CONDUCCIÓN ADECUADA DE FLUJOS PARA DISMINUIR DESBORDAMIENTOS

4.3 CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ASOCIADAS A PELIGROS DE INUNDACIÓN

4.4 CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE IMAGEN URBANA

4.5 CRITERIOS PARA EL REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

4.6 CRITERIOS PARA LA COSECHA DE DE AGUA DE LLUVIA

4.7 ESQUEMA DE ACTUALIZACIÓN DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA DE RÍOS Y DE LLUVIA

CAPÍTULO 5. PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

5.1 IMAGEN OBJETIVO DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

5.2 ANTEPROYECTO DEL PLAN DE MANEJO

5.3 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD SOCIAL

5.4 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.5 INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO

CAPÍTULO 6. MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

6.1 ASESORÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD HIDROLÓGICA

6.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

6.3 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO ACTUAL

6.4 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO PROSPECTIVO

CONCLUSIONES

ANEXO 1. BASE DE DATOS DE LLUVIAS

ANEXO 2. REGISTROS HIDROMÉTRICOS

ANEXO 3. CONVOLUCIONES DE HIDROGRAMAS

ANEXO 4. SECCIONES TOPOGRÁFICAS PROCESADAS

ANEXO 5. REPORTE FOTOGRÁFICO DE LOS 17 CAUCES DE ESTUDIO

ANEXO 6. PALETA VEGETAL ILUSTRADA

ANEXO 7. PLANOS

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

INTRODUCCIÓN

En el año 2010, el Instituto de Planeación del Municipio de Colima (IPCo) solicitó al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) se elaborara una visita de reconocimiento al sistema de los cauces urbanos de la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez, conformada por los municipios: Colima, Villa de Álvarez, Comala, Coquimatlán y Cuauhtémoc, para plantear un estudio de los mismos, el cual derivó en el presente Plan de Manejo Integral de los Cauces Urbanos, compuesto por 17 ríos y arroyos.

Para el año 2011 el Gobierno del Estado de Colima, a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano, firmó el convenio correspondiente con la UNAM para la puesta en marcha de este proyecto, teniendo los siguientes objetivos principales: 1. generar un plan del manejo integral de los cauces urbanos de la zona de estudio, a partir de un diagnóstico hidrológico e hidráulico y su interrelación con diferentes variables urbanas, desarrollando una metodología particular al caso de estudio con herramientas y experiencias adquiridas en proyectos afines en el IIUNAM; 2. establecer las orientaciones estratégicas de mediano y largo plazos que permitan programar las acciones estructurales y no estructurales para el manejo, aprovechamiento integral y conservación de los cauces urbanos y el ciclo hidrológico local de la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez, contribuyendo al desarrollo sustentable regional; 3. desarrollar, adaptar y aplicar modelos matemáticos de simulación y otras herramientas de apoyo en el diagnóstico hidráulico de la capacidad de los cauces y de los escenarios propuestos en el plan de manejo.

El estudio inicia con el análisis hidrológico de la zona, continúa con la revisión de la infraestructura hidráulica urbana relacionada con los cauces, posteriormente se lleva a cabo la modelación numérica hidráulica de los cauces, con lo cual es posible desarrollar los criterios para el manejo de los cauces, mismos que son utilizados para el desarrollo del plan de manejo integral de los cauces urbanos. A manera de complemento se desarrolla la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundación debido al desbordamiento de los ríos.

Para la realización de este trabajo se contó con el apoyo del Gobierno del Estado de Colima, en particular de la SEDUR, el IPCo, los municipios metropolitanos, la Conagua gerencia local, los organismos operadores de agua, Protección civil estatal y demás dependencias involucradas. El resultado es un Plan de Manejo con vigencia del orden de 40 años, pionero en la materia a nivel nacional.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

- 1.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**
- 1.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DE LAS CUENCAS INVOLUCRADAS**
- 1.3 ANÁLISIS DE LLUVIAS MEDIAS Y MÍNIMAS**
- 1.4 ANÁLISIS DE LLUVIAS DE DISEÑO**
- 1.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA**
- 1.6 DESARROLLO DEL MODELO LLUVIA-ESCURRIMIENTO**
- 1.7 INSTRUMENTACIÓN AUTOMATIZADA PILOTO DE UN CAUCE URBANO Y DOS ESTACIONES DE LLUVIA**
- 1.8 CÁLCULO DE AVENIDAS DE DISEÑO**

1. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El estudio de los flujos de agua en los cauces de los ríos implica la delimitación de las fronteras físico-ambientales para el establecimiento de una zona de estudio, en donde interactúen las variables del ciclo del agua en la atmósfera y tierra para llevar a cabo el análisis hidrológico. El este último se basa la relación entre la lluvia y los escurrimientos.

En este capítulo se presentan las características fisiográficas de las regiones donde la precipitación contribuye a los flujos superficiales (cuencas), el análisis de las lluvias, los modelos lluvia-escurrimiento y el cálculo de avenidas par diferentes periodos de retorno. Además, se describe la instrumentación de un cauce y su relación con estaciones pluviométricas.

1.1 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Instituto Nacional de estadística y Geografía (INEGI) define como Zona Metropolitana al conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes., cuya área urbana, funciones y actividades rebasen el límite del municipio que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. En dicha definición se incluye además a aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y políticas urbanas.

Según el documento INEGI-Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México 2005, la ZM Colima-Villa de Álvarez cuenta con dos municipios centrales y tres municipios exteriores, definidos con base en criterios de planeación y política urbana. En la siguiente tabla se presentan los municipios que conforman a la ZM Colima-Villa de Álvarez y sus principales características.

Tabla 1.1 Municipios que conforman la ZM Colima-Villa de Álvarez. INEGI 2005.

N°	Municipio	Clasificación	Habitantes
1	Colima	Mpio. Central	132273
2	Villa de Álvarez	Mpio. Central	100121
3	Comala	Mpio. Exterior	19495
4	Coquimatlán	Mpio. Exterior	17363
5	Cuauhtémoc	Mpio. Exterior	25576
			294828

Por otro lado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) define como "Cauce de una corriente" al canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciete máxima ordinaria escurran sin derramarse. Para fines de aplicación de dicha Ley, la magnitud de un cauce incipiente deberá ser de cuando menos 2.0 m de ancho por 0.75 m de profundidad.

Utilizando como base las definiciones anteriores, en este trabajo se ha propuesto definir a los cauces urbanos como aquellas corrientes naturales, ríos o arroyos, que conduzcan crecientes de agua de lluvia ubicadas en las zonas urbanas de la ZM Colima-Villa de Álvarez. En la figura 1 se presenta la ZM Colima-Villa de Álvarez en donde se indican sus cauces urbanos al año 2010 delimitados a partir de la información cartográfico y fotogramétrica analizada para este estudio.

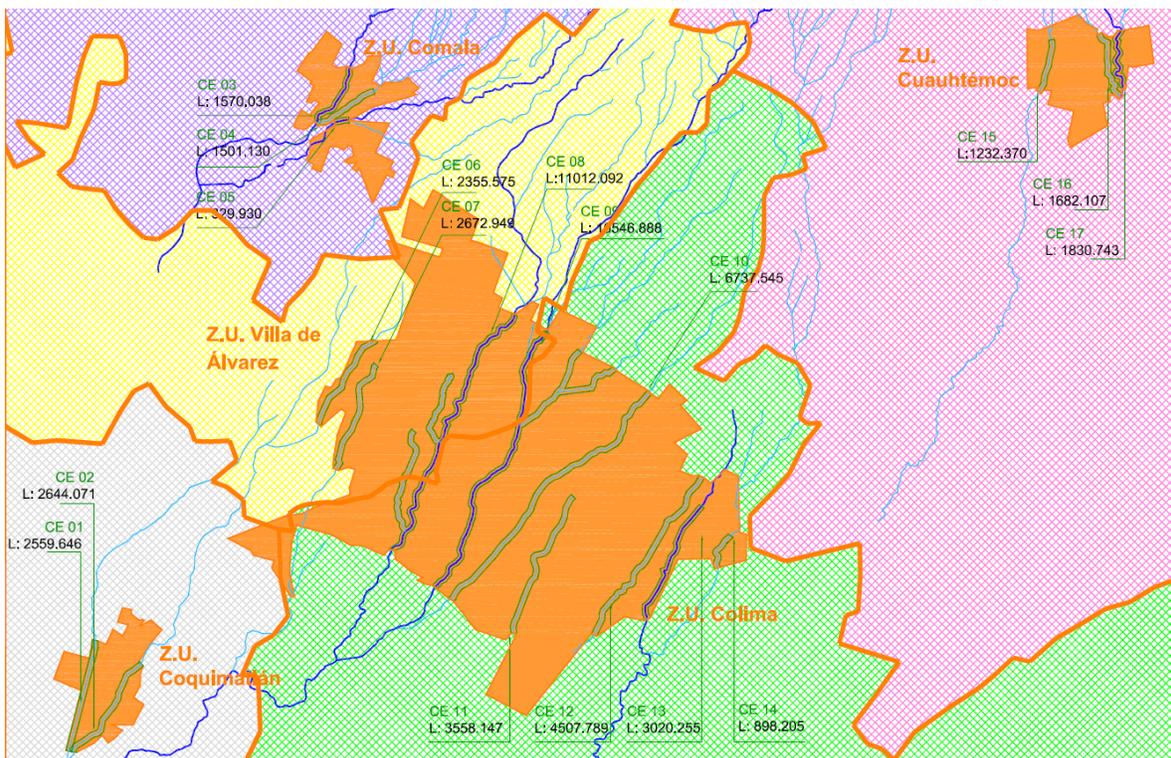


Figura 1.1 Cauces urbanos en la ZM Colima-Villa de Álvarez, al año 2010

Tabla 1.2 Cauces urbanos en la ZM Colima-Villa de Álvarez

N°	Municipio	Número de cauces	Longitud, km
1	Colima	6	34.1
2	Villa de Álvarez	3	15.9
3	Comala	3	3.3
4	Coquimatlán	2	2.5
5	Cuauhtémoc	3	4.6
		17	60.4

En la tabla 1.2 se presentan además la cantidad de cauces urbanos por municipio identificados en la figura 1.1 y una estimación aproximada de sus longitudes en su correspondiente zona urbana. En particular el único cauce urbano que cruza dos municipios es el Arroyo Pereyra, que en su parte norte se ubica en el municipio de Villa de Álvarez y al sur por el municipio de Colima.

La delimitación hidrológica de la zona de estudio se basa en el trazo de las cuencas que generan escurrimiento hacia los cauces urbanos. En general se plantean dos tipos de cuencas en función del uso de suelo: cuencas naturales y cuencas urbanas.

En la figura 1.2 se presentan los trazos de las cuencas con las que se delimita la zona de estudio de este trabajo. En ella se puede observar que existen definidas 15 cuencas naturales que se interrelacionan con los cauces urbanos y 6 grandes cuencas urbanas, sobre todo en la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez. En el Anexo 7 se puede consultar en el plano D01 el trazo de detalle de dichas cuencas. Para ello se utilizó como fuente a las cartas topográficas vectoriales de INEGI 1:50000 Comala E13B34, Colima E13B44, Cuauhtémoc E13B35 y Los Tepames E13B45.

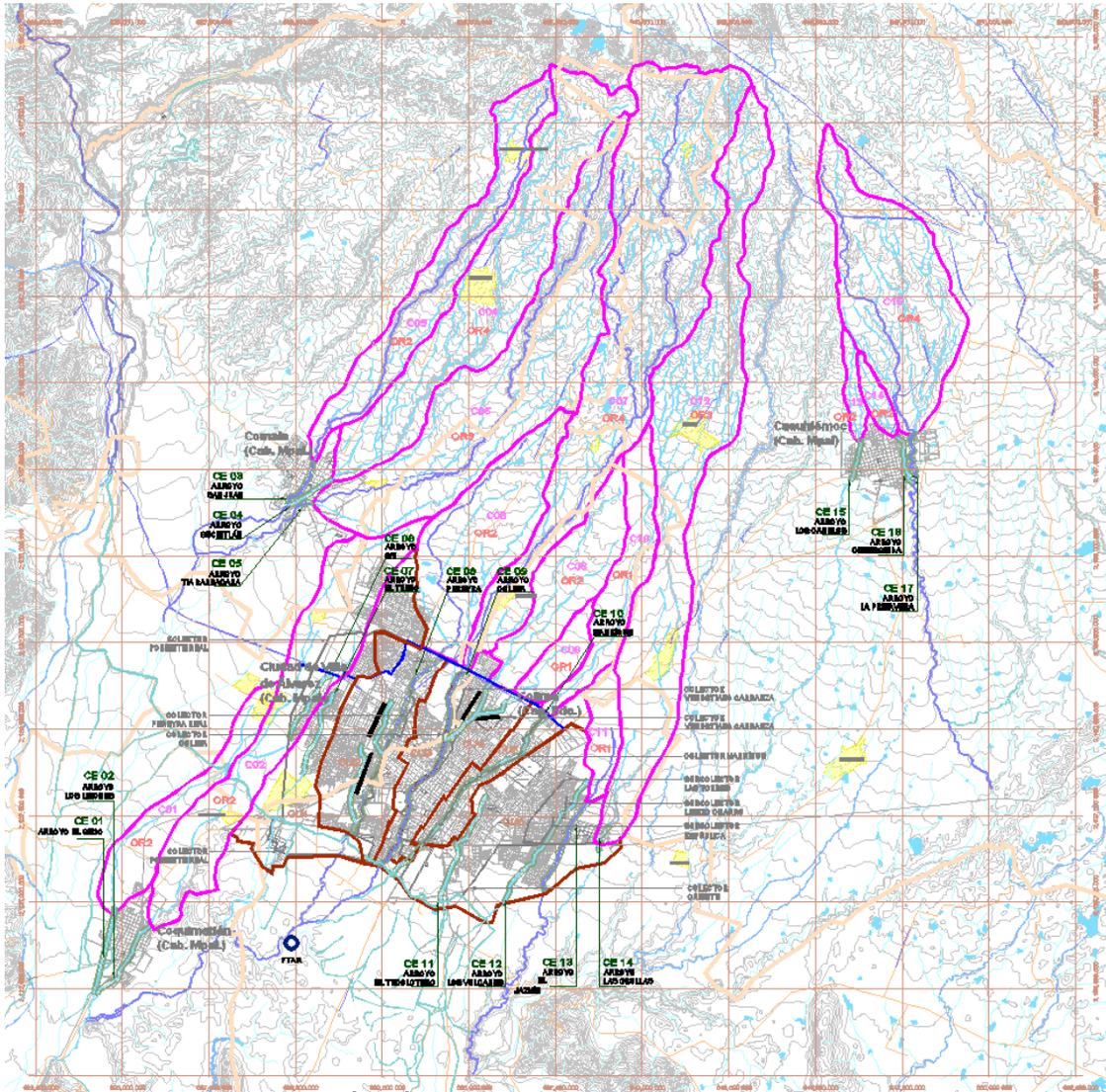


Figura 1.2 Delimitación de la zona de estudio de los cauces urbanos

La zona de estudio abarca una longitud de norte a sur de cerca de 27.8 km, que parte del parteaguas del río Colima y culmina en la salida de los cauces urbanos de Coquimatlán; y de este a oeste de 25.2 km, iniciando en el parteaguas de la cuenca del arroyo Primavera, en Cuauhtémoc, hasta la parte baja de la cuenca del arroyo Seco, en Coquimatlán. La altitud máxima de la zona de estudio se ubica a 1720 m, en la parte superior del parteaguas del río Colima y la parte más baja en la cota 315 m, ubicado a la salida de los cauces urbanos de Coquimatlán.

En la figura 1.3 se presenta el esquema simplificado de la red de drenaje superficial de la zona de estudio. En ella se aprecian aquellos cauces que implican una cuenca de análisis aguas arriba de la misma.

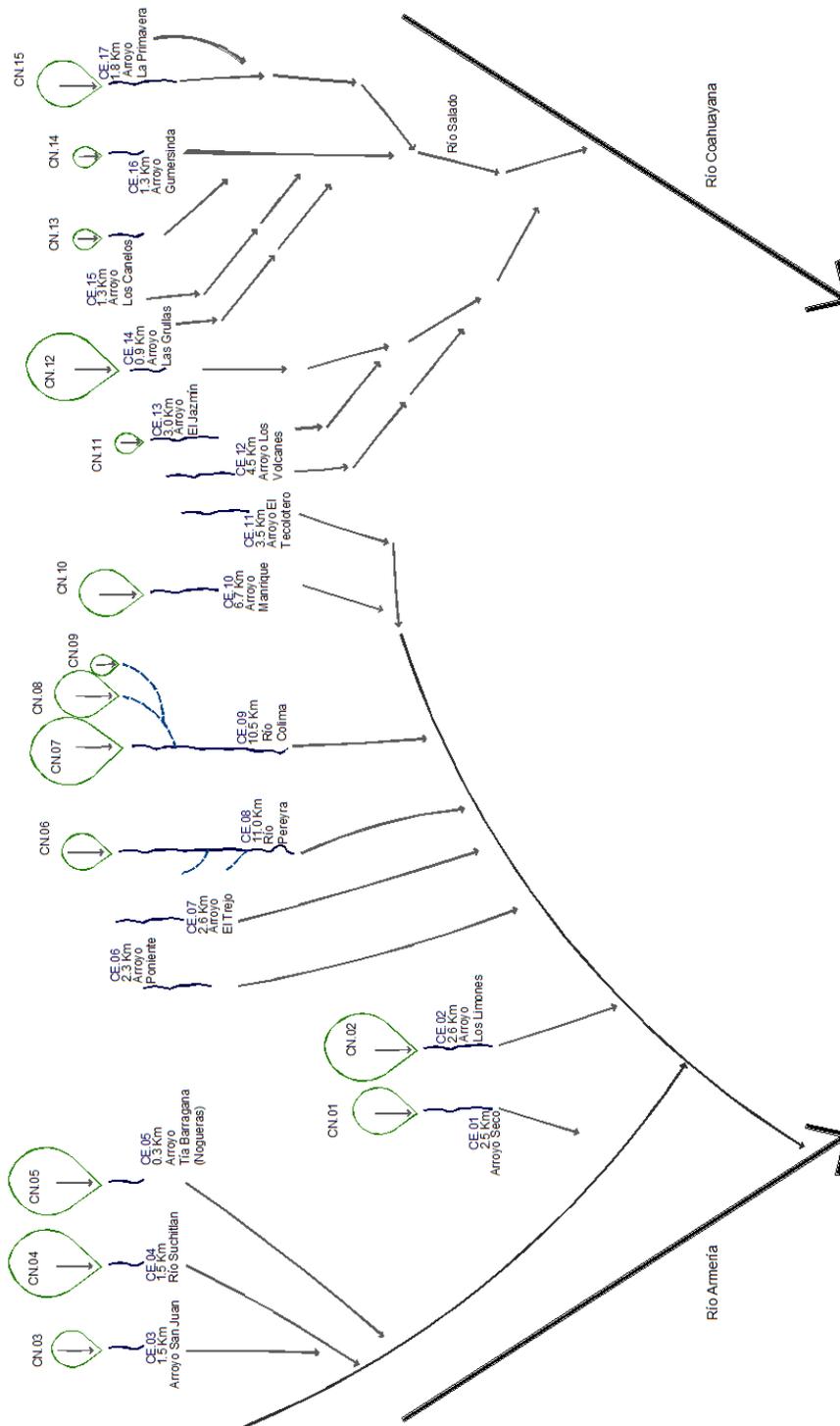


Figura 1.3 Esquema simplificado de la red de drenaje de los cauces urbanos

1.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISOGRÁFICAS DE LAS CUENCAS INVOLUCRADAS

En la mayor parte de los estudios hidrológicos se trata de comprender la relación impulso-respuesta en una cuenca; es decir, la cuenca recibe la precipitación (impulso) y la transforma en escurrimiento (respuesta); entendiéndose como cuenca a una zona de la superficie terrestre que abarca el área drenada superficialmente por una red de drenaje, tal que, todo el escurrimiento originado sobre dicha zona es descargado a través de una única salida de la misma. Entre el impulso y la respuesta ocurren diversos procesos hidrológicos que son función de varios factores dentro de los que se encuentra la configuración topográfica y geológica del terreno. La geomorfología permite estudiar y cuantifica determinados rasgos de la superficie del suelo.

A Área de la cuenca

El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por su parteaguas. El parteaguas es la línea imaginaria del perímetro de una cuenca, formada por los puntos de mayor elevación topográfica.

B Corriente principal

La corriente principal de una cuenca es la que pasa por su salida y para determinarla se parte del punto de salida de la cuenca hacia aguas arriba, siguiendo a la corriente de más alto orden, hasta alcanzar una bifurcación de dos corrientes de igual orden y se continúa por el cauce que tenga una mayor área de aportación; a partir de tal punto el proceso se repite hasta terminar en un tributario de orden uno.

C Longitud del cauce principal

La longitud del cauce principal es la distancia horizontal que recorre la corriente principal.

D Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal es el desnivel que existe entre los puntos inicial y final del mismo, dividido por su longitud horizontal. Dado que la pendiente varía a lo largo del cauce es necesario definir una pendiente media y para ello se utiliza el criterio de Taylor y Schwarz definido por la ecuación siguiente:

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

donde:

S_m , pendiente media del cauce principal.

L , longitud total del cauce, en m.

$S_i = \frac{h_i}{l_i}$, pendiente del tramo i .

h_i , diferencia de elevaciones del tramo i , en m.

l_i , longitud del tramo i , en m.

i , número de tramos que hay en la longitud L .

E Tiempo de concentración

Existen una gran cantidad de formulas para estimarlo en función de la longitud y la pendiente del cauce principal, como la de Kirpich, que se expresa de la forma siguiente:

$$t_c = 0.000325 \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.77}$$

donde:

t_c , tiempo de concentración, en h

L , longitud del cauce principal, en m

S , pendiente del cauce principal, adimensional

E Orden de la red de drenaje

La red de drenaje de una cuenca está integrada por una corriente principal y una serie de tributarios cuyas ramificaciones se extienden hacia las partes más altas de la cuenca. Las corrientes tributarias son las corrientes secundarias que llegan a la corriente principal.

La clasificación más utilizada actualmente es la de Horton-Strahler (figura 1.4), la cual clasifica a las corrientes según el procedimiento siguiente:

Los cauces de primer orden son los que no tienen tributarios.

Cuando las corrientes de orden n se unen, se crea una corriente de orden $n + 1$.

Cuando dos corrientes de diferente orden convergen, el segmento de corriente inmediatamente aguas abajo se toma como la continuación de la corriente de mayor orden.

El orden de la cuenca es el mismo que el de su cauce principal a la salida.

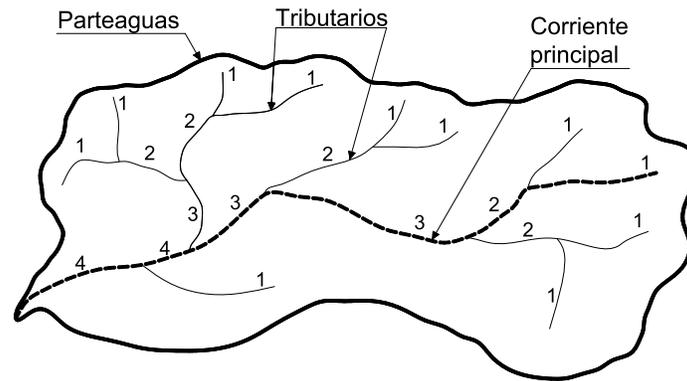


Figura 1.4 Sistema de ordenación de corrientes de Horton-Strahler

F Leyes de Horton

Horton (1945) fue el primero en sugerir algunas leyes empíricas que se consideran constantes de un orden a otro, para que posteriormente fueran confirmadas usando el sistema de ordenación de Strahler.

Ley del número de corrientes

$$R_B = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Ley de las longitudes de las corrientes

$$R_L = \frac{\bar{L}_{i+1}}{\bar{L}_i}$$

Ley de áreas de las corrientes

$$R_A = \frac{\bar{A}_{i+1}}{\bar{A}_i}$$

donde:

$\bar{L}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$, longitud promedio de una corriente de orden i , en km.

$\bar{A}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i$, área promedio que contribuye al escurrimiento de una corriente de orden i , en km^2 .

L_i , longitud de una corriente de orden i , en km.

A_i , área que contribuye al escurrimiento de una corriente de orden i , en km^2 .

N_i , número de corrientes de orden i .

Las leyes de Horton indican una progresión geométrica de número, longitud y área de las corrientes de una cuenca y por lo tanto, gráficamente corresponden a las relaciones lineales entre el número de orden y los logaritmos del número, longitud y área de corrientes; de donde las relaciones R_B , R_L y R_A se obtienen como el antilogaritmo de la pendiente de dichas rectas. A través de los años se ha

observado que para cuencas naturales tienen cierto rango de variación, para R_B de 3 a 5, para R_L de 1.5 a 3.5, y para R_A de 3 a 6.

En la siguiente tabla, se indican las características fisiográficas de las cuencas involucradas en el estudio. A cada cuenca se les ha asignado un nombre representativo del nombre de su corriente o de la localidad cercana o más representativa. Su identificación espacial se puede ubicar en el plano D01 del Anexo 7.

Tabla 1.3 Características fisiográficas de las cuencas involucradas en la zona de estudio

N°	NOMBRE	ÁREA (km ²)	LONGITUD (km)	PENDIENTE (adim)	TIEMPO CONCENTRACIÓN (h)	ORDEN DE CUENCA
1	Coquimatlán Oeste	6.61	8.02	0.016	1.63	2
2	Coquimatlán Este	16.12	14.96	0.019	2.47	2
3	Comala 03	12.89	14.3	0.052	1.6	2
4	Comala 04	22.89	17.34	0.043	1.96	3
5	Comala 05	28.29	16.84	0.041	2.04	3
6	Pereyra	14.39	8.39	0.034	1.37	2
7	Colima	38.45	22.17	0.043	2.43	4
8	Campos 08	8.98	7.42	0.034	1.11	2
9	Campos 09	2.77	2.36	0.03	0.54	1
10	Manrique	7.15	8.5	0.034	1.25	1
11	Lienzo Charro	3.06	2.52	0.03	0.49	1
12	Oriente	30.47	24.9	0.036	2.84	3
13	Cuauhtémoc 13	1.31	1.89	0.059	0.48	2
14	Cuauhtémoc 14	1.3	2.66	0.052	0.44	2
15	Cuauhtémoc Oriente	18.9	9.56	0.052	1.2	4

1.3 ANÁLISIS DE LLUVIAS MEDIAS Y MÍNIMAS

Para el planteamiento de un balance hidrológico en la zona de estudio, se han analizado las lluvias medias y mínima de la zona de estudio. Se analizaron las bases de datos climatológicas Extractor Rápido de Información Climatológica Versión 3 (ERIC3), el software Clima Computarizado (CLICOM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y los archivos de información climatológica proporcionados por la Gerencia Estatal de Colima de la Comisión Nacional del Agua.

En la figura 1.5 se presenta la ubicación de las siete estaciones climatológicas más representativas de la zona de estudio: 6021 Quesería, 6009 Cuauhtémoc, 6007 Comala, 6014 Peñitas, 6008 Coquimatlán, 6040 Colima y 6006 Colima Conagua; así como su área de influencia a partir del trazo de los polígonos de Thiessen.

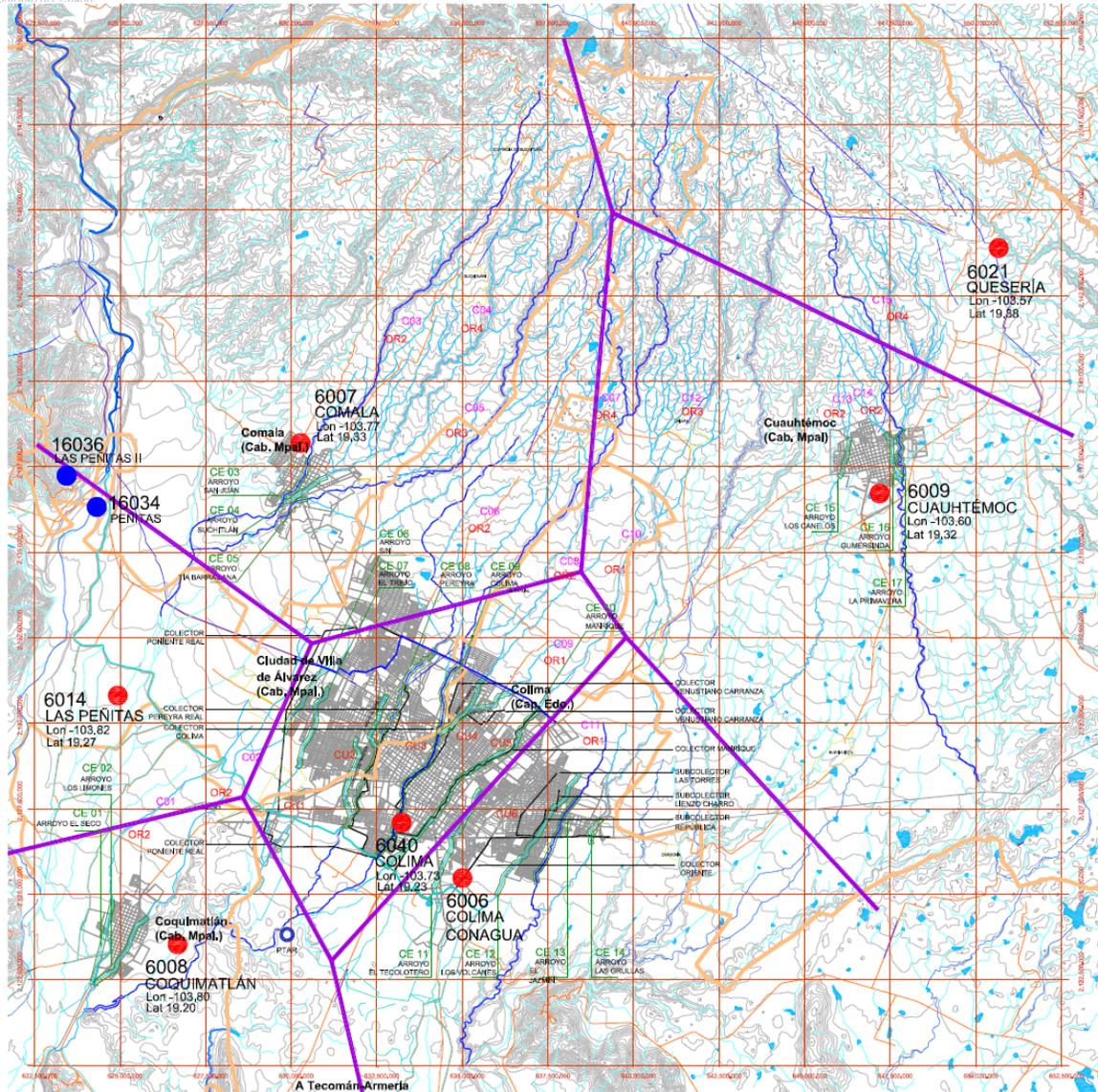


Figura 1.5 Estaciones climatológicas de la zona de estudio y sus polígonos de Thiessen.

A partir del trazo de los polígonos de Thiessen, se han obtenido la influencia de cada estación en las diferentes cuencas de estudio. La estación 6006 tiene influencia sobre la C11, la 6007 sobre las C02, C03, C04, C05 y C06; la C08 no tiene influencia de peso sobre alguna cuenca, la estación 6009 sobre la C10, C12, C13 y C14; la estación 6014 sobre C01; la estación 6021 sobre las C07 y C15; y finalmente la estación 6040 sobre las C08 y C09.

En las siguientes gráficas se presentan gráficamente las lluvias medias mensuales de la precipitación del año más seco, de la condición promedio y del año más húmedo para cada una de las estaciones, no se incluye a la estación 6006 por contarse con n años de registro, los cuales se consideran insuficientes para este análisis. En la figura 1.6 se observa que en la Estación Colima la lluvia media

anual es de 875 mm, en donde en el año más seco se tuvo una lluvia anual acumulada de 496 mm y en el año más lluvioso, la precipitación sumó 1206 mm.

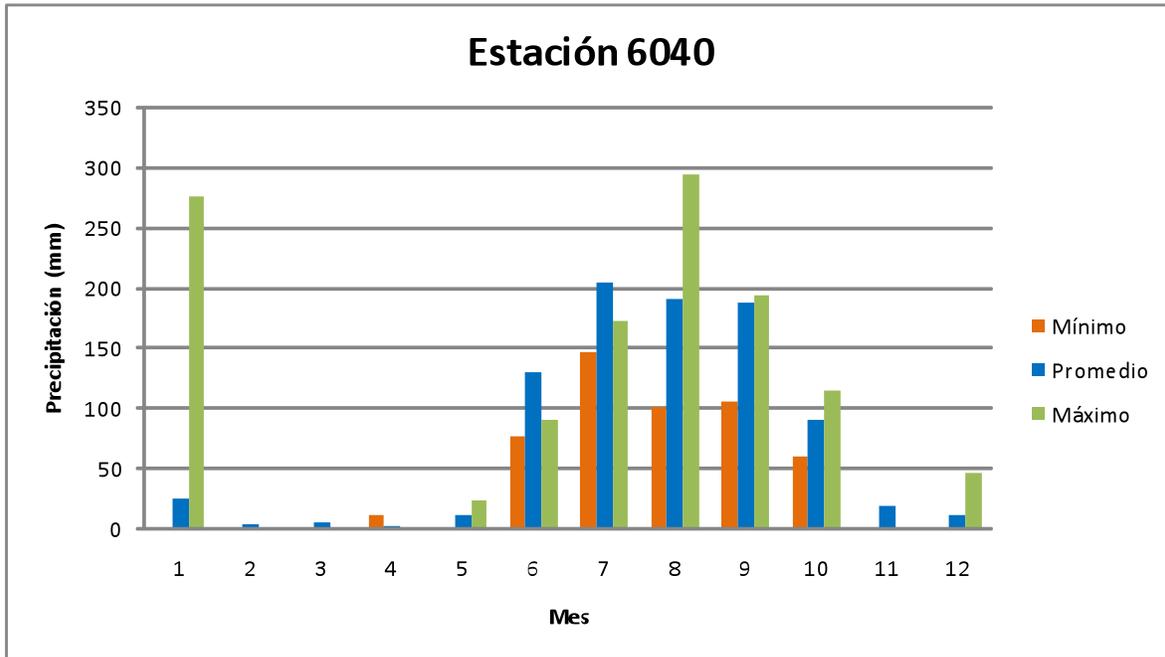


Figura 1.6 Comportamiento de la precipitación en la estación Colima

En la figura 1.7, correspondiente a la Estación Coquimatlán, la lluvia media anual es de 817 mm; el año más seco es de 400 mm y el más húmedo es de 1280 mm.

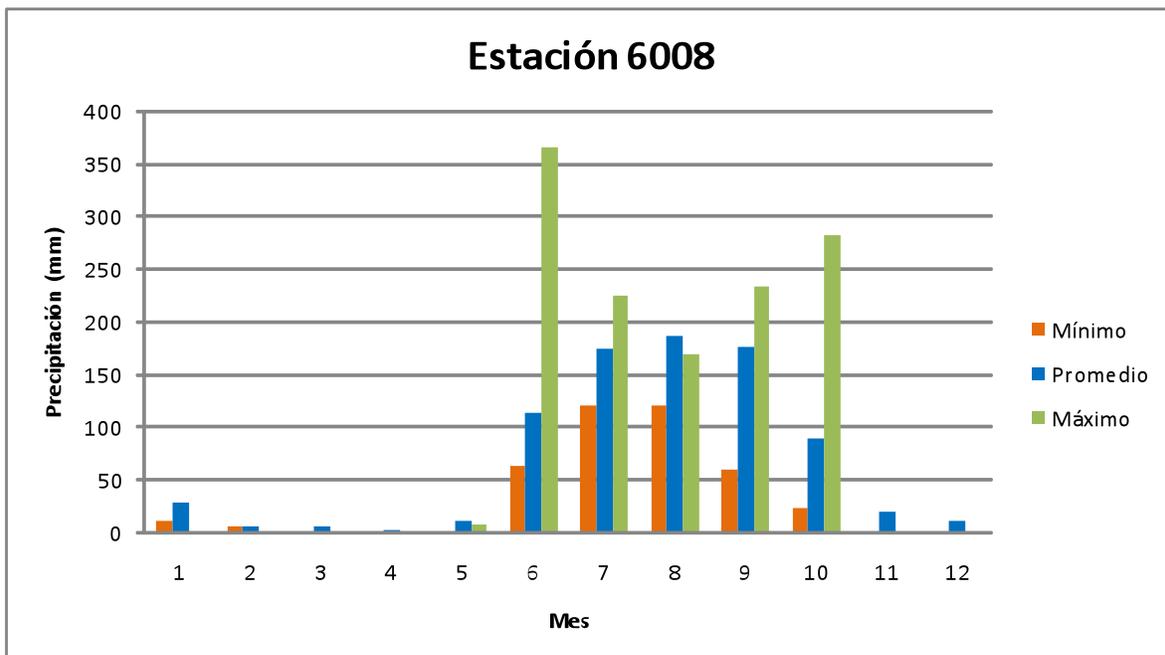


Figura 1.7 Comportamiento de la precipitación en la estación Coquimatlán

En la figura 1.8 correspondiente a la Estación Las Peñitas, la lluvia media anual es de 1027 mm; el año más seco es de 530 mm y el más húmedo es de 2340 mm.

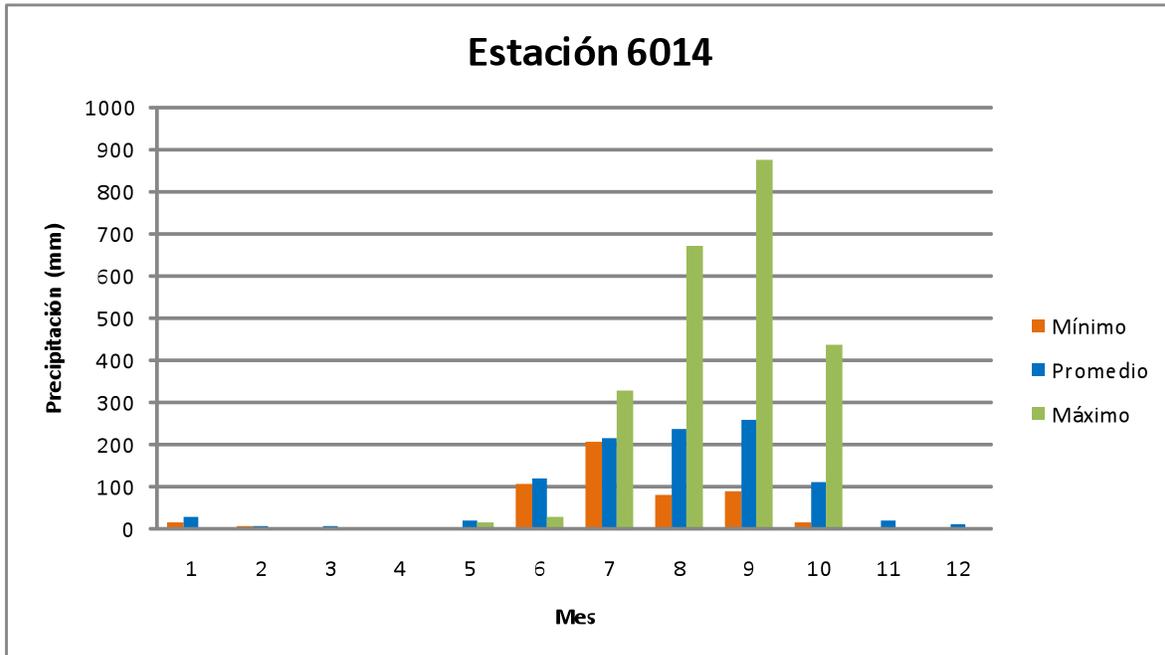


Figura 1.8 Comportamiento de la precipitación en la estación Las Peñitas

En la figura 1.9 correspondiente a la Estación Cuauhtémoc, la lluvia media anual es de 1167 mm; el año más seco es de 578 mm y el más húmedo es de 1718 mm.

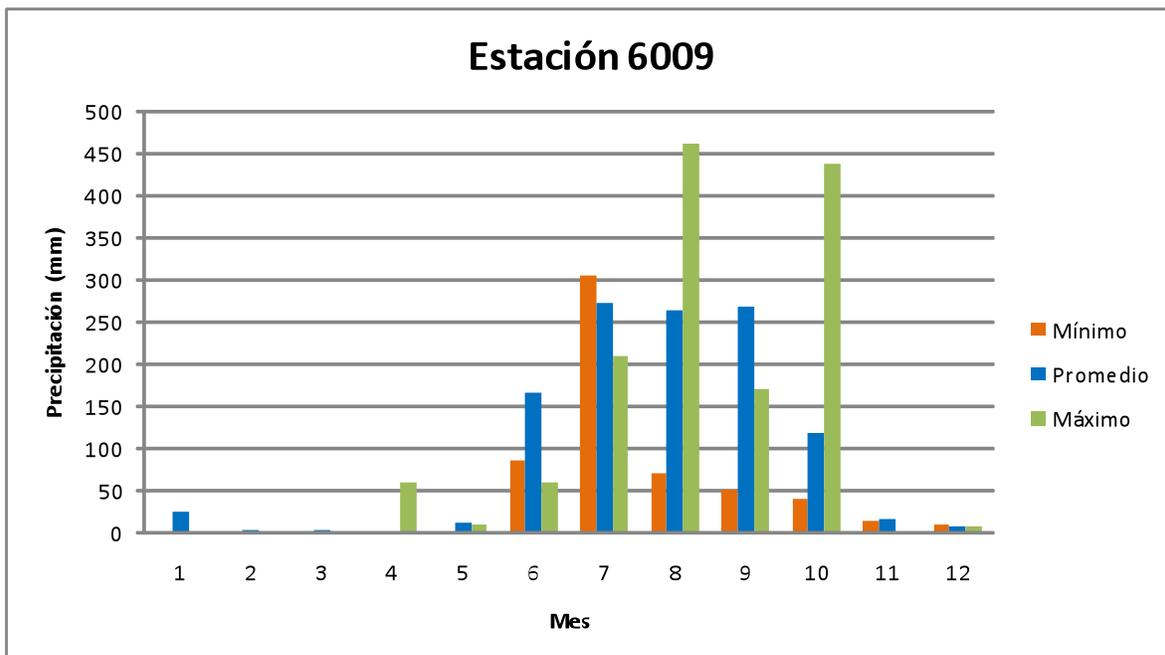


Figura 1.9 Comportamiento de la precipitación en la estación Cuauhtémoc

En la figura 1.10 correspondiente a la Estación Comala, la lluvia media anual es de 1175 mm; el año más seco es de 426 mm y el más húmedo es de 3413 mm.

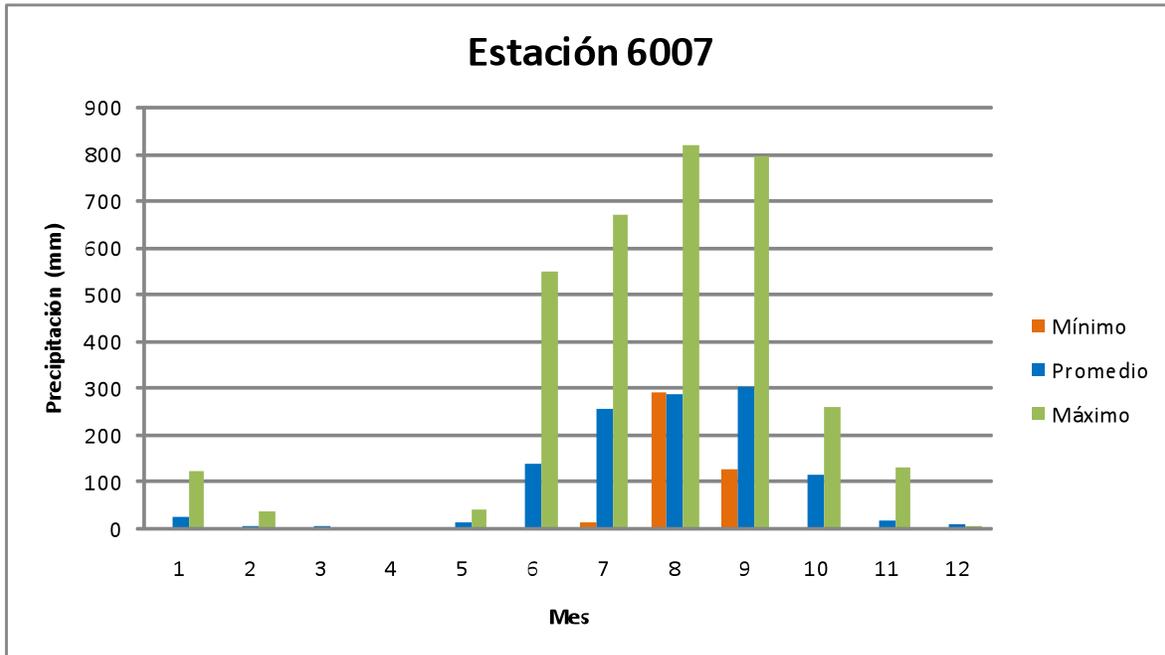


Figura 1.10 Comportamiento de la precipitación en la estación Comala

En la figura 1.11 correspondiente a la Estación Quesería, la lluvia media anual es de 1552 mm; el año más seco es de 430 mm y el más húmedo es de 3069 mm.

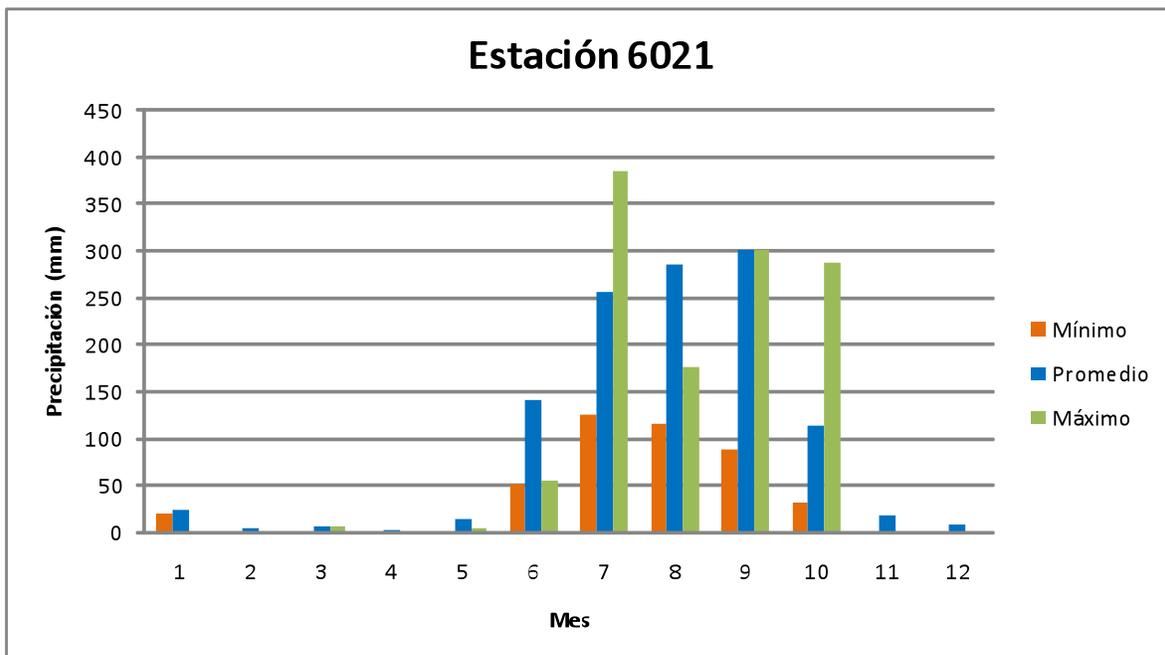


Figura 1.11 Comportamiento de la precipitación en la estación Quesería

A partir de la información anterior, en la tabla siguiente se puede en forma resumida que en la zona de estudio, la lluvia media es del orden de 1102 mm, y que la lluvia mínima anual es de 477 mm, que corresponde aproximadamente a un 43% de la media anual; mientras que el valor de lluvia de los años más húmedos es del orden de 2171 mm, que representa el 197% de la lluvia media anual.

Tabla 1.4 Resumen de precipitaciones anuales en la zona

ESTACION	NOMBRE	prom	min	max
6040	Colima	875	496	1206
		79%	104%	56%
6008	Coquimatlán	817	400	1280
		74%	84%	59%
6014	Las Peñitas	1027	530	2340
		93%	111%	108%
6009	Cuauhtémoc	1167	578	1718
		106%	121%	79%
6007	Comala	1175	426	3413
		107%	89%	157%
6021	Quesería	1552	430	3069
		141%	90%	141%
ZONA		1102	477	2171
		prom	min	max
		100%	43%	197%

También se observa que para la condición de precipitación promedio, el valor mínimo se ubica en Coquimatlán y Colima; las condiciones medias se ubican entre Las Peñitas, Cuauhtémoc y Comala; y el valor máximo se ubica en Quesería. Para la condición de precipitación mínima, el valor mínimo se presenta en Coquimatlán, Comala y Quesería; el valor medio en Colima y los valores máximos en Las Peñitas y Cuauhtémoc. Finalmente, para la condición de precipitación máxima, en Colima, Coquimatlán y Cuauhtpemoc, se presentan los valores de menores; en Peñitas se presenta la condición media y los máximos anuales se presentan en Comala y Quesería.

En las siguientes figuras puede observarse la distribución espacial de las lluvias para las tres condiciones: mínimas (Figura 1.12), medias (Figura 1.13) y máximas (Figura 1.14).

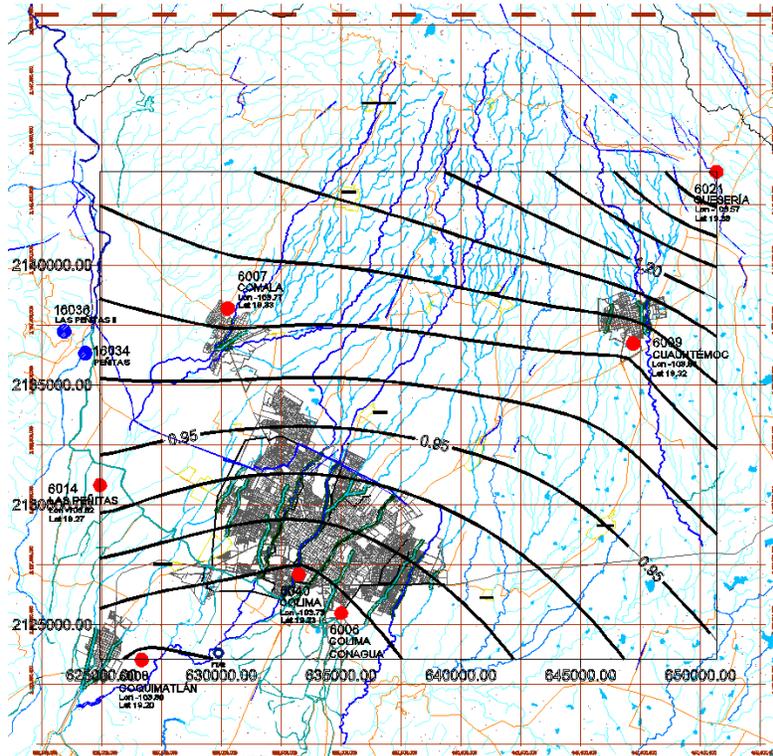


Figura 1.12 Distribución de la lluvia mínima anual en la zona

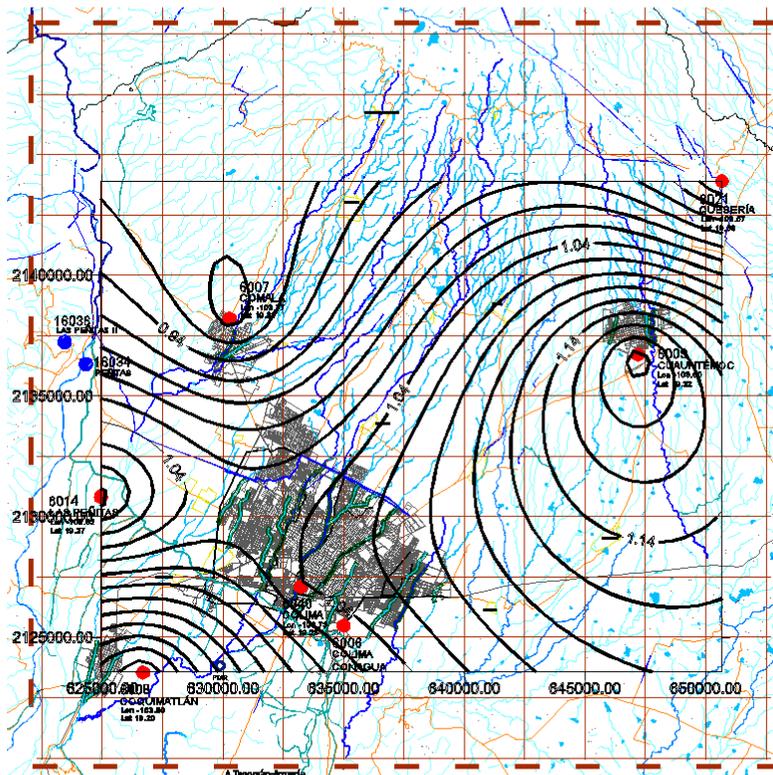


Figura 1.13 Distribución de la lluvia media anual en la zona

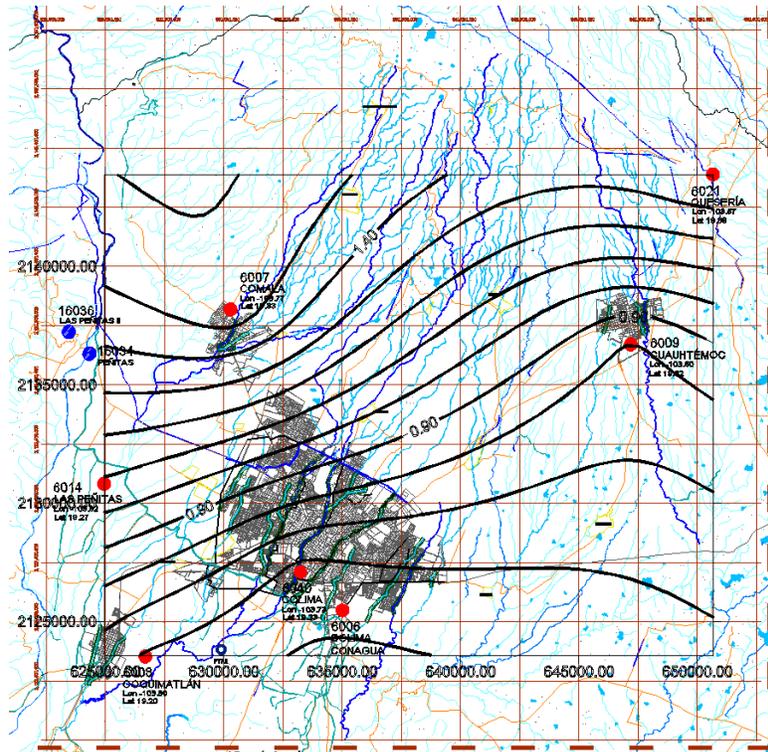


Figura 1.14 Distribución de la lluvia máxima anual en la zona

1.4 ANÁLISIS DE LLUVIAS DE DISEÑO

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Se define mediante la parte de la precipitación que no infiltró en el cuenca y su hietograma (muestra la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta). Ella se obtiene a partir información histórica de precipitaciones en la zona del sitio en estudio.

Una vez conocida la altura de precipitación de una tormenta en n intervalos sucesivos de duración Δt sobre una duración total d (igual a $n\Delta t$), el hietograma de diseño se puede integrar mediante el método del bloque alterno, que establece como acomodar los valores de altura de precipitación en cada intervalo de tiempo. Los incrementos de lámina de lluvia o bloques se ordenan en una secuencia de modo que la mayor se ubiquen el centro de la duración requerida d y que los demás bloque queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el hietograma de diseño (Chow et al, 1994). Cuando se considera en el primer intervalo al bloque del primer Δt , en el segundo intervalo a la suma de los bloques uno y dos, en el tercer intervalo a la suma de los tres primeros bloques y así sucesivamente, se obtiene la curva masa de la precipitación de la tormenta (figura 1.15).

Intensidad de lluvia

Se define como la altura de precipitación entre un intervalo de tiempo, se expresa puede expresar en mm/h. Cualquier tangente a la curva masa representa la intensidad de lluvia en ese instante.

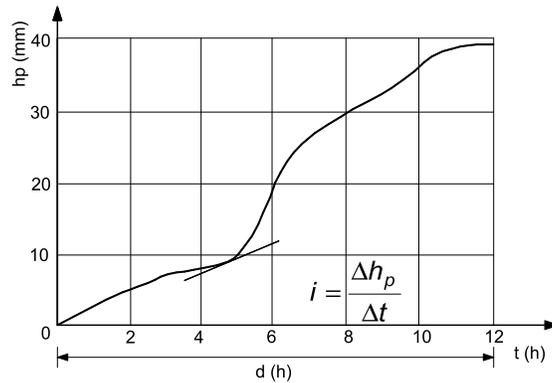


Figura 1.15 Curva masa de una tormenta

Hietograma

Es una gráfica que muestra la variación de la altura o intensidad de precipitación en el tiempo. Es un diagrama de barras verticales que se obtiene de la curva masa cuya altura es igual a la intensidad o altura de precipitación en un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo Δt depende del registro, la medición, o de que número de barras es el adecuado para el problema que se esté tratando (figura 1.16).

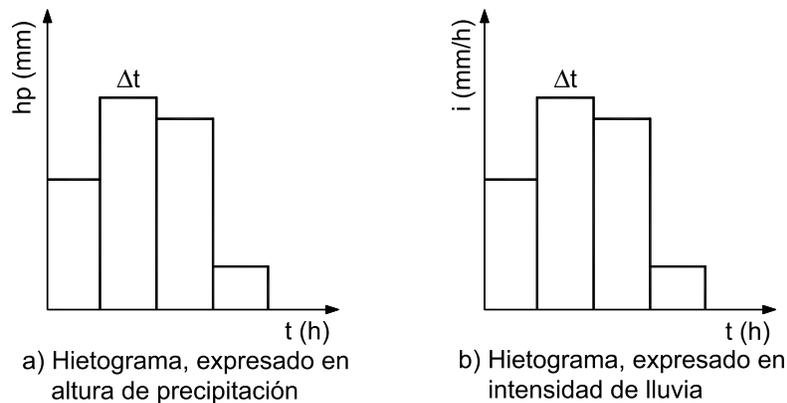


Figura 1.16 Hietograma de una tormenta

Metodología

En este proyecto, se han analizado 54 años consecutivos de precipitación de las seis estaciones climatológicas descritas en el subcapítulo anterior. Del total de sus

valores, presentados en el Anexo 1, se han seleccionado las lluvias máximas diarias, mismas que se presentan en la tabla 1.5. Posteriormente, las lluvias máximas diarias se corrigen por un factor de 1.13 sugerido en la bibliografía por el intervalo de lectura (8 h a 8 h del siguiente día), presentadas en la tabla 1.6 .

En los datos de lluvia presentados en la tabla 1.5 se han incluido las lluvias correspondientes al año 2011 y en las que se incluyen al evento extraordinario *Jová*.

Periodo de retorno

El periodo de retorno se define como el número promedio de años que transcurren para que un evento de cierta magnitud sea igualado o excedido por lo menos una vez (si los eventos son anuales), esto es:

$$T_r = \frac{1}{P(X > x)} = \frac{1}{[1 - P(X \leq x)]}$$

La magnitud de un evento está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia; es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. Para relacionar la magnitud de un evento con su ocurrencia se utiliza el periodo de retorno.

Por otra parte, la probabilidad de que un evento con un periodo de retorno sea igualado o excedido en cualquier año es:

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

En un conjunto de eventos máximos anuales, el periodo de retorno que se asocia a cada uno de ellos puede ser estimado con la fórmula de Weibull.

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

donde:

n , número total de datos o años de registro.

m , número de orden. El orden es el lugar asignado en una lista de valores de la muestra, ordenados de mayor a menor.

Ajustes de funciones de probabilidad

El programa AX.EXE ajusta distintas funciones de probabilidad a muestras de datos y calcula el error estándar de cada una de ellas respecto de la muestra. Este es el menú inicial del programa.

Tabla 1.5 Precipitaciones máximas diarias de la zona de estudio

	LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS					
	6040	6008	6014	6009	6007	6021
1957	67.51	95.00	60.00	75.14	73.70	148.32
1958	66.00	81.50	96.00	83.96	116.90	109.92
1959	144.30	356.50	210.60	157.35	368.20	285.01
1960	57.20	75.90	48.00	81.00	47.11	170.25
1961	49.80	39.90	49.20	141.00	95.50	60.10
1962	71.50	42.00	51.00	82.00	47.80	109.48
1963	70.80	71.00	48.30	108.00	83.86	73.00
1964	60.40	41.26	68.80	94.00	90.00	41.30
1965	214.89	246.06	48.04	49.00	270.74	60.00
1966	60.30	50.40	60.00	110.00	70.15	102.00
1967	136.40	120.00	145.50	116.00	80.00	68.90
1968	110.40	120.00	131.00	118.00	84.60	88.50
1969	255.00	272.00	287.60	186.00	84.00	80.80
1970	79.00	71.00	108.20	100.00	86.00	49.40
1971	92.00	98.30	132.50	140.00	160.00	78.20
1972	93.70	153.90	83.00	82.00	125.00	125.80
1973	50.00	38.50	70.00	170.00	81.50	70.00
1974	80.00	80.20	106.60	89.00	120.00	100.20
1975	55.70	76.30	87.50	109.50	68.00	105.00
1976	139.00	116.50	80.90	211.00	58.00	124.54
1977	86.50	98.00	60.00	77.30	65.00	147.30
1978	95.50	95.00	54.60	49.40	87.60	80.00
1979	54.20	48.70	97.10	74.00	79.60	128.58
1980	80.20	85.50	76.40	65.00	68.50	91.71
1981	82.50	67.60	72.10	58.00	56.00	80.00
1982	80.30	62.50	58.40	94.00	87.00	124.00
1983	87.50	68.50	212.30	79.00	73.00	52.80
1984	79.50	65.60	75.60	101.70	71.00	162.49
1985	40.00	39.00	66.60	62.50	98.74	60.00
1986	78.00	57.80	71.70	140.50	98.00	354.47
1987	81.20	61.00	105.70	89.00	150.39	25.00
1988	77.50	80.00	83.46	80.50	86.00	65.00
1989	56.90	53.50	64.70	77.50	72.07	148.61
1990	76.50	77.10	108.00	54.00	48.00	100.50
1991	80.00	60.20	69.00	41.64	63.50	60.90
1992	105.30	123.30	140.20	96.08	96.40	108.00
1993	72.40	97.00	112.80	60.30	118.00	24.60
1994	71.20	76.20	117.70	59.90	82.60	65.10
1995	115.00	85.00	110.30	98.00	114.30	160.06
1996	80.10	95.70	81.20	112.50	55.50	85.80
1997	51.40	75.50	120.80	60.50	89.50	82.60
1998	81.30	112.30	91.90	220.00	105.70	180.28
1999	239.00	214.20	287.00	180.60	273.00	121.44
2000	103.7	83.7	90.2	68.4	131.37	81.265
2001	54.8	81.5	66.5	80.1	101.18	144.65
2002	134.60	220.70	160.80	81.00	131.6	72.96
2003	128.50	148.00	92.80	114.00	127.2	139.44
2004	69.00	58.00	57.50	93.50	71.0	167.14
2005	87.70	87.70	38.50	37.00	295.00	87.70
2006	129.20	129.20	40.00	37.00	487.70	129.20
2007	21.49	39.00	39.00	38.00	278.00	20.74
2008	41.69	40.00	39.00	36.00	357.30	11.09
2009	6.38	40.50	38.50	35.00	215.80	18.89
2010	54.61	40.00	39.30	36.00	409.00	7.40
2011	355.00	458.60	348.00	290.00	376.90	355.00
PROM	92.59	101.31	97.46	96.02	133.32	105.37

Tabla 1.6 Corrección de precipitaciones máximas diarias de la zona de estudio

Año	LLUVIAS MÁXIMAS DE 24 HRS.					
	6040	6008	6014	6009	6007	6021
1957	76.3	107.4	67.8	84.9	83.3	167.6
1958	74.6	92.1	108.5	94.9	132.1	124.2
1959	163.1	402.8	238.0	177.8	416.1	322.1
1960	64.6	85.8	54.2	91.5	53.2	192.4
1961	56.3	45.1	55.6	159.3	107.9	67.9
1962	80.8	47.5	57.6	92.7	54.0	123.7
1963	80.0	80.2	54.6	122.0	94.8	82.5
1964	68.3	46.6	77.7	106.2	101.7	46.7
1965	242.8	278.0	54.3	55.4	305.9	67.8
1966	68.1	57.0	67.8	124.3	79.3	115.3
1967	154.1	135.6	164.4	131.1	90.4	77.9
1968	124.8	135.6	148.0	133.3	95.6	100.0
1969	288.2	307.4	325.0	210.2	94.9	91.3
1970	89.3	80.2	122.3	113.0	97.2	55.8
1971	104.0	111.1	149.7	158.2	180.8	88.4
1972	105.9	173.9	93.8	92.7	141.3	142.2
1973	56.5	43.5	79.1	192.1	92.1	79.1
1974	90.4	90.6	120.5	100.6	135.6	113.2
1975	62.9	86.2	98.9	123.7	76.8	118.7
1976	157.1	131.6	91.4	238.4	65.5	140.7
1977	97.7	110.7	67.8	87.3	73.5	166.5
1978	107.9	107.4	61.7	55.8	99.0	90.4
1979	61.2	55.0	109.7	83.6	89.9	145.3
1980	90.6	96.6	86.3	73.5	77.4	103.6
1981	93.2	76.4	81.5	65.5	63.3	90.4
1982	90.7	70.6	66.0	106.2	98.3	140.1
1983	98.9	77.4	239.9	89.3	82.5	59.7
1984	89.8	74.1	85.4	114.9	80.2	183.6
1985	45.2	44.1	75.3	70.6	111.6	67.8
1986	88.1	65.3	81.0	158.8	110.7	400.6
1987	91.8	68.9	119.4	100.6	169.9	28.3
1988	87.6	90.4	94.3	91.0	97.2	73.5
1989	64.3	60.5	73.1	87.6	81.4	167.9
1990	86.4	87.1	122.0	61.0	54.2	113.6
1991	90.4	68.0	78.0	47.0	71.8	68.8
1992	119.0	139.3	158.4	108.6	108.9	122.0
1993	81.8	109.6	127.5	68.1	133.3	27.8
1994	80.5	86.1	133.0	67.7	93.3	73.6
1995	130.0	96.1	124.6	110.7	129.2	180.9
1996	90.5	108.1	91.8	127.1	62.7	97.0
1997	58.1	85.3	136.5	68.4	101.1	93.3
1998	91.9	126.9	103.8	248.6	119.4	203.7
1999	270.1	242.0	324.3	204.1	308.5	137.2
2000	117.2	94.6	101.9	77.3	148.5	91.8
2001	61.9	92.1	75.1	90.5	114.3	163.5
2002	152.1	249.4	181.7	91.5	148.7	82.4
2003	145.2	167.2	104.9	128.8	143.8	157.6
2004	78.0	65.5	65.0	105.7	80.2	188.9
2005	99.1	99.1	43.5	41.8	333.4	99.1
2006	146.0	146.0	45.2	41.8	551.1	146.0
2007	24.3	44.1	44.1	42.9	314.1	23.4
2008	47.1	45.2	44.1	40.7	403.7	12.5
2009	7.2	45.8	43.5	39.6	243.9	21.3
2010	61.7	45.2	44.4	40.7	462.2	8.4
2011	401.2	518.2	393.2	327.7	425.9	401.2

Se realizaron ajustes a varias distribuciones de probabilidad con la información de intensidades máximas anuales para diferentes funciones en el programa AX, Ajuste de Modelos de Probabilidad Versión 1.05, elaborado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres. Las funciones de probabilidad que contempla el programa son las siguientes: Normal, Log-normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y doble Gumbel.

El análisis de frecuencias permite determinar los eventos de diseño a partir una serie de datos. Con este análisis se relaciona la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Para aplicar dichos métodos las variables hidrológicas deben ser independientes y estocásticas, y los parámetros de las distribuciones se deben obtener por diversos métodos, que se ajusten a la muestra de cada estación; con ello se extrapola para determinar los eventos de diseño asociados a una probabilidad de no-ocurrencia denominado comúnmente como periodo de retorno y denotado como T_r .

En la Tabla 1.7, se agrupan las distintas funciones de probabilidad con las que se pueden analizar las series de datos.

Tabla 1.7 Funciones de distribución de probabilidad. Fuente: Manual de Operación de los programas AX.exe y Carachid.exe para hidrología

Nombre	Función
Normal estandarizada	$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ $t = \frac{x - \alpha}{\beta}$ donde
Lognormal	$F(t) = \int_{-\infty}^t \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ $t = \frac{\ln(x - \delta) - \alpha}{\beta}$ donde
Gumbel	$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$
Exponencial	$F(x) = 1 - e^{-\frac{x-\beta}{\alpha}}$
Gamma	$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \times \int_{\delta}^x \left(\frac{x-\delta}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}} dx$ $\Gamma(\beta): \text{Función matemática Gamma}$
Gumbel mixta	$F(x) = P\left(e^{-e^{-\alpha_1(x-\beta_1)}}\right) + (1-P)\left(e^{-e^{-\alpha_2(x-\beta_2)}}\right)$

Una vez que se ajusta la muestra de datos a las diferentes funciones de distribución de probabilidades, se selecciona aquella que presenta el menor error estándar de ajuste, el cual se define por la siguiente expresión:

$$EE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{ei} - X_{0i})}{N - P}}$$

Donde:

X_{ei} es el i-ésimo dato estimado con la fórmula de Weibull

X_{0i} es el i-ésimo dato calculado con la función de distribución de probabilidades.

N es el número de datos de la muestra.

P es el número de parámetros de la función de ajuste.

La función de probabilidad se ha determinado utilizando el programa AX, desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). En él se introducen los valores máximos anuales y se obtiene la función con mejor ajuste a la serie de datos.

El objetivo de determinar el mejor ajuste, es extrapolar, a partir de la serie de datos, los valores de altura de lluvia máxima diaria y asociarlos con su respectivo periodo de retorno (Tr).

El análisis de frecuencias de las láminas de lluvia máxima en 24 h se emplea para proveer la magnitud de un evento de diseño de cierto período de retorno Tr .

En las figuras 1.17 a 1.22 se presentan los resultados de ajuste para las diferentes estaciones. Se presentan además los valores de precipitación máxima diaria extrapolada para diferentes periodos de retorno.

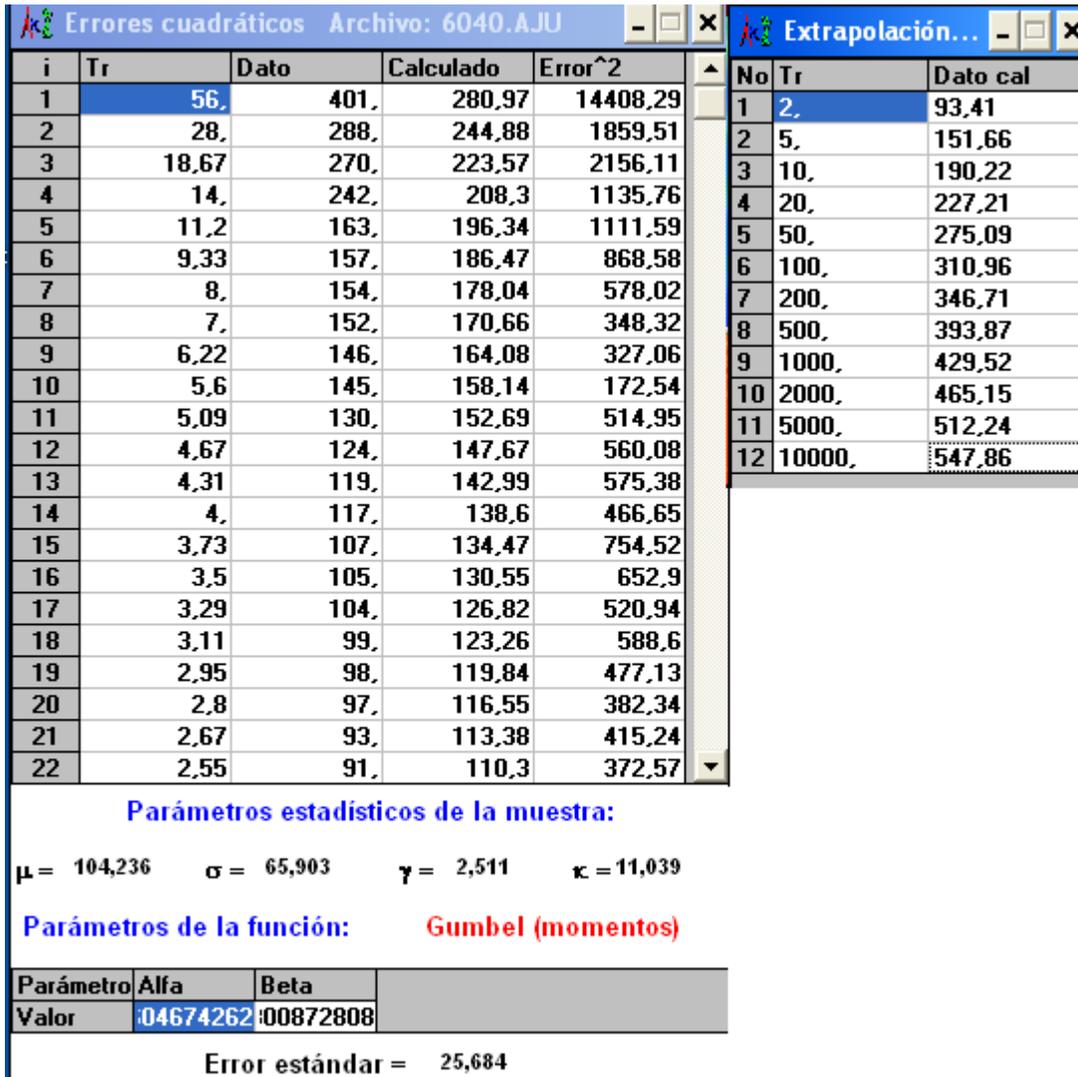


Figura 1.17 Ajuste de probabilidad de la estación 6040

i	Tr	Dato	Calculado	Error^2
1	56,	518,	354,	26896,13
2	28,	402,	305,02	9405,42
3	18,67	307,	276,09	955,3
4	14,	278,	255,37	512,11
5	11,2	249,	239,14	97,24
6	9,33	242,	225,74	264,25
7	8,	173,	214,3	1705,93
8	7,	167,	204,29	1390,38
9	6,22	146,	195,36	2436,3
10	5,6	139,	187,28	2331,31
11	5,09	135,	179,9	2015,67
12	4,67	135,	173,07	1449,62
13	4,31	131,	166,72	1276,15
14	4,	126,	160,77	1209,06
15	3,73	111,	155,16	1950,21
16	3,5	110,	149,85	1587,64
17	3,29	109,	144,79	1280,58
18	3,11	108,	139,95	1020,76
19	2,95	107,	135,31	801,47
20	2,8	107,	130,85	568,6
21	2,67	99,	126,53	758,14
22	2,55	96,	122,36	694,86

No	Tr	Dato cal
1	2,	99,44
2	5,	178,49
3	10,	230,83
4	20,	281,03
5	50,	346,02
6	100,	394,72
7	200,	443,24
8	500,	507,25
9	1000,	555,63
10	2000,	603,99
11	5000,	667,91
12	10000,	716,26

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 114,127$ $\sigma = 89,449$ $\gamma = 2,733$ $\kappa = 11,581$

Parámetros de la función: Gumbel (momentos)

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	77552657	51558998

Error estándar = 38,399

Figura 1.18 Ajuste de probabilidad de la estación 6008

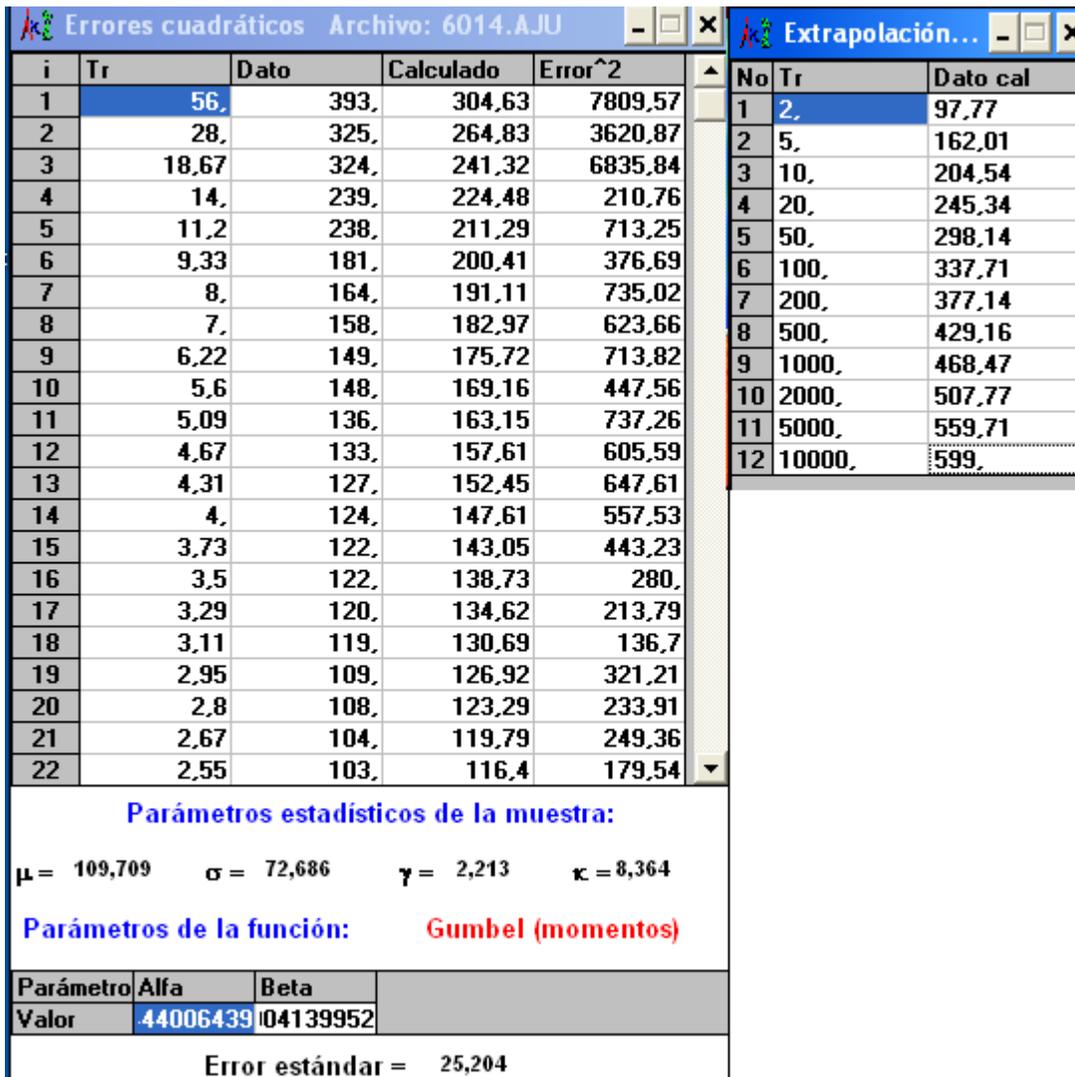


Figura 1.19 Ajuste de probabilidad de la estación 6014

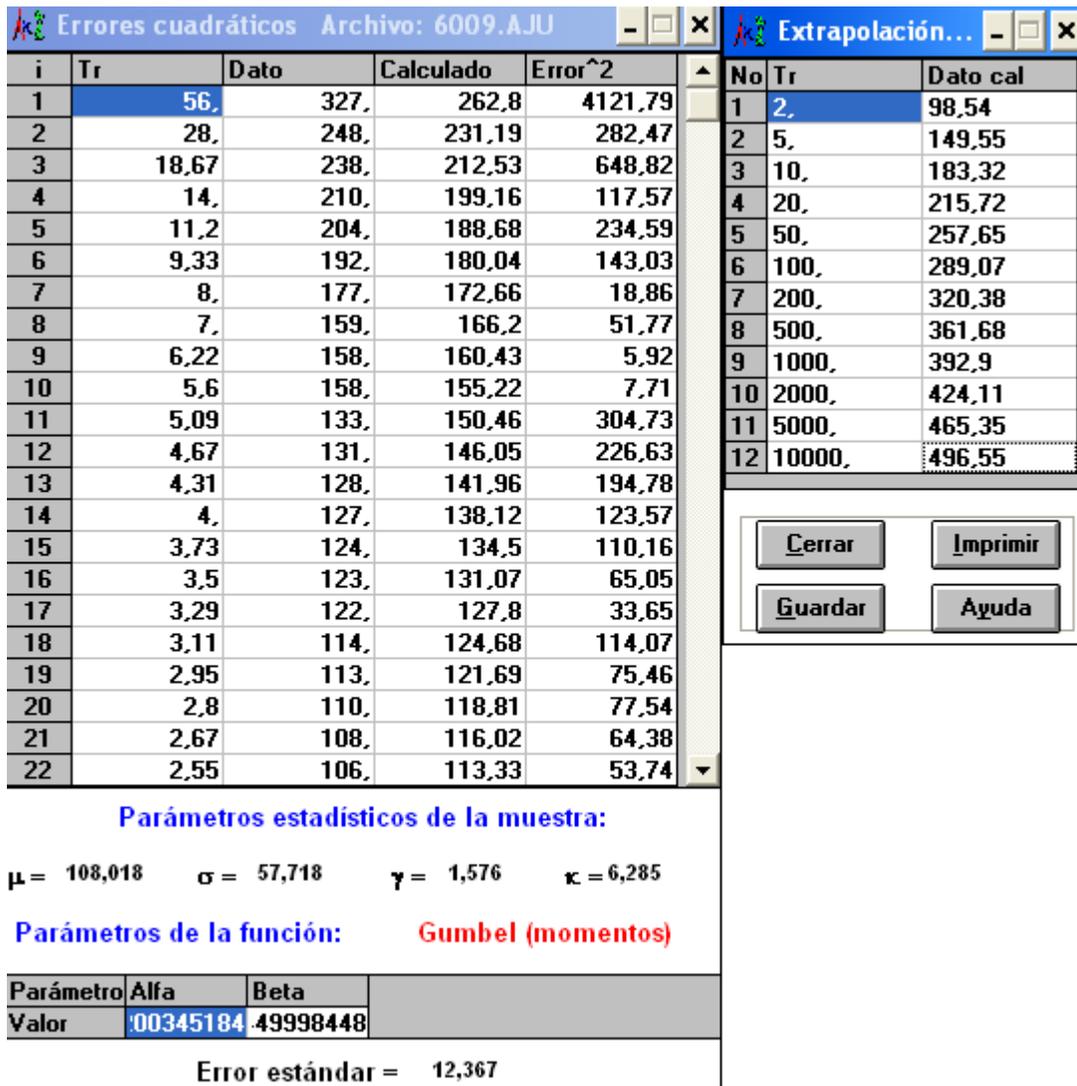


Figura 1.20 Ajuste de probabilidad de la estación 6009

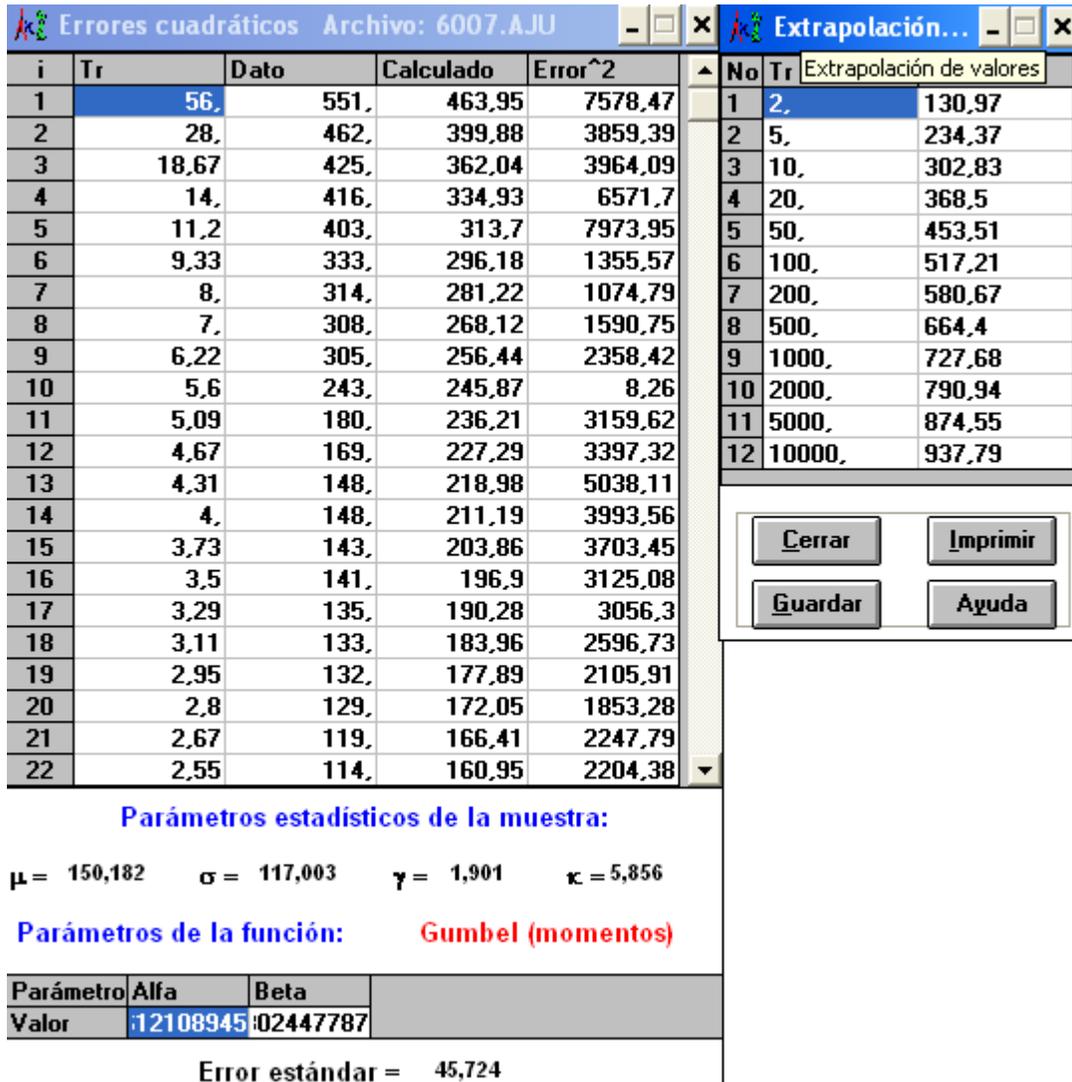


Figura 1.21 Ajuste de probabilidad de la estación 6007

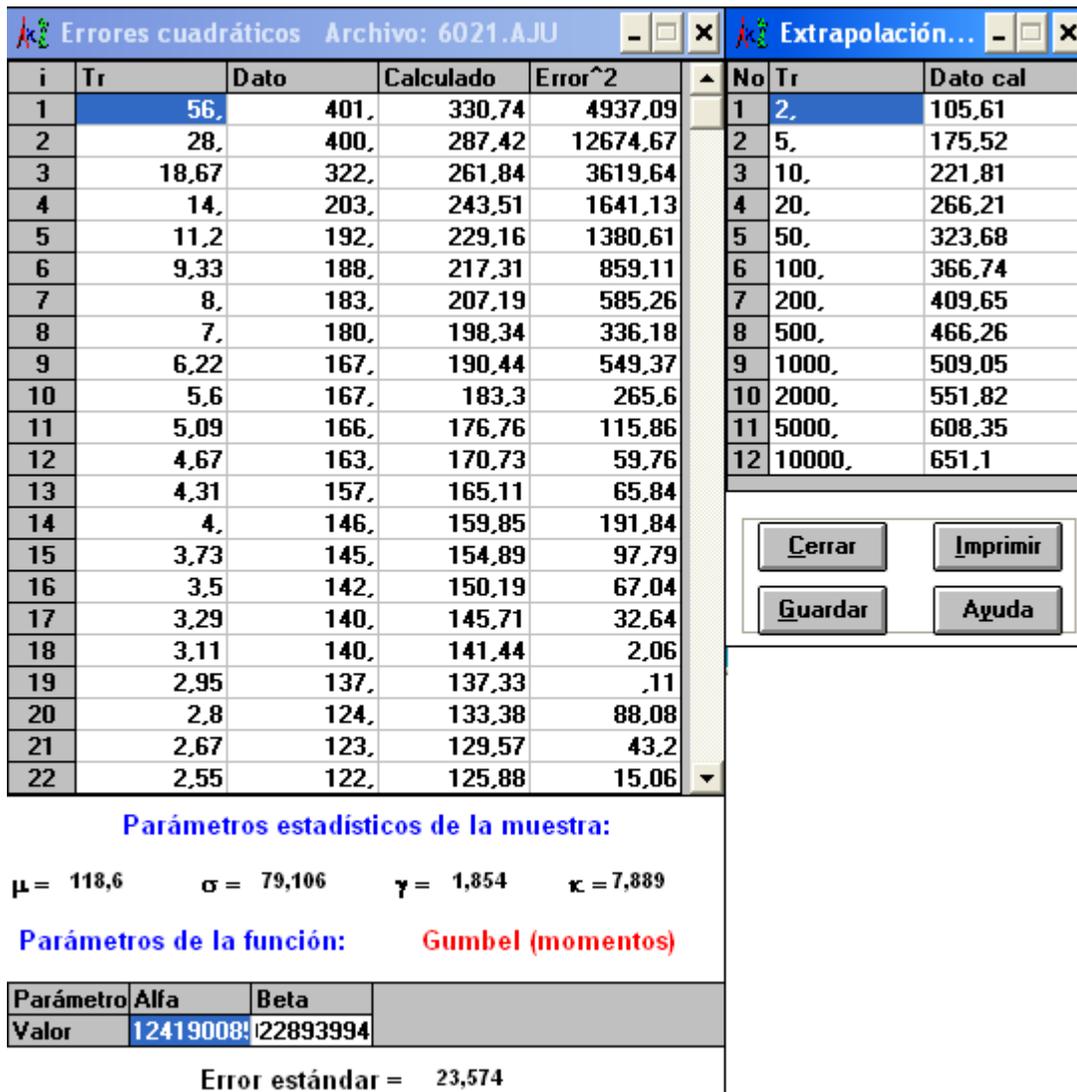


Figura 1.22 Ajuste de probabilidad de la estación 6021

Tabla 1.8 Resumen de precipitaciones máximas extrapoladas para diferentes periodos de retorno

LLUVIAS MÁXIMAS DE 24 HORAS						
PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO						
Tr/Est.	6040	6021	6014	6009	6008	6007
2	93.4	105.6	97.8	98.5	99.4	131.0
5	151.7	175.5	162.0	149.6	178.5	234.4
10	190.2	221.8	204.5	183.3	230.8	302.8
20	227.2	266.2	245.3	215.7	281.0	368.5
50	275.1	323.7	298.1	257.7	346.0	453.5
100	311.0	366.7	337.7	289.1	394.7	517.2
200	346.7	409.7	377.1	320.4	443.2	580.7
500	393.9	466.3	429.2	361.7	507.3	664.4
1000	429.5	509.1	468.5	392.9	555.6	727.7

En la tabla anterior se presentan los valores de precipitación máxima extrapolada para diferentes periodos de retorno, resultantes de la aplicación del programa AX.

Posteriormente, se obtuvieron los valores de días con lluvia promedio del año para cada estación, así como los valores promedio de precipitación máxima diaria corregida.

Tabla 1.9 Parámetros de lluvias máximas

Estación	6040	6021	6014	6009	6008	6007
Días con lluvia/año	66.286	84.143	73.857	75.821	62.661	65.125
Promedio max anual hp24	104.63	114.49	110.13	108.50	150.65	119.07

Consecuentemente se obtuvieron los valores de días con lluvia promedio del año para cada estación, así como los valores promedio de precipitación máxima diaria corregida.

Para construir las curvas I-d-Tr se requiere conocer la relación de lluvia R de 1 h a la de 24 h, ambas con periodo de retorno Tr de 2 años. Para la obtención de esta relación es necesario utilizar el registro pluviográfico más cercano, o bien se puede emplear el criterio propuesto por el U.S. Weather Bureau y ampliado por B.M. Reich.

Estimación de la lluvia de una hora y periodo de retorno (Tr) de 2 años.

De la extrapolación obtenida del AX, se obtiene para un Tr de 2 años el valor de precipitación máxima. Para obtener la lluvia de una hora para Tr de 2 años, se utiliza la figura 1.23, con el número medio de días con tormenta convectiva, y se obtiene la precipitación de una hora.

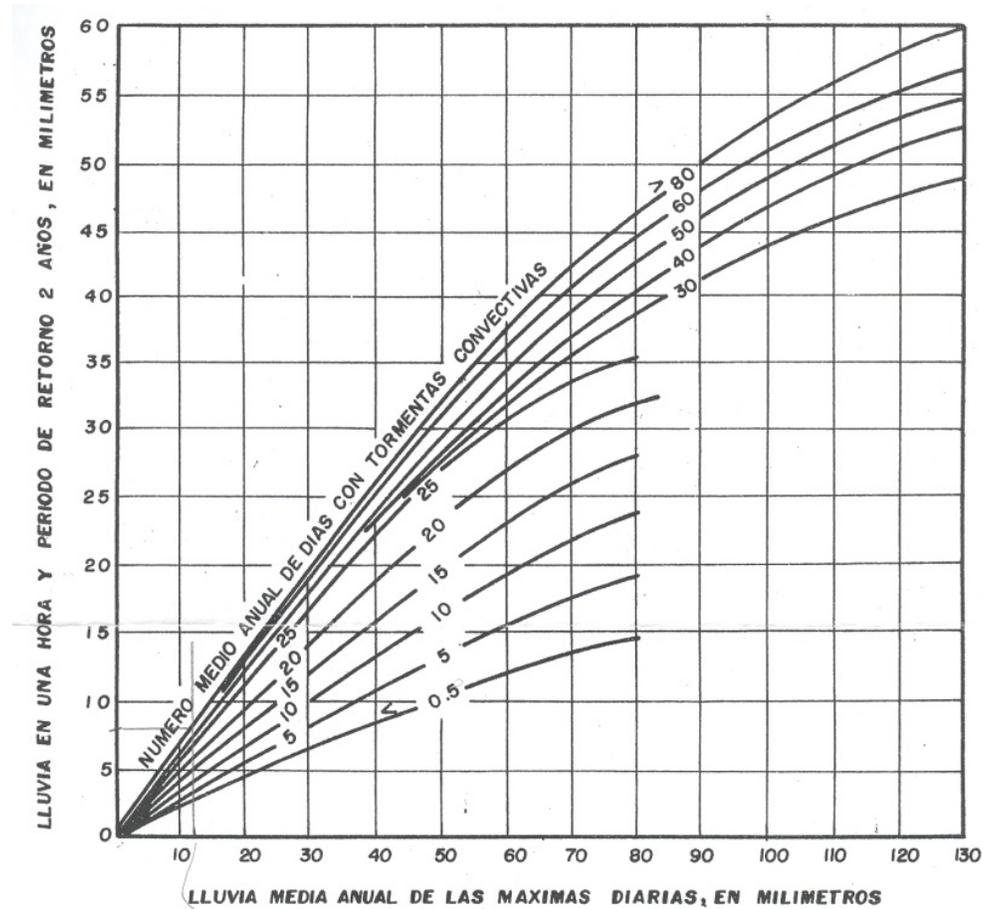


Figura 1.23 Relación empírica para estimar la lluvia de una hora y periodo de retorno de 2 años

Con la estimación de lluvia de una hora y periodo de retorno de 2 años, su respectiva relación de lluvia R, la cual se obtuvo a partir del Número Medio Anual de Días con Tormentas Convectivas (según el criterio del U.S. Weather Bureau), se determina el valor de altura máxima de lluvia para un Tr de 2 años, aplicando la fórmula de Bell, que es:

$$P_{Tr}^d = (0.35Ln(Tr) + 0.76)(0.54 * d^{0.25} - 0.50)(P_2^{60})$$

donde

P_{Tr}^d , es el evento de lluvia en milímetros de duración d minutos y periodo de retorno Tr en años, y Ln el logaritmo natural.

Es posible construir las curvas de altura de lluvia-duración-periodo de retorno h - D - Tr , y considerando que la intensidad es igual a la lluvia entre su duración, entonces se pueden construir las curvas I - d - Tr .

Tabla 1.10 Relación de lluvia R para 1 h/24 h de cada estación

<i>Estación</i>	<i>6040</i>	<i>6021</i>	<i>6014</i>	<i>6009</i>	<i>6008</i>	<i>6007</i>
<i>R=</i>	<i>0.56</i>	<i>0.53</i>	<i>0.54</i>	<i>0.54</i>	<i>0.58</i>	<i>0.42</i>

Hietogramas

El cálculo de los hietogramas se hizo para una duración de 4 horas con valores a intervalos de 30 minutos. Ya que en la zona de estudio se obtuvieron cuencas con superficies pequeñas en donde los tiempos de concentración varían entre 30 minutos y cerca de 3 horas.

Una vez que se contó con la altura de precipitación de 1 día para los diferentes periodos de retorno, se empleó la tabla de Chen para calcular la variación de la lluvia acumulada durante una tormenta. Para la aplicación de ésta tabla es necesario conocer el porcentaje de lluvia total de 24 horas que se concentra en 1 hora; para este caso de estudio, en cada cuenca se tiene un valor de R diferente, pero que varía entre 0.42 y 0.58 (Tabla 1.10).

Con el factor de comportamiento R de las diferentes duraciones, se interpolaron los valores para duraciones desde 30 minutos hasta 6 horas (duración para la cual se realizara el cálculo y que considera al 95% de la lluvia de un día) en incrementos de 30 minutos (tiempo de duración de cada barra o del intervalo de clase del hietograma).

A partir de los valores las alturas de las láminas de precipitación, se obtienen las diferencias entre los valores consecutivos, con la finalidad de obtener los porcentajes de incremento de lluvia cada 30 minutos.

Una vez que se dispuso de los incrementos de láminas de precipitación a intervalos de 30 minutos, se aplicó el método de bloques alternos. Éste método consiste en ordenar los valores de manera que estos reproduzcan la forma del los hietogramas que se han presentado en la zona en estudio. Ello se realiza tomando el valor más grande y colocarlo al centro, el valor que le siguen en tamaño se colocado a la derecha y el que le sigue en magnitud a la izquierda del más

grande; este procedimiento se repite hasta ordenar todos los valores de láminas de lluvia. En la figura 1.24 se muestran los hietogramas obtenidos para la estación 6040. De cada estación de lluvia se han obtenido los datos con los que se construyen dichos hietogramas y se presentan en forma resumida en la tabla 1.11.

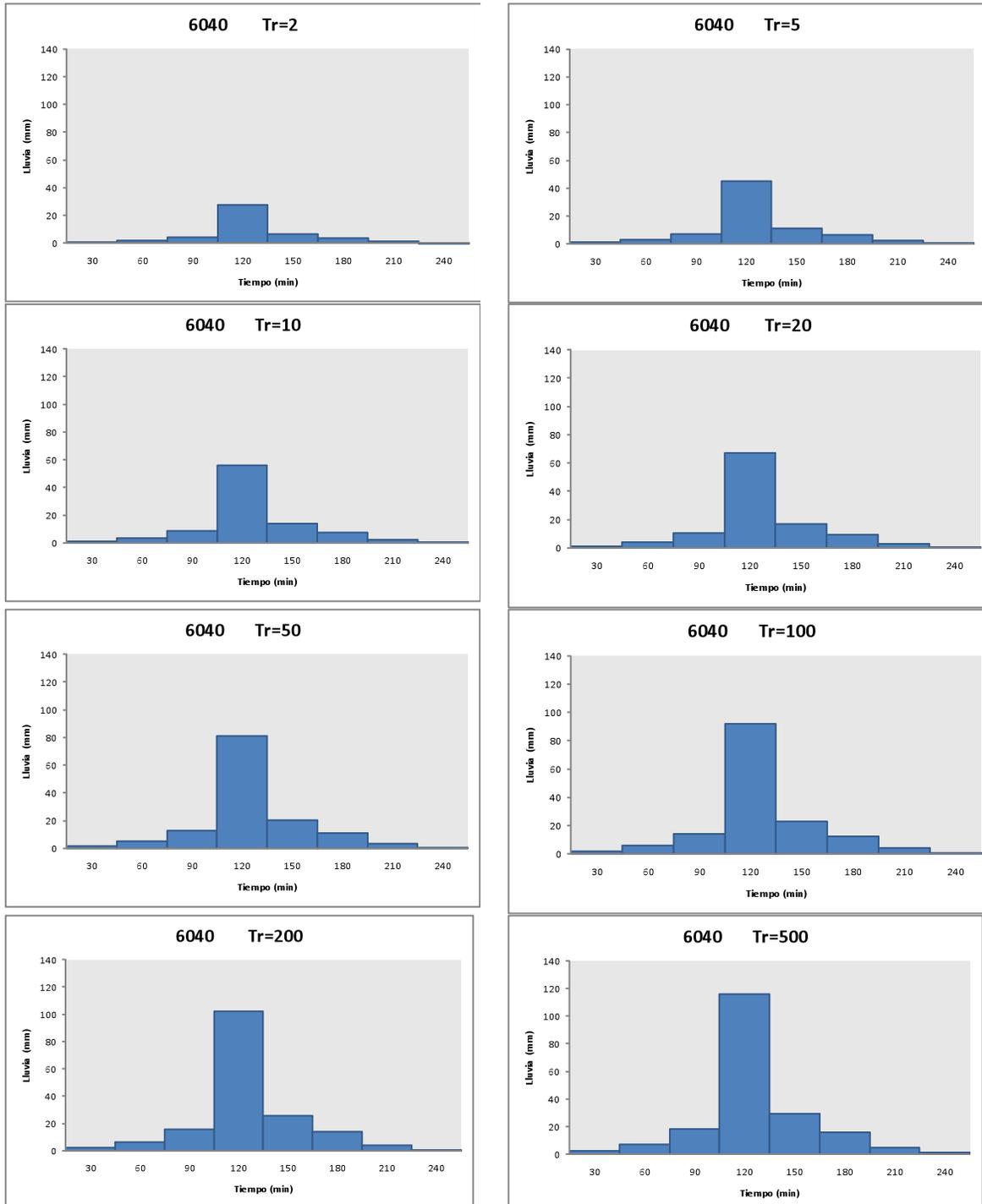


Figura 1.24 Hietogramas para diferentes Tr de la Estación 6040

Tabla 1.11 Valores para la construcción de hietogramas de cada estación

6040

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.6	0.9	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6
60	1.7	2.8	3.5	4.2	5.1	5.7	6.4	7.3	7.9
90	4.3	7.0	8.8	10.5	12.7	14.3	16.0	18.2	19.8
120	27.6	44.7	56.1	67.0	81.1	91.7	102.3	116.2	126.7
150	6.9	11.2	14.0	16.8	20.3	22.9	25.6	29.0	31.7
180	3.7	6.1	7.6	9.1	11.0	12.4	13.8	15.7	17.2
210	1.1	1.9	2.3	2.8	3.4	3.8	4.3	4.8	5.3
240	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1

6021

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.6	1.0	1.3	1.6	1.9	2.2	2.4	2.8	3.0
60	1.9	3.1	3.9	4.7	5.7	6.5	7.3	8.3	9.0
90	4.7	7.8	9.8	11.8	14.4	16.3	18.2	20.7	22.6
120	30.0	49.8	63.0	75.6	91.9	104.1	116.3	132.4	144.5
150	7.5	12.5	15.7	18.9	23.0	26.0	29.1	33.1	36.1
180	4.1	6.7	8.5	10.2	12.4	14.1	15.8	17.9	19.6
210	1.2	2.1	2.6	3.1	3.8	4.3	4.8	5.5	6.0
240	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2

6014

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.3	2.6	2.8
60	1.8	2.9	3.7	4.4	5.4	6.1	6.8	7.7	8.5
90	4.4	7.3	9.2	11.1	13.5	15.2	17.0	19.4	21.1
120	28.2	46.8	59.1	70.9	86.1	97.6	108.9	124.0	135.3
150	7.1	11.7	14.8	17.7	21.5	24.4	27.2	31.0	33.8
180	3.8	6.3	8.0	9.6	11.7	13.2	14.8	16.8	18.3
210	1.2	2.0	2.5	3.0	3.6	4.1	4.5	5.2	5.6
240	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1

6009

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.2	2.4
60	1.8	2.7	3.3	3.9	4.6	5.2	5.7	6.5	7.1
90	4.4	6.7	8.2	9.7	11.6	13.0	14.4	16.2	17.6
120	28.3	42.9	52.6	61.9	74.0	83.0	92.0	103.8	112.8
150	7.1	10.7	13.2	15.5	18.5	20.7	23.0	26.0	28.2
180	3.8	5.8	7.1	8.4	10.0	11.2	12.5	14.1	15.3
210	1.2	1.8	2.2	2.6	3.1	3.5	3.8	4.3	4.7
240	0.2	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9

6008

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.6	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5	2.8	3.2	3.5
60	1.9	3.4	4.4	5.4	6.6	7.6	8.5	9.7	10.6
90	4.8	8.5	11.0	13.4	16.5	18.9	21.2	24.3	26.6
120	30.4	54.6	70.6	86.0	105.9	120.8	135.7	155.2	170.1
150	7.6	13.7	17.7	21.5	26.5	30.2	33.9	38.8	42.5
180	4.1	7.4	9.6	11.6	14.3	16.4	18.4	21.0	23.0
210	1.3	2.3	2.9	3.6	4.4	5.0	5.7	6.5	7.1
240	0.3	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4

6007

d/Tr	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	1.3	2.3	3.0	3.7	4.5	5.1	5.8	6.6	7.2
60	3.2	5.8	7.5	9.1	11.2	12.8	14.4	16.5	18.0
90	3.9	7.0	9.0	11.0	13.5	15.4	17.3	19.8	21.6
120	20.0	35.8	46.2	56.2	69.2	78.9	88.6	101.4	111.1
150	6.0	10.7	13.8	16.8	20.7	23.6	26.5	30.3	33.2
180	2.6	4.6	6.0	7.3	9.0	10.3	11.5	13.2	14.4
210	1.9	3.5	4.5	5.5	6.7	7.7	8.6	9.9	10.8
240	0.8	1.4	1.8	2.2	2.7	3.1	3.5	4.0	4.3

1.5 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

Las estaciones hidrométricas cercanas a la zona de estudio son las siguientes: 16036 (Las Peñitas II) y 16034 (Peñitas), la estación 16031 (Canoas) y la estación 16032 (Colimán). En la figura 1.25 se presenta la zona de estudio con relación a la ubicación de las diferentes estaciones hidrométricas de la zona. Se observa que las estaciones hidrométricas se encuentran sobre el Río Armería.

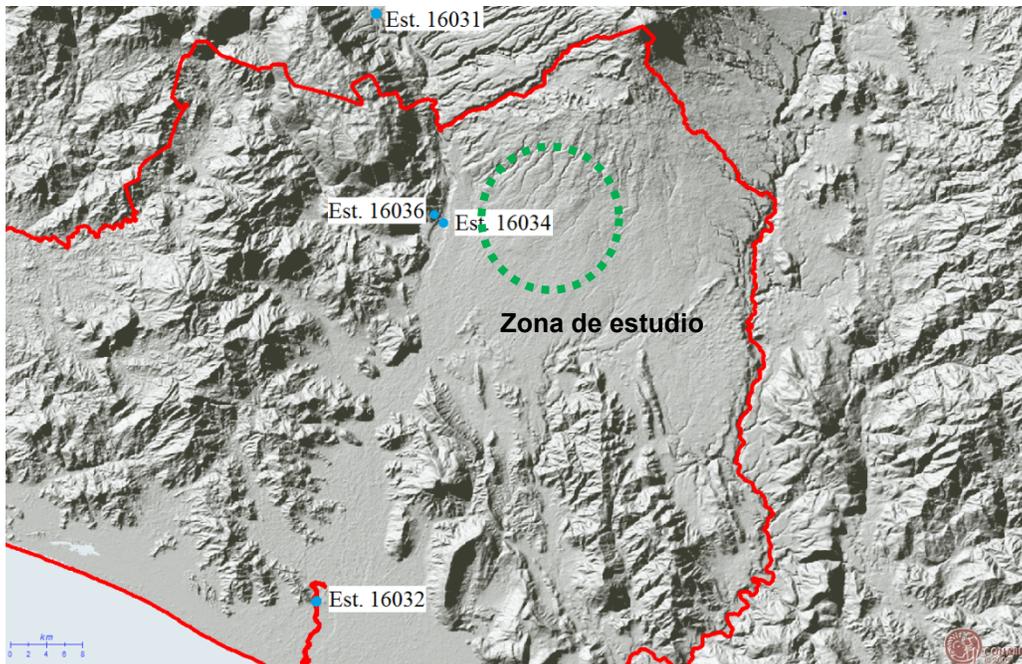


Figura 1.25 Ubicación de estaciones hidrométricas en la zona de estudio

Tabla 1.12 Información complementaria de las estaciones hidrométricas

ESTACIÓN	NOMBRE	PERIODO	CORRIENTE	CUENCA	ESTADO
16031	CANOAS	1961-2006	RÍO ARMERÍA	RÍO ARMERÍA	JALISCO
16032	COLIMAN	1963-1994 Y 1999-2001	RÍO ARMERÍA	RÍO ARMERÍA	COLIMA
16034	PEÑITAS	1954-1988, 1991-1994 Y 1999-2006	CANAL PRINCIPAL MARGEN IZQUIERDA	RÍO ARMERÍA	COLIMA
16036	LAS PEÑITAS II	1954-1988, 1991-1994 Y 1999-2006	RÍO ARMERÍA	RÍO ARMERÍA	COLIMA

De la base de datos del programa BANDAS, se han extraído los datos que se presentan en el Anexo 2 de registros hidrométricos, y del cual se ha extraído la información para construir el comportamiento de los gatos medios diarios y los hidrogramas medidos de las estaciones. En las figuras 1.26 a 1.29 se presentan los hidrogramas históricos de dichas estaciones.

Estacion 16034

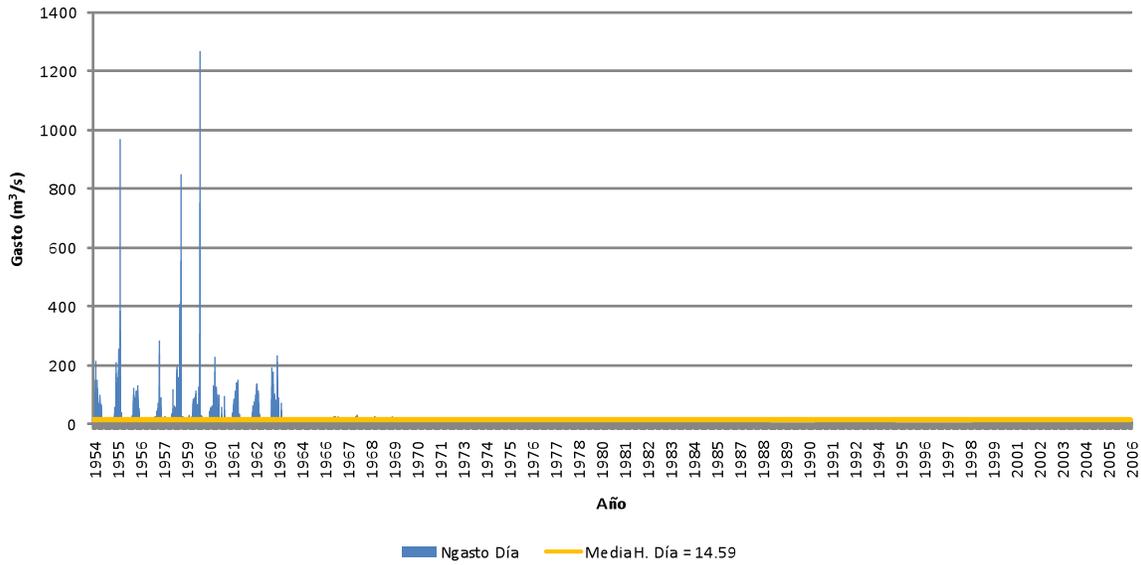


Figura 1.26 Hidrograma de la E.H. Peñitas, $Q_{medio}=14.59 \text{ m}^3/\text{s}$

Estacion 16036

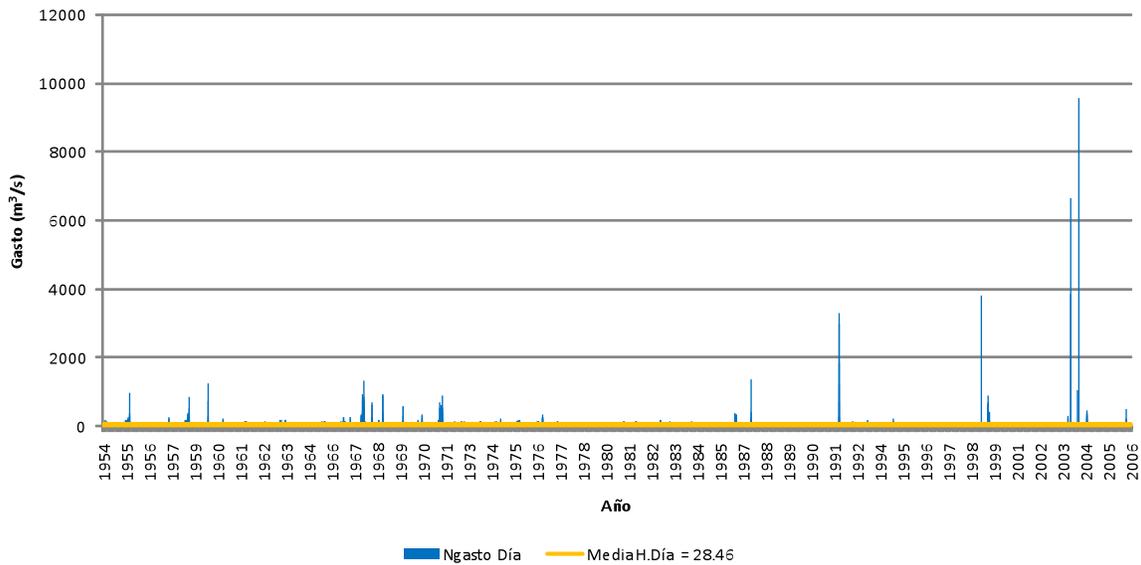


Figura 1.27 Hidrograma de la E.H. La Peñitas II, $Q_{medio}=28.46 \text{ m}^3/\text{s}$

Estacion 16031

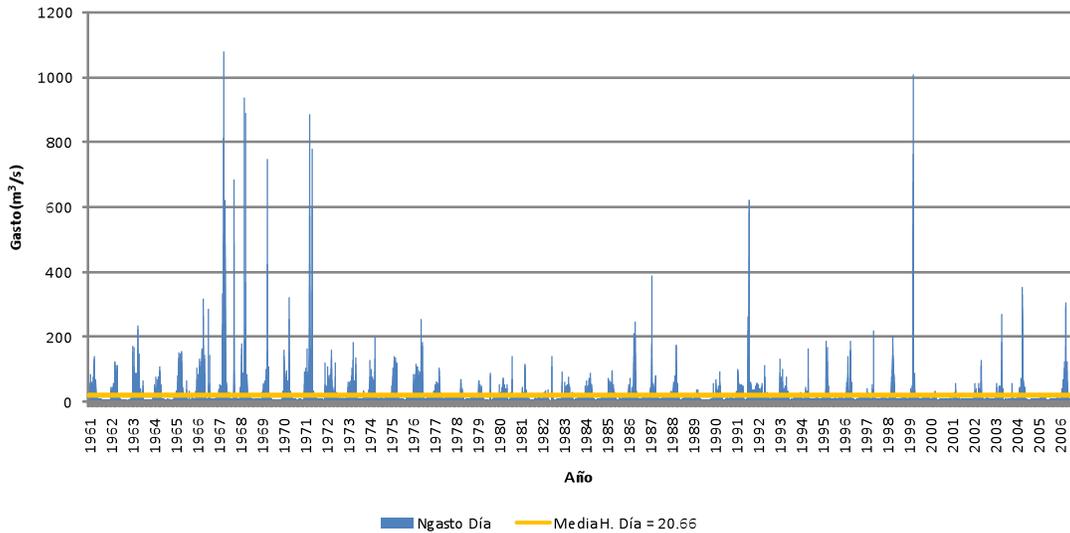


Figura 1.28 Hidrograma de la la E.H. Canoas, $Q_{medio}=20.66 \text{ m}^3/\text{s}$

Estacion 16032

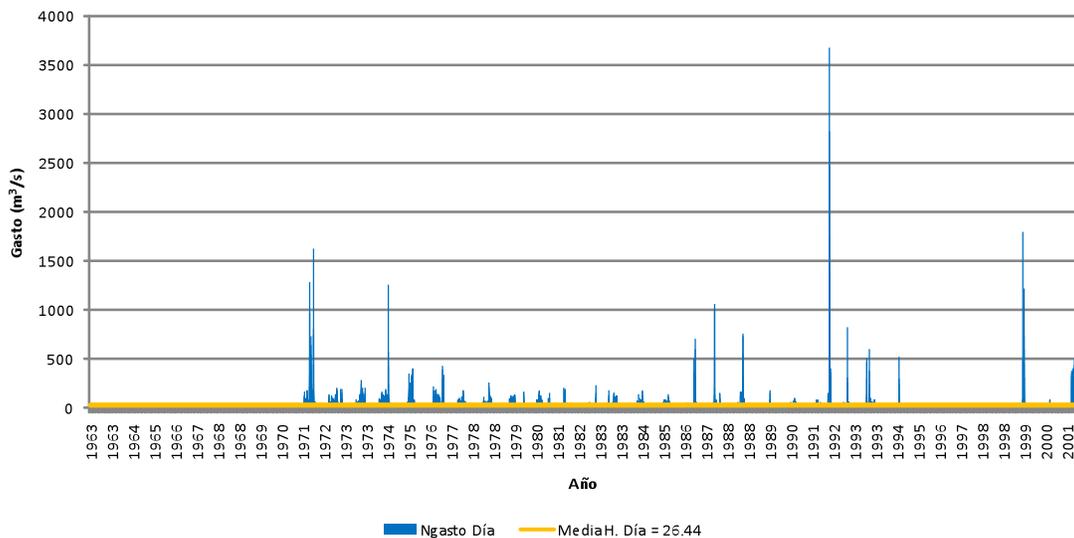


Figura 1.29 Hidrograma de la E.H. Coliman, $Q_{medio} 26.44 \text{ m}^3/\text{s}$

Se observa que los registros de las estaciones hidrométricas no tiene injerencia directa en el desarrollo del balance hidrológico de la zona de estudio. Sin embargo se considera importante conocer el régimen hidrológico general del río Armería, ya que dicha corriente se deriva parcialmente a la zona de riego de la zona sur de la ZM y posteriormente las aguas residuales tratadas de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez descarga igualmente al Río Armería. Esta información forma parte del análisis hidrológico del diagnóstico hidráulico general del capítulo 2 de este documento.

1.6 DESARROLLO DEL MODELO DE RELACIÓN LLUVIA-ESCURRIMIENTO

La relación entre la lluvia y el escurrimiento se inicia desde el momento en que el agua en forma de lluvia entra en contacto con la cuenca. Parte del agua de lluvia escurre sobre la superficie terrestre, otra se infiltra, y una tercera atraviesa la superficie terrestre sin alcanzar el manto freático. Al primer fenómeno se le conoce como escurrimiento superficial, al segundo como flujo subterráneo, y al tercero escurrimiento subsuperficial.

El flujo subterráneo es lento en comparación con el escurrimiento superficial, pero en cada tormenta puede presentarse y se mantiene aun en época de sequía.

Por su parte, el flujo subsuperficial es más rápido que el subterráneo, aunque más lento que el escurrimiento superficial, y su magnitud es difícil de precisar porque, en función de la rapidez del flujo, puede formarse a partir de una o varias tormentas.

El escurrimiento superficial es más rápido que los flujos subterráneo y subsuperficial, y aparece poco después de iniciada la tormenta. En principio se trata de una lámina muy delgada que se incrementa conforme se acerca a la salida de la cuenca. Esta es la razón por la que, al inicio, el gasto que sale de la cuenca es creciente con el tiempo. Posteriormente ocurre que el volumen que ingresa a la cuenca es igual al que sale de la misma, es decir, el gasto se vuelve constante y se conoce como gasto de equilibrio. El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración. También puede entenderse como el tiempo que tarda el agua de lluvia en fluir por la superficie, desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de salida de la misma. Su magnitud depende de dos factores: A) la longitud del recorrido del agua, es decir, la distancia que mide el cauce principal, y B) la velocidad promedio que alcanza el agua durante su recorrido, función de la pendiente del terreno, además de la forma y rugosidad de los cauces.

Etapas de una tormenta

El hidrograma es una gráfica que muestra la variación en el tiempo del gasto del flujo en una sección transversal del cauce. El hidrograma tiene implícitas las características fisiográficas y climáticas de una cuenca que relacionan la lluvia con el escurrimiento.

Las etapas principales de una tormenta son:

- Inicio de la tormenta. La mayor parte de la lluvia que alcanza la superficie del suelo se infiltra, por lo que el escurrimiento superficial es casi nulo.

- Durante la tormenta. Una parte del agua proveniente de la tormenta empieza a escurrir hasta llegar a la salida de la cuenca, o a su punto más bajo. El gasto medido a la salida se incrementa hasta alcanzar un valor máximo.
- Fin de la tormenta. Cuando cesa la tormenta, el gasto medido a la salida de la cuenca empieza a disminuir.
- Después de la tormenta. A la salida de la cuenca se presenta únicamente escurrimiento base.

En el hidrograma de la figura 1.30 se aprecian las etapas de una tormenta con respecto al tiempo.

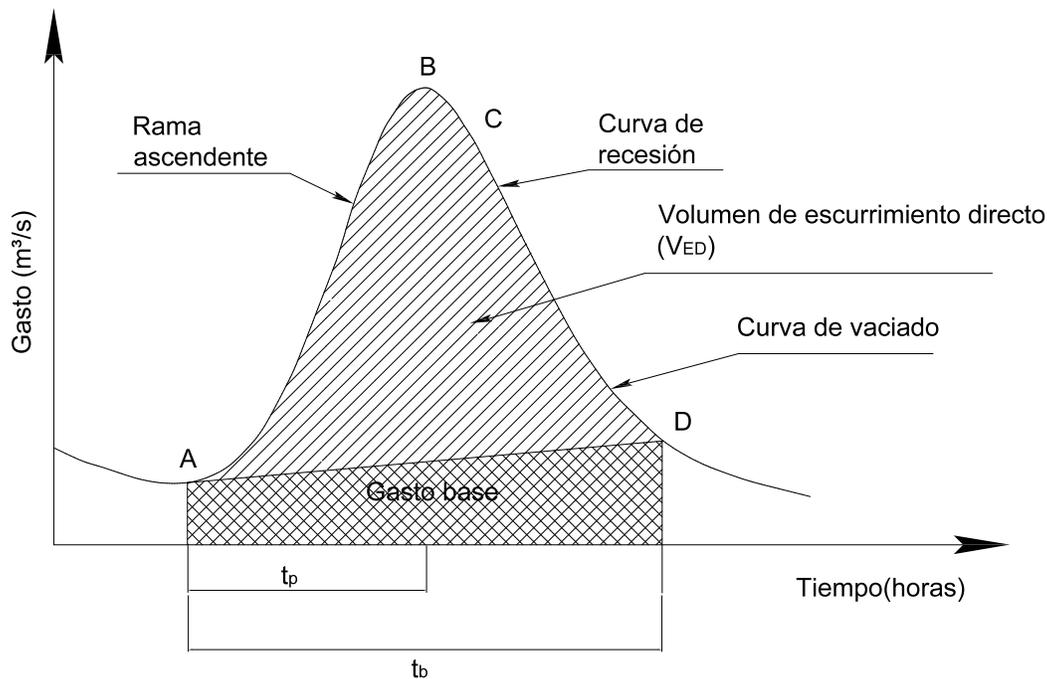


Figura 1.30 Etapas de una tormenta

La rama ascendente es la parte del hidrograma que se inicia desde el punto de levantamiento (A), y termina cuando ocurre el gasto de pico (B). Al término de la lluvia (entre B y C), el gasto del escurrimiento directo disminuye. La curva de recesión comienza en el pico del hidrograma (B), y termina en el punto que marca el final del escurrimiento directo (D). Cuando esta curva se considera a partir de su punto de inflexión (C), se le conoce como curva de vaciado. A partir del punto D, el flujo en el cauce se debe al escurrimiento subterráneo que descargó en el río.

Obsérvese que el tiempo de pico (t_p) se refiere al tiempo que transcurre desde el punto de levantamiento (A), hasta el pico del hidrograma (B). Asimismo, el tiempo base es el lapso que transcurre desde el punto de levantamiento (A), hasta el final del escurrimiento directo (D).

Métodos para la transformación de lluvia a escurrimiento

En la práctica es frecuente la necesidad de estimar gastos para el diseño y operación de obras de protección y aprovechamientos hidráulicos, justamente en zonas donde los registros disponibles de escurrimiento no son suficientes en cantidad o calidad. Una manera de enfrentar esta dificultad es considerando los registros de precipitación disponibles, de los cuales se tiene menor incertidumbre respecto a su apego a la realidad, particularmente por la facilidad de su medición diaria, lo que ha contribuido al desarrollo de registros más abundantes.

Bajo estas premisas, se han desarrollado metodologías para determinar el escurrimiento en un sitio de interés, a partir de las características de una cuenca y las precipitaciones registradas.

Se conocen como métodos de parámetros concentrados a los criterios donde el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento, en cada lapso, se realiza tomando en cuenta que la precipitación efectiva es constante en toda la cuenca. A continuación se describen brevemente las características de los métodos más representativos.

El *método de envolventes* y el empleo de la fórmula racional son ampliamente utilizados para una estimación simple de los gastos máximos del escurrimiento en cuencas no aforadas.

El *hidrograma unitario tradicional* representa la variación del escurrimiento directo respecto al tiempo, producido por una precipitación uniformemente distribuida sobre toda la cuenca o subcuenca.

El *hidrograma unitario sintético* se emplea ante la necesidad de estimar escurrimientos con base en hidrogramas de corrientes ajenas al lugar de estudio.

El *hidrograma unitario instantáneo* es una función que resulta de considerar el exceso de lluvia como una cantidad unitaria y de duración infinitesimal. De esta manera se caracteriza la respuesta de una cuenca sin referirse a la duración de una tormenta, lo que permite tomar en cuenta la variación de la precipitación en el tiempo.

Para los fines de este estudio, y dada la información disponible, se utilizará el modelo del hidrograma unitarios instantáneo.

Hidrograma Unitario Instantáneo

Este método propone obtener los hidrogramas de escurrimiento directo que considere la variación de la lluvia en el tiempo mediante el análisis de hietogramas de lluvia efectiva.

Si el exceso de lluvia es una cantidad unitaria de duración infinitesimal, el hidrograma resultante es una función impulso-respuesta que se conoce como hidrograma unitario instantáneo (HUI). No obstante que este concepto teórico no puede utilizarse en cuencas reales, sí resulta útil porque el HUI caracteriza la respuesta de la cuenca a las precipitaciones, independientemente de la duración de la lluvia en exceso.

Dado que la relación entre la precipitación y el escurrimiento es una función continua de impulso y respuesta, el escurrimiento directo se puede expresar mediante la integral de convolución o integral de Dumahel siguiente

$$Q(t) = \int_0^t u(t - \tau) I(\tau) d\tau$$

donde:

$Q(t)$	Hidrograma de escurrimiento directo en el tiempo t ;
$u(t - \tau)$	Función de respuesta del sistema;
$I(\tau)$	Intensidad de la precipitación;
$d\tau$	Intervalo de tiempo infinitesimal

De la ecuación anterior, el producto $I(\tau)d\tau$ es la lámina de precipitación que ingresa al sistema durante un intervalo infinitesimal. El escurrimiento directo que ocurre en el tiempo posterior $t - \tau$, como resultado de esta entrada, es el producto $u(t - \tau)I(\tau)d\tau$, por lo que al ser integrada, se obtiene la respuesta total del sistema (figura 1.31). Si las cantidades $I(\tau)$ y $Q(t)$ tienen las mismas unidades, entonces las ordenadas del HUI deben tener dimensiones $[T^{-1}]$. En la ecuación presentada, la función de respuesta del sistema, $u(t - \tau)$, corresponde al hidrograma unitario instantáneo, y se deducen las siguientes propiedades. Considérese $u(t - \tau) = u(l)$

$0 \leq u(l) \leq$ valor pico positivo	para $l > 0$
$u(l) = 0$	para $l \leq 0$
$u(l) \rightarrow 0$	para $l \rightarrow \infty$

$$\int_0^{\infty} u(l) dl = 1$$

$$\int_0^{\infty} u(l) l dl = t_1$$

Cabe señalar que la variable t_1 representa el tiempo de retardo del HUI, que es el intervalo de tiempo entre el centroide del hietograma de lluvia en exceso y el centroide del hidrograma de escurrimiento directo.

Un método para aproximar el HUI consiste en obtener el hidrograma unitario para duración en exceso pequeña, lo que depende de los datos disponibles. Sea el

hidrograma unitario para duración en exceso de mostrado en la figura 1.32 (a). Al presentarse una tormenta constituida por varios periodos lluviosos de duración de, como la representada en la figura 1.32 (b), por el principio de superposición de causas y efectos, los hidrogramas producidos por cada barra del hietograma serán los dibujados en la figura 1.32 (c, d y e). Las ordenadas del hidrograma de la tormenta completa se obtendrían de la suma de ordenadas de los hidrogramas aislados [figura 1.32 (f)].

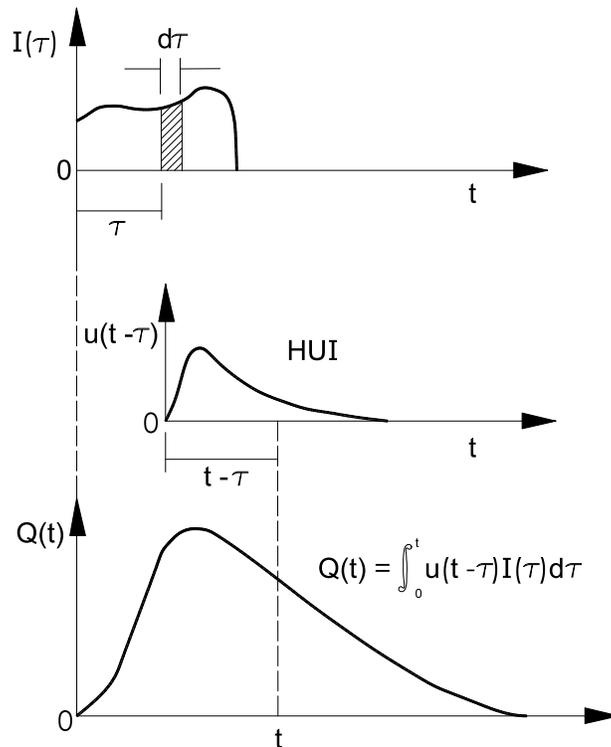


Figura 1.31 Hidrograma unitario instantáneo

De manera general, la k-ésima ordenada del hidrograma de escurrimiento directo (Q_k) queda representada mediante la ecuación de convolución discreta siguiente

$$Q_k = \sum_{j=1}^k P_j U_{k-j+1}$$

donde P_j representa la j-ésima precipitación del hietograma de lluvia efectiva, mientras que U_i es la i-ésima ordenada del hidrograma unitario.

Se trata de obtener un hidrograma unitario a partir de un hidrograma de escurrimiento directo y del hietograma de precipitación que lo provocó, proceso conocido como deconvolución. La metodología consiste de los siguientes pasos:

Definir un sistema de ecuaciones de forma matricial, considerando la expresión siguiente:

$$[P][U] = [Q]$$

siendo $[P]$ una matriz con tantos renglones como ordenadas tiene el hidrograma de escurrimiento directo, y tantas columnas como el número de ordenadas del hidrograma unitario; $[U]$ es el vector de incógnitas; $[Q]$ el vector de ordenadas de escurrimiento directo. La expresión anterior resulta

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 & \dots & 0 \\ P_2 & P_1 & & \vdots \\ \vdots & P_2 & & \vdots \\ P_j & \vdots & & 0 \\ 0 & P_j & P_1 & \\ \vdots & 0 & P_2 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & \dots & P_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_{k-j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_k \end{bmatrix}$$

El número de ordenadas del hidrograma unitario (N_U) será

$$N_U = N_Q - N_p + 1$$

donde N_Q es el número de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo; N_p es el número de barras del hietograma de lluvia efectiva.

El sistema de ecuaciones representado por la expresión anterior es sobredeterminado, y por tanto no existen valores del vector $[U]$ que lo satisfagan simultáneamente. Para obtener una solución debe aceptarse un error mínimo en los valores del mismo vector $[U]$, al premultiplicar el sistema de ecuaciones por la matriz transpuesta $[P]^T$

$$[P]^T [P][U] = [P]^T [Q]$$

La expresión anterior es un sistema determinado con una solución única. En caso de que el vector solución de ordenadas del hidrograma unitario contenga algunos valores negativos, esas ordenadas pueden anularse. De esta manera se corrige el volumen del hidrograma unitario sin modificar el valor del gasto pico.

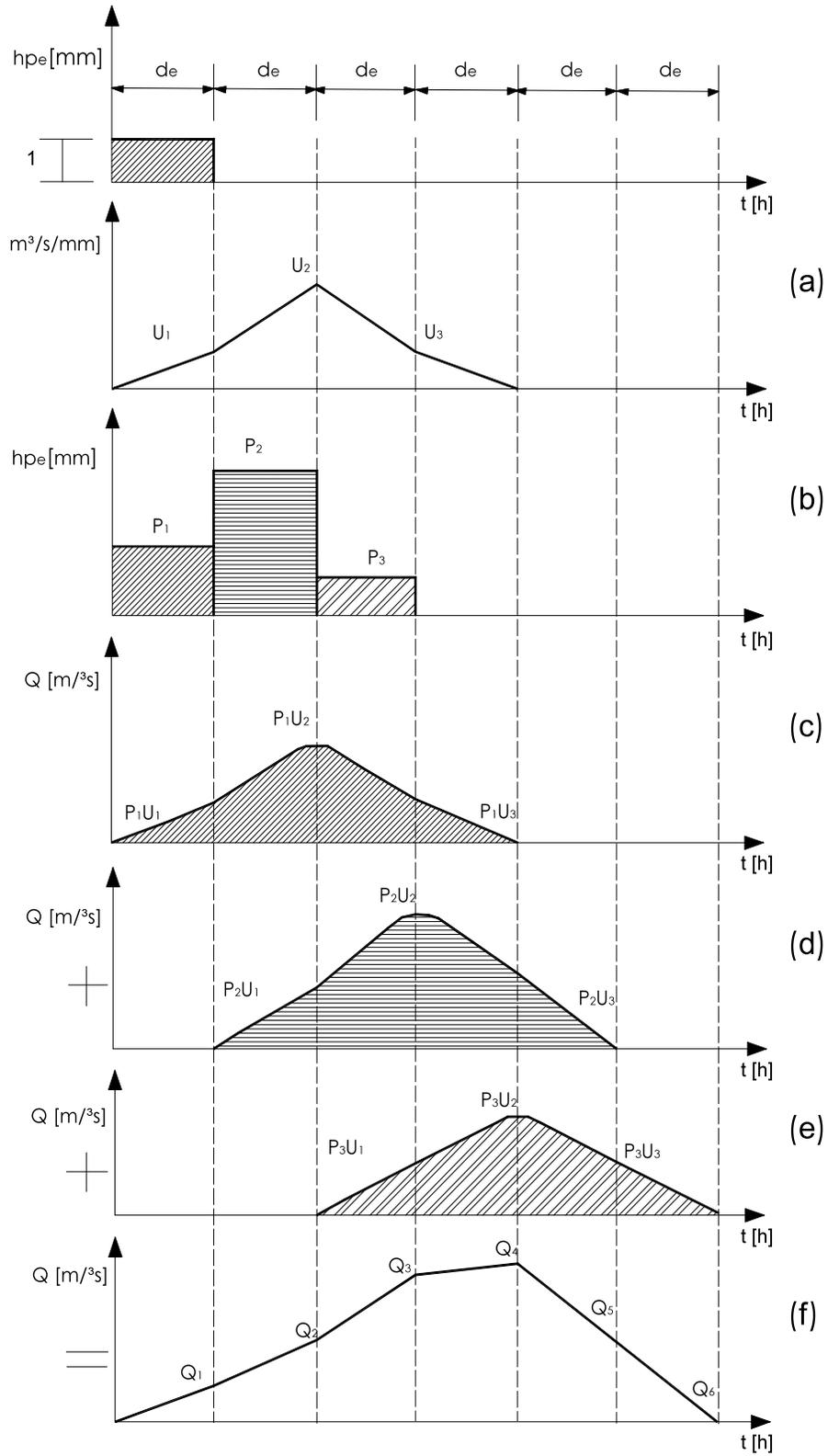


Figura 1.32 Cálculo del hidrograma de escurrimiento directo a partir del hidrograma unitario

Hidrograma Unitario Sintético Adimensional

Éste ha sido propuesto por el Soil Conservation Service (1975), a partir de varios hidrogramas registrados en una gran variedad de cuencas, en el cual los gastos se expresan en función del gasto de pico, y los tiempos en función del tiempo al pico (figura 1.33).

Para obtener un hidrograma unitario a partir del HUA para una cuenca, se multiplican las abscisas y ordenadas del hidrograma unitario sintético adimensional por el gasto de pico y tiempo de pico respectivamente, en donde estos últimos se calculan con las expresiones siguientes:

$$q_P = \frac{0.208A}{t_P} \quad t_P = \frac{d_e}{2} + 0.6t_c$$

donde:

q_P , gasto de pico en $m^3/s/mm$.

A , área de la cuenca, en km^2 .

t_P , tiempo al pico, en h.

t_c , tiempo de concentración, en h.

d_e , duración en exceso, en h.

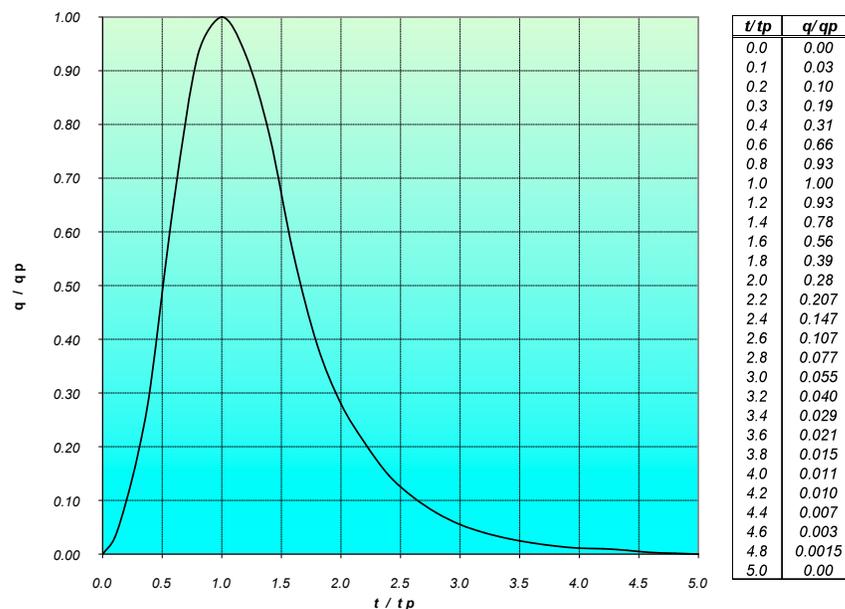


Figura 1.33 Hidrograma unitario sintético adimensional

Cuando la curva de recesión del hidrograma no se considera importante, el HUA puede ser modificado con un tiempo base igual a cuatro veces el tiempo al pico (Figura 1.34).

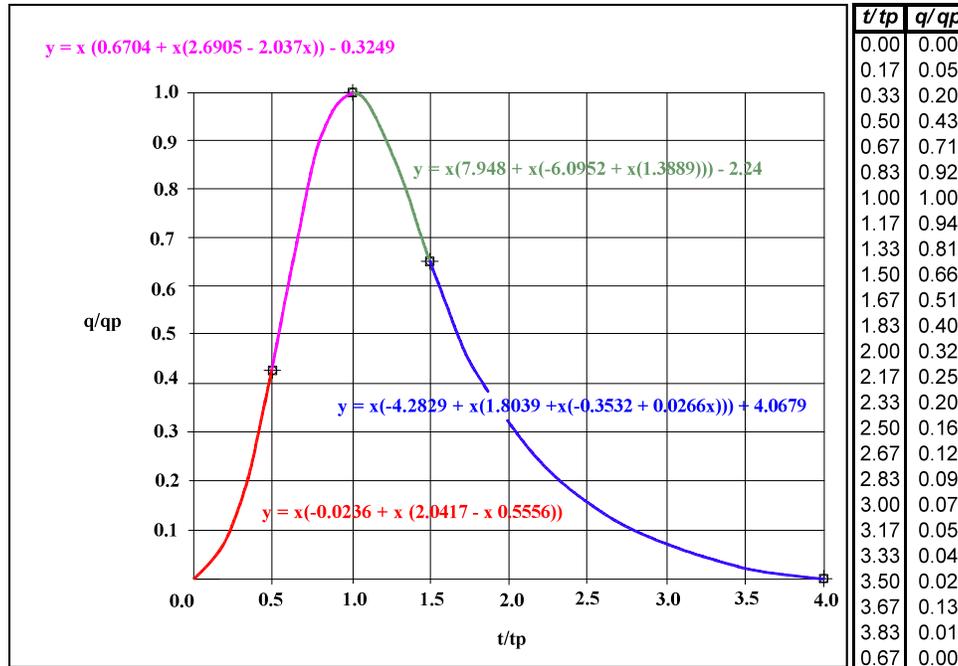


Figura 1.34 Hidrograma unitario sintético adimensional modificado

Estimación del hidrograma de escurrimiento directo

Una vez conocidos el hidrograma de una tormenta y el hidrograma unitario obtenido por cualquiera de los métodos anteriores, el siguiente paso consiste en calcular el hidrograma de escurrimiento directo. Utilizando el concepto del hidrograma unitario y la ecuación de convolución que en su forma discreta se expresa como:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq m} P_m U_{n-m+1}$$

Desarrollando la expresión anterior para un hidrograma unitario con tres ordenadas ($U_n = 3$) para una duración en exceso d_e mostrada en la figura 1.35a y considerando que se presenta una tormenta (figura 1.35b) con varios periodos lluviosos ($P_m = 3$), cada uno de ellos con duración en exceso d_e , entonces, de acuerdo con el principio de proporcionalidad los hidrogramas de escurrimiento directo producidos por cada barra del hidrograma serán los mostrados en las figuras 1.35c, 1.35d y 1.35e y por el principio de superposición el hidrograma de escurrimiento directo de la tormenta completa será el mostrado en la figura 1.35f.

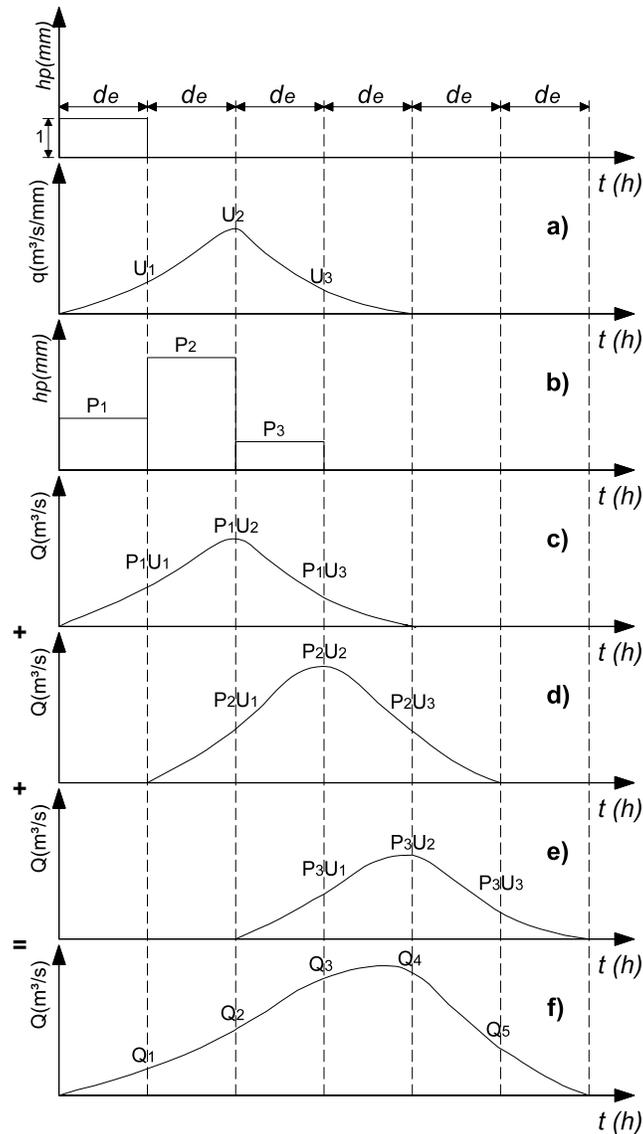


Figura 1.35 Aplicación de la ecuación de convolución discreta

El sistema de ecuaciones para la convolución en su forma discreta es:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= P_1U_1 \\
 Q_2 &= P_1U_2 + P_2U_1 \\
 Q_3 &= P_1U_3 + P_2U_2 + P_3U_1 \\
 Q_4 &= 0 + P_2U_3 + P_3U_2 \\
 Q_5 &= 0 + 0 + P_3U_3
 \end{aligned}$$

De donde, el número de ordenadas del hidrograma final N_Q está ligado con el número de barras del hietograma de precipitación efectiva N_P , y al número de ordenadas del hidrograma unitario N_U por medio de la ecuación:

$$N_Q = N_P + N_U - 1$$

donde:

Q_i , ordenada del hidrograma de escurrimiento directo para el i -ésimo intervalo de tiempo.

P_i , i -ésima altura de precipitación efectiva o en exceso.

U_i , i -ésima ordenada del hidrograma unitario de duración en exceso d_e .

N_Q , número total de ordenadas del hidrograma de escurrimiento directo.

N_U , número total de ordenadas del hidrograma unitario de duración en exceso d_e .

N_P , número total de barras del hietograma de lluvia efectiva, con duración en exceso d_e cada una de ellas.

Coefficiente de escurrimiento

Para conocer el volumen de escurrimiento superficial que entra a una cuenca, se debe calcular el coeficiente de escurrimiento. Para ello, el INEGI (1993) propone una método que toma en cuenta la permeabilidad de rocas y suelos, la densidad de la cubierta vegetal y la variación espacial de la lluvia.

Según el método usado, la intersección de la permeabilidad de los suelos y la densidad de la cubierta vegetal, da un valor de K (Tabla 1.13). Este valor se lleva a la gráfica para determinar el coeficiente de escurrimiento que se obtiene de la intersección del valor de K con la precipitación media anual previamente calculada para la cuenca en estudio (Figura 1.36).

En el plano D03 del Anexo 7 se presentan los diferentes usos de suelo y vegetación de la zona de estudio.

Tabla 1.13 Valor de K para parámetros fisiográficos y de tipo de suelo

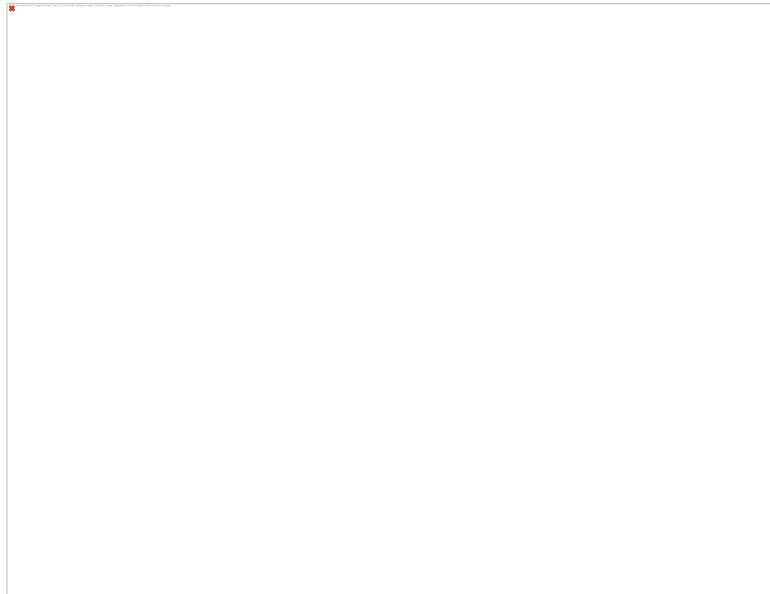
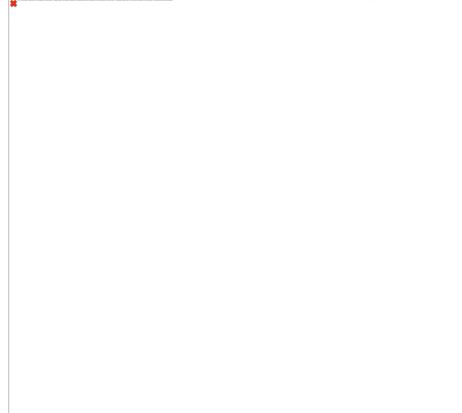


Figura 1.36 Relación entre el coeficiente de escurrimiento y la lluvia anual

Se pueden obtener varios coeficientes de escurrimiento para una cuenca, dependiendo si tiene áreas de montañas o valles, lo que produce un coeficiente de escurrimiento mínimo (valle) y uno máximo (sierra). Para ello aplica la fórmula:

$$C = [(As Cs) + (Av Cv)] / Ac$$

donde:

C, coeficiente de escurrimiento promedio del área analizada (%)

As, área de sierras (km²)

- Cs, coeficiente de escurrimiento de sierras (%)
 Av, área de valles (km²)
 Cv, coeficiente de escurrimiento de valles (%)

Tabla 1.14 Determinación del coeficiente de escurrimiento

N°	NOMBRE	PERMEABILIDAD	CUBIERTA VEGETAL	RELACIÓN	PENDIENTE	PRECIP	CE	CE corr
				PERM-CUB VEG	(adim)	MEDIA (mm)	(Adim)	(Adim)
1	Coquimatlán Oeste	baja	BAJA	0.3	0.016	885	0.17	0.17
2	Coquimatlán Este	baja	BAJA	0.3	0.019	885	0.17	0.17
3	Cornala 03	baja	MEDIA	0.29	0.052	885	0.16	0.24
4	Cornala 04	baja	MEDIA	0.29	0.043	885	0.16	0.20
5	Cornala 05	baja	MEDIA	0.29	0.041	885	0.16	0.20
6	Pereyra	baja	BAJA	0.3	0.034	885	0.17	0.21
7	Colima	baja	MEDIA	0.29	0.043	885	0.16	0.20
8	Campos 08	baja	BAJA	0.3	0.034	885	0.17	0.21
9	Campos 09	baja	BAJA	0.3	0.03	885	0.17	0.17
10	Manrique	baja	MEDIA	0.29	0.034	885	0.16	0.20
11	Lienzo Charro	baja	BAJA	0.3	0.03	885	0.17	0.17
12	Oriente	baja	MEDIA	0.29	0.036	885	0.16	0.20
13	Cuauhtémoc 13	baja	MEDIA	0.29	0.059	885	0.16	0.24
14	Cuauhtémoc 14	baja	MEDIA	0.29	0.052	885	0.16	0.24
15	Cuauhtémoc Oriente	baja	MEDIA	0.29	0.052	885	0.16	0.24

En la tabla 1.14 se presentan los datos utilizados para obtener los coeficientes de escurrimiento para las cuencas de la zona de estudio.

A partir de la información de lluvia de diseño, presentada en el subcapítulo 1.4, los coeficientes de escurrimiento y la selección del modelo de relación lluvia-escurrimiento, se procederá en el subcapítulo 1.8 al cálculo de las avenidas de diseño para cada subcuenca.

1.7 INSTRUMENTACIÓN AUTOMATIZADA DE UN CAUCE URBANO Y DOS ESTACIONES DE LLUVIA

Para medir calibrar a mediano plazo el modelo de relación lluvia-escurrimiento, se ha propuesto para fines de investigación establecer una estación de nivel de agua en el río Colima a la altura de su ingreso en la zona urbana y dos estaciones de lluvia en la misma cuenca, cuya ubicación se plantea en la parte central y alta de la cuenca.

Estación de nivel del cauce Río Colima

Para la estación piloto del Río Colima, se desarrolló a modo de prototipo la implantación de sensor de nivel con principio de operación de efecto Doppler, dicho principio de funcionamiento está basado en la cuantificación del tiempo de retardo entre la emisión de una onda electromagnética sobre la superficie o espejo de agua y el reflejo de la misma hacia el sensor, el retardo es interpretado por acoplamientos electrónicos del instrumento como nivel de agua, la detección de este tiempo de retardo es tan exacto que se pueden cuantificar variaciones mínimas de dicha variable, proporcionando resoluciones de orden milimétrico en los instrumentos que utilizan este principio de operación. El rango de frecuencia de

la onda electromagnética que se utiliza en el sensor de esta estación es del orden de 26 GHz que corresponde a una señal de microondas.

El principio de los sensores de nivel tipo microondas o de radar se basa en un sistema de antenas que emite y recibe las microondas ultracortas que se reflejan en la superficie del espejo de agua. Las señales se transmiten a la velocidad de la luz, siendo el tiempo entre la emisión y la recepción de las mismas proporcional al nivel.

Gracias a la más reciente tecnología de micro controlador, estos sensores son capaces de reconocer fiablemente la señal correcta, suprimiendo los ecos falsos para medir el nivel con gran precisión. La propagación de ondas en esta banda de frecuencias de trabajo no depende de la temperatura ni de la humedad relativa del medio.

La adquisición de datos del sensor se realizará por medio de un módulo electrónico o datalogger con conexión a USB a una computadora, dicho módulo almacenará las lecturas del sensor a intervalos seleccionables por el usuario y que van desde 10 segundos hasta 1 hora. Para la estación piloto del Río Magdalena se eligió el almacenamiento cada 10 minutos.

El datalogger se conecta a una PC y la recuperación de lecturas del sensor se realiza mediante un programa el cual las presenta de manera gráfica y las almacena en una base de datos (Tabla en Excel).

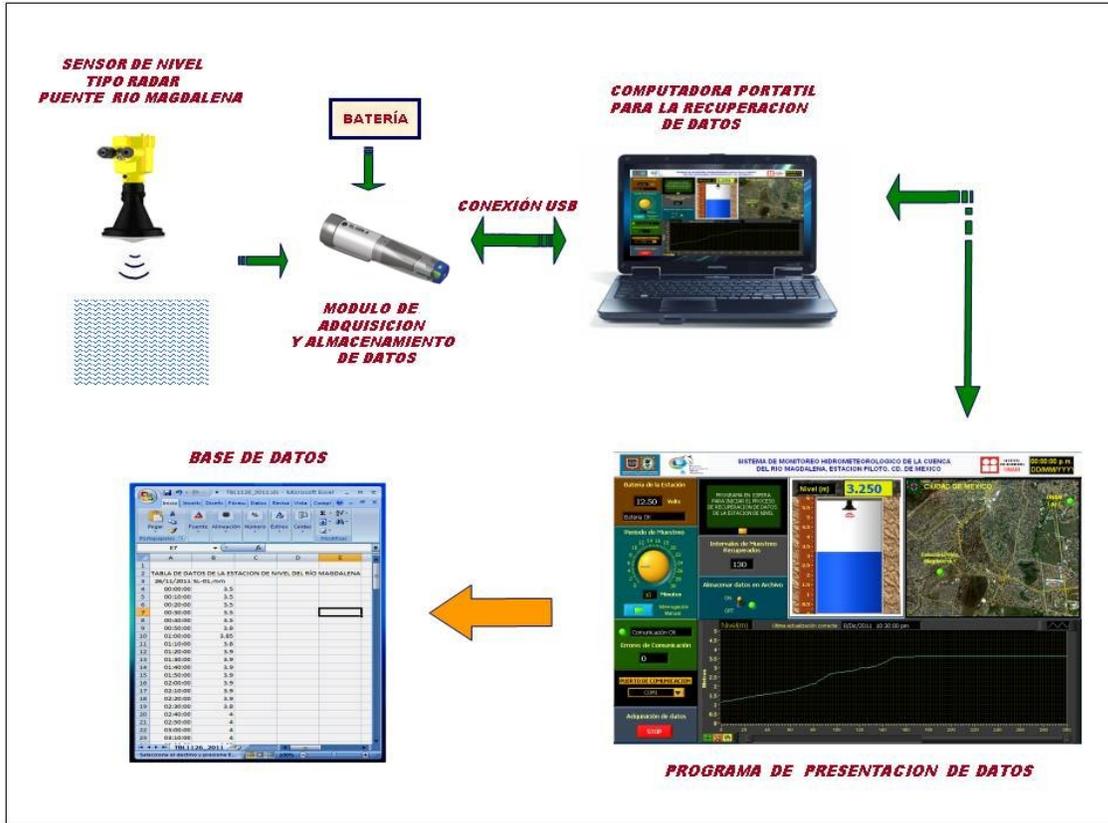


Figura 1.37 Esquema de funcionamiento de estación de nivel

En la figura A.1 muestra el proceso de adquisición y procesamiento de datos de la estación.

Programa de Recuperación de Datos

Para la adquisición y almacenamiento de datos, se desarrolló un programa para mostrar las lecturas detectadas por el sensor. Esta aplicación presenta la información con las siguientes características:

- El intervalo de muestreo va desde 10 segundos en adelante y puede ser fijado por el usuario.
- Cada intervalo es presentado en forma numérica y gráfica para observar el comportamiento del nivel.
- Los archivos de datos se almacenan en una tabla de Excel para que el usuario pueda realizar su procesamiento.

En la figura 1.38 se muestra un mapa de la ubicación de la estación para referencia del usuario. y los detalles de la pantalla principal del programa desarrollado para este fin.

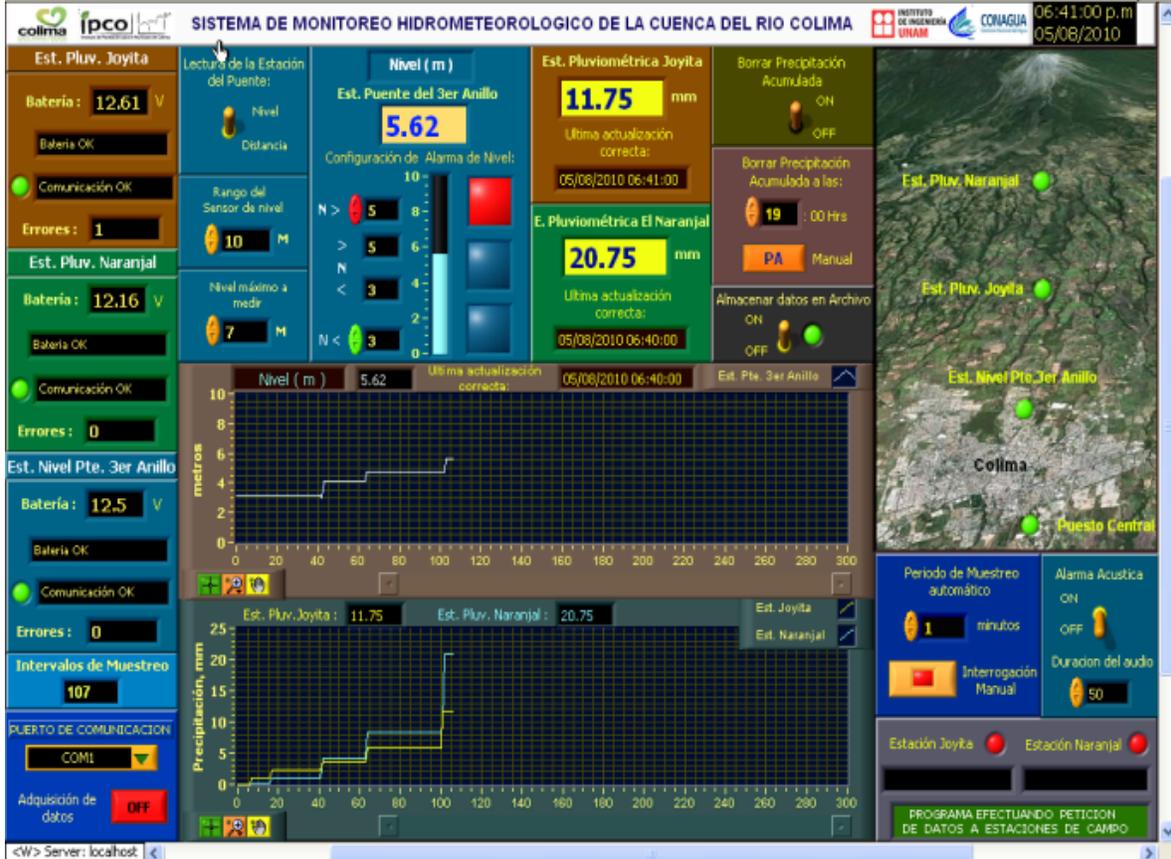


Figura 1.38 Programa de recuperación de datos de la estación del Río Colima

Infraestructura para la instalación de la estación

La utilización de instrumentos de percepción remota para la medición del nivel de agua en ríos o cuencas ha tenido gran aceptación por la facilidad para realizar la instalación de los sensores y sus accesorios. El hecho de que no tengan que estar en contacto con el agua ha evitado la utilización de una infraestructura sofisticada para su instalación, lo cual reduce significativamente su costo y mantenimiento, haciéndolos menos vulnerables a acciones de vandalismo o daño por eventos naturales que provoquen flujos de agua con arrastre de materiales a velocidades extremas, las cuales se estimarán previamente mediante la aplicación del método sección-pendiente.

La estación piloto del Río Colima se ha instalado de acuerdo al croquis mostrado en la figura 1.39, el gabinete que contiene el sensor, datalogger y batería se anclará en la sección transversal superior del puente del punto donde se realizarán las mediciones de nivel.

1. Sensor de nivel, Tipo Radar
2. Gabinete con módulos electrónicos
30X30X15 cm
3. Sección de concreto para el anclaje del
gabinete del sensor
4. Sección del río bajo el puente

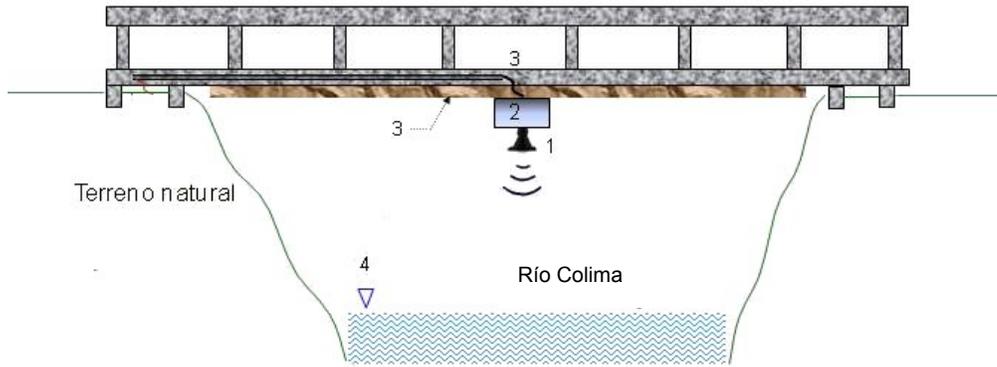


Figura 1.39 Croquis de instalación del sensor de nivel

En las siguientes imágenes se muestran los componentes del sensor de nivel que se instala en el puente.



Sensor de nivel tipo Radar, por efecto
Doppler de microondas de 26 GHz

Figura 1.40 Detalle de la colocación del sensor en el gabinete





Figura 1.41 Vista del proceso de instalación del sensor de nivel en el río Colima. Octubre de 2011.

Instrucciones para la recuperación de datos de la estación

El datalogger que realiza el almacenamiento de las lecturas del sensor tiene la capacidad de hasta 6 meses de operación continua de manera autónoma almacenando datos cada 10 minutos. Se plantea para fines de seguridad extraer información mensualmente. El usuario contará con 2 dispositivos de almacenamiento independientes, uno que se encontrará instalado con el sensor y otro que tendrá de respaldo para que al momento de acudir a la estación para la recuperación de datos pueda sustituir fácilmente dichos dispositivos y realizar la conexión con una computadora en un lugar de mayor comodidad para la activación del programa.

El usuario deberá conectar el datalogger en algún puerto USB de su computadora, correr el programa y oprimir el botón de recuperación de datos. Inmediatamente aparecerá la gráfica de las lecturas de nivel y se habrá generado simultáneamente el archivo en Excel.

Las dos estaciones de lluvia han sido instaladas en la localidad El Naranjal y Joyitas (Figura 1.42). Las estaciones consisten en pluviómetros automatizados con batería con duración de 1 año y dispositivo USB de salida. Estos datos servirán para hacer observaciones de calibración del modelo lluvia escurrimiento en los años subsecuentes.



Figura 1.42 Ubicación de los edificios en donde se ubican los pluviómetros: Escuela Primaria en El Naranjal e iglesia en La Joyita.

1.8 CÁLCULO DE AVENIDAS DE DISEÑO PARA PERIODOS DE RETORNO DE 10, 25, 50, 100 Y 500 AÑOS

Como se discutió en el subcapítulo 1.6, existen varias metodologías para determinar el escurrimiento en un sitio de interés, a partir de las características de una cuenca y las precipitaciones registradas, como la que se basa en el hidrograma unitario, que es una relación lluvia-escurrimiento de parámetros concentrados.

Por el tamaño de las cuencas en estudio, menores a 40 km², el hidrograma unitario adimensional propuesto por el Soil Conservation Service (SCS), se consideró la mejor opción para establecer la variación de los escurrimientos en el tiempo. De acuerdo con este procedimiento, se requiere conocer la magnitud del gasto de pico de cada cuenca de interés, además de los correspondientes tiempos en que ocurre dicho gasto máximo, es decir, los tiempos de pico.

Con la intención de establecer los hidrogramas unitarios correspondientes a las cuencas que definen la región de interés, se obtuvieron las características fisiográficas necesarias para el cálculo del gasto y tiempo de pico (Tabla 1.3). Los parámetros necesarios para la estimación de los tiempos y gastos de pico aparecen en la tabla 1.15. Con los puntos definidos en la figura 1.33 y los parámetros de dicha tabla 1.15 se obtuvieron los hidrogramas unitarios de las quince cuencas de estudio, los cuales se muestran en las figuras 1.43 a 1.55.

Tabla 1.15 Parámetros necesarios para calcular tiempos y gastos de pico

No.	ORDEN	tc (h)	de (h)	tr (h)	tp (h)	qp (m ³ /s/mm)
CO1	2	1.62	0.18	0.97	1.06	1.30
CO2	2	2.45	0.27	1.47	1.60	2.09
CO3	2	1.60	0.18	0.96	1.05	2.55
CO8	2	1.14	0.12	0.68	0.75	2.50
CO9	1	0.49	0.05	0.30	0.32	1.78
CO10	1	1.27	0.14	0.76	0.83	1.79
CO11	1	0.52	0.06	0.31	0.34	1.86
CO13	2	0.32	0.04	0.19	0.21	1.29
CO14	2	0.44	0.05	0.26	0.29	0.94
CO6	2	1.25	0.14	0.75	0.82	3.65
CO4	3	2.00	0.22	1.20	1.31	3.63
CO5	3	2.00	0.22	1.20	1.31	4.50
CO7	4	2.42	0.26	1.45	1.59	5.04
CO12	3	2.84	0.31	1.70	1.86	3.41
CO15	4	1.18	0.13	0.71	0.77	5.10

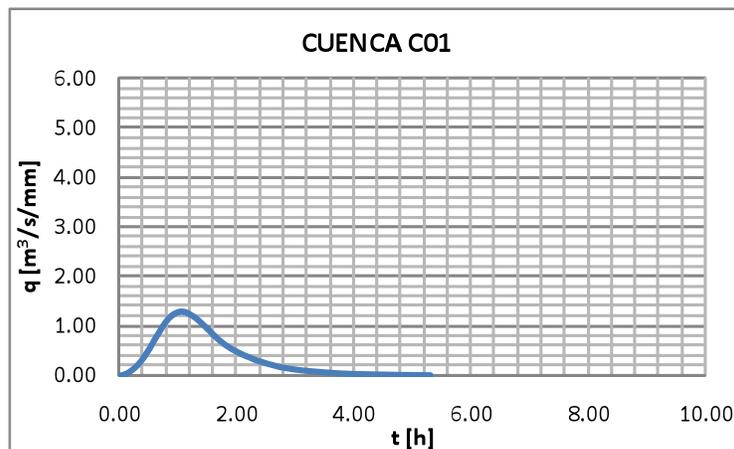


Figura 1.43 Hidrograma unitario de la cuenca C01

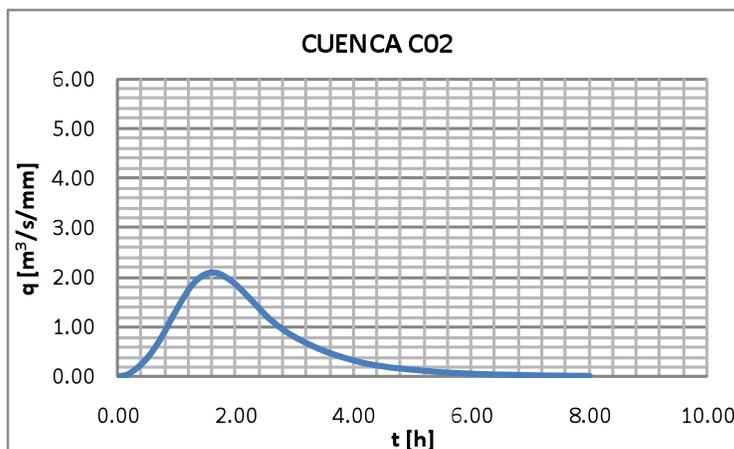


Figura 1.44 Hidrograma unitario de la cuenca C02

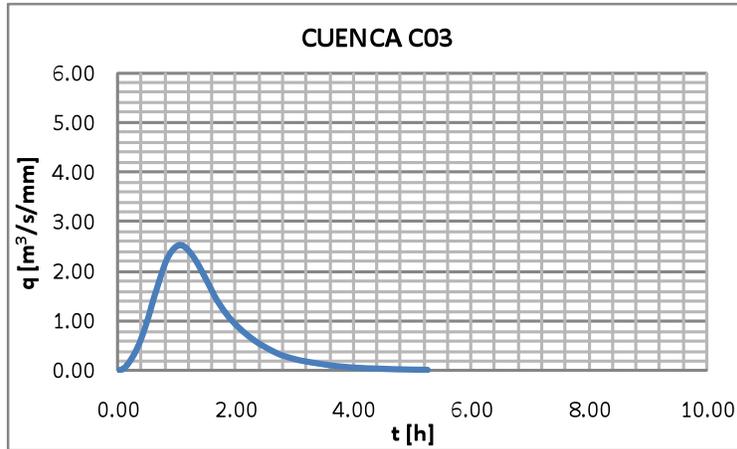


Figura 1.45 Hidrograma unitario de la cuenca C03

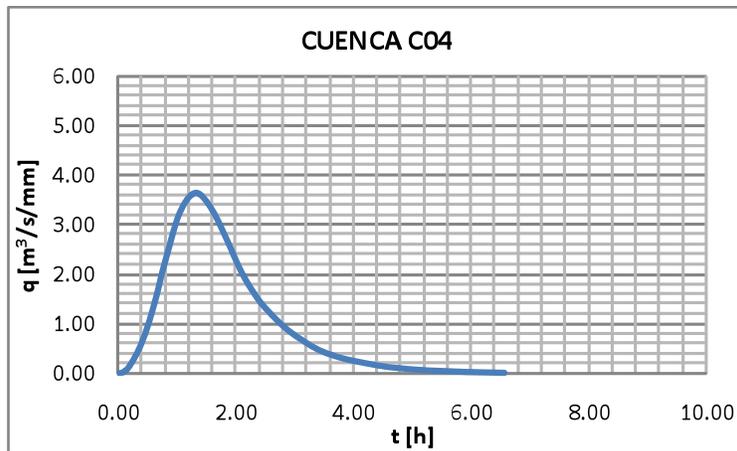


Figura 1.46 Hidrograma unitario de la cuenca C04

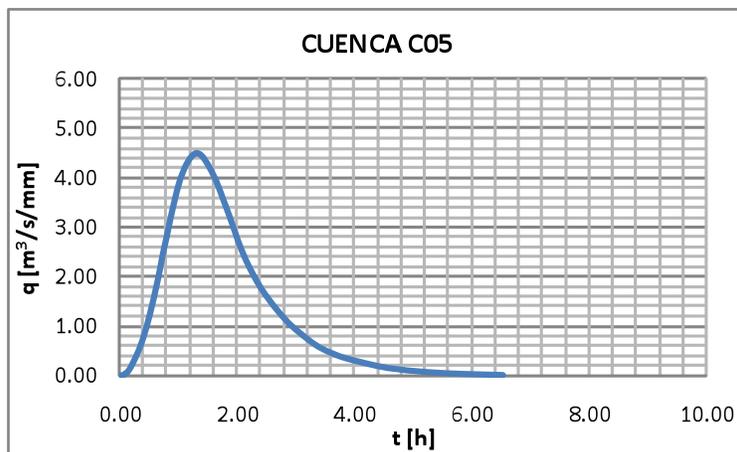


Figura 1.47 Hidrograma unitario de la cuenca C05

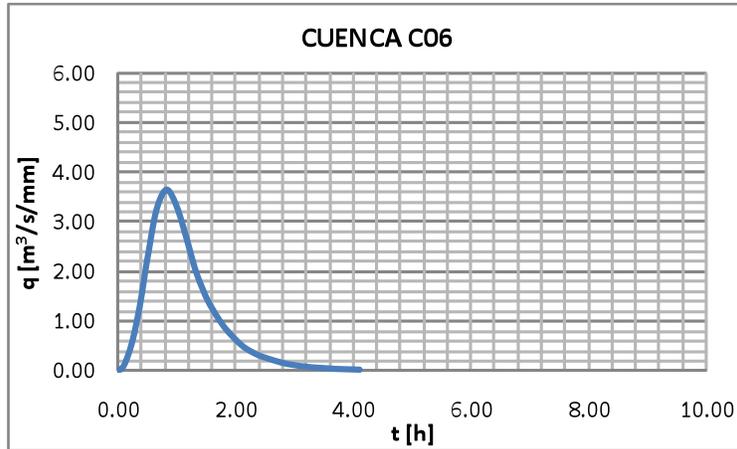


Figura 1.48 Hidrograma unitario de la cuenca C06

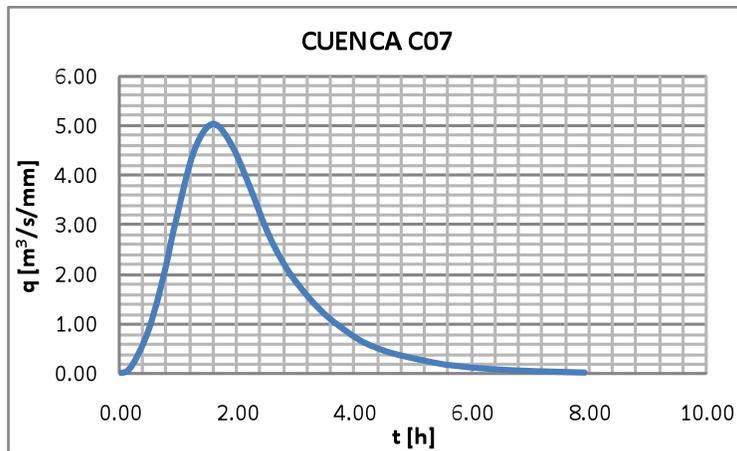


Figura 1.49 Hidrograma unitario de la cuenca C07

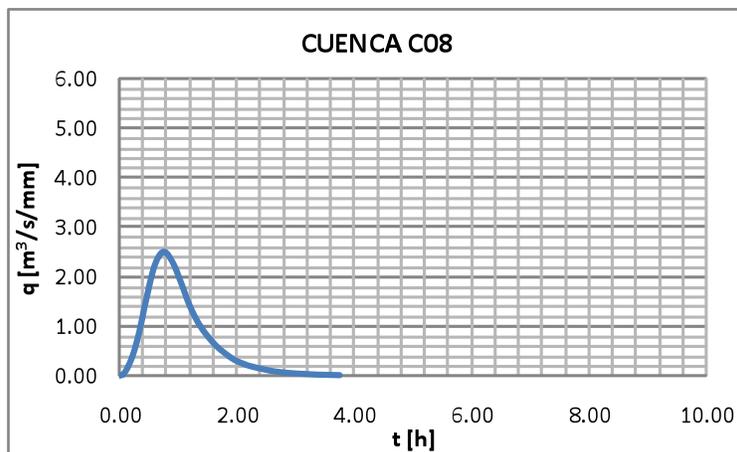


Figura 1.50 Hidrograma unitario de la cuenca C08

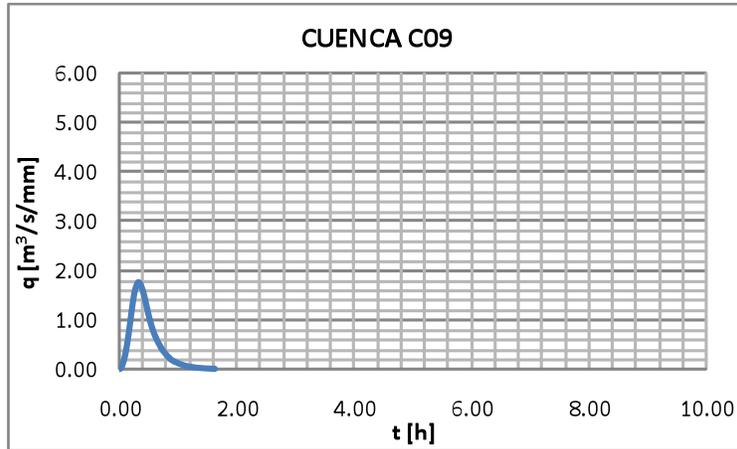


Figura 1.51 Hidrograma unitario de la cuenca C09

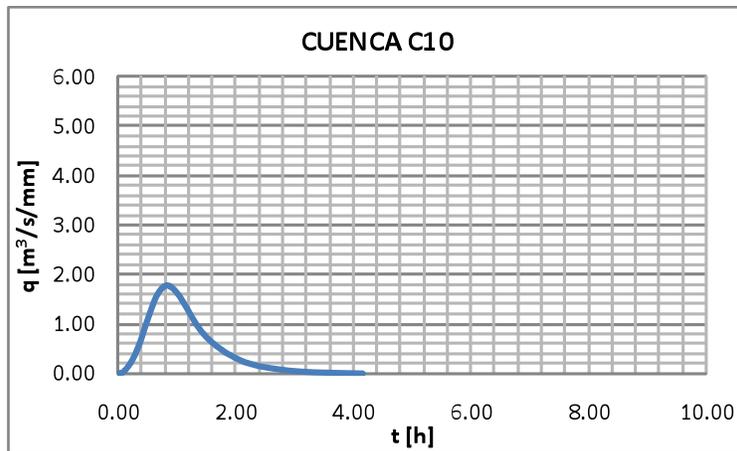


Figura 1.52 Hidrograma unitario de la cuenca C10

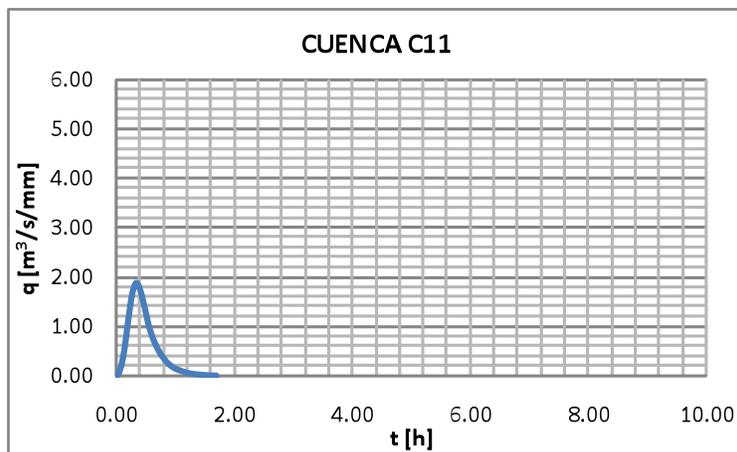


Figura 1.53 Hidrograma unitario de la cuenca C11

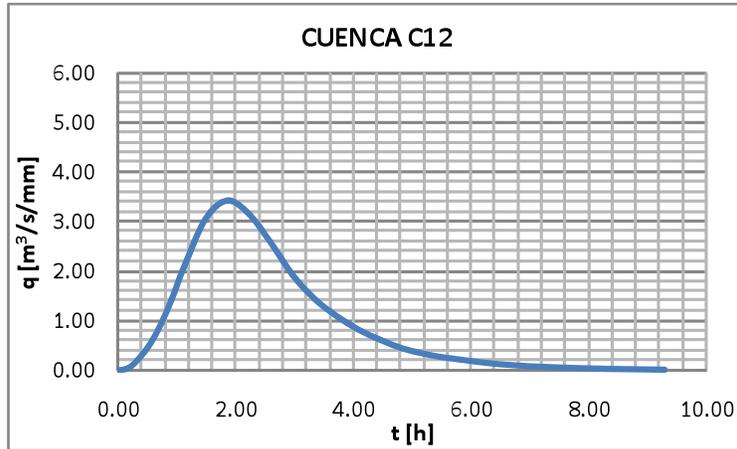


Figura 1.54 Hidrograma unitario de la cuenca C12

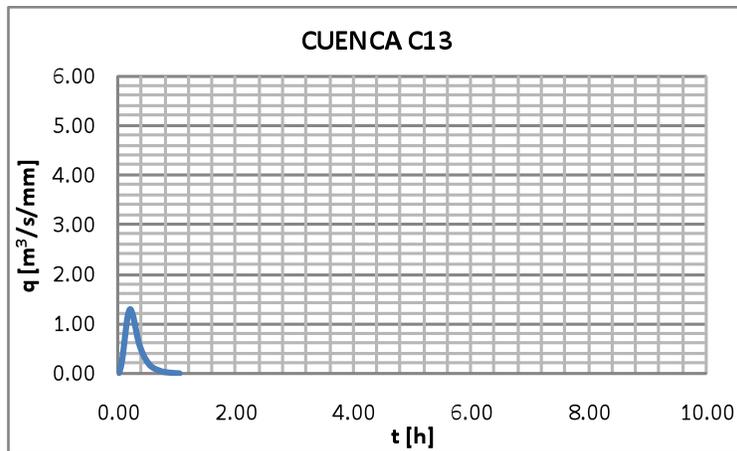


Figura 1.55 Hidrograma unitario de la cuenca C13

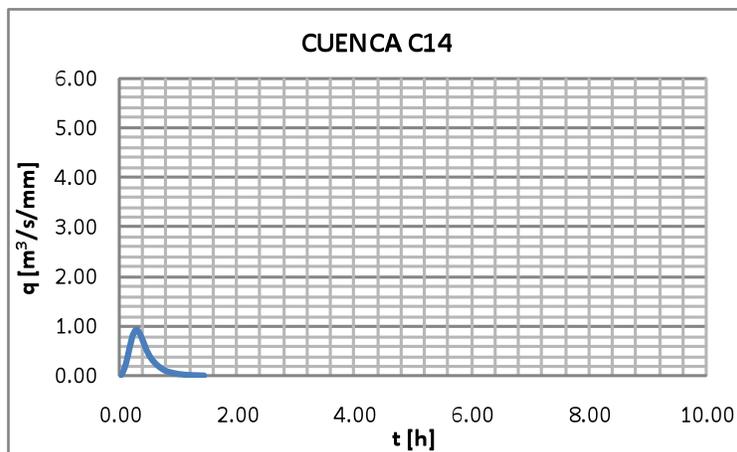


Figura 1.56 Hidrograma unitario de la cuenca C14

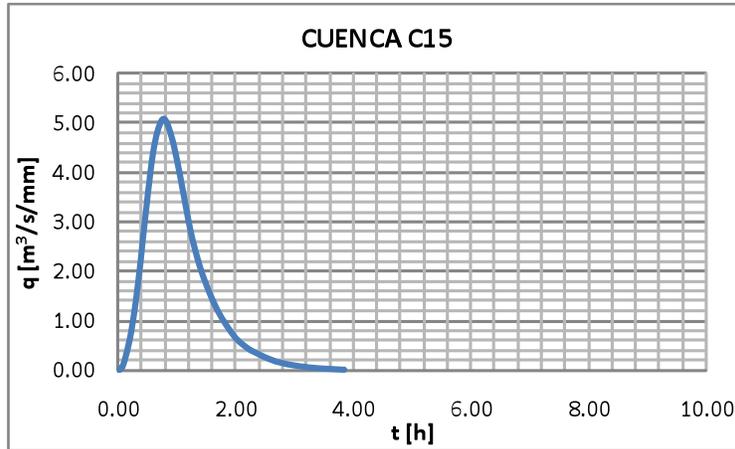


Figura 1.57 Hidrograma unitario de la cuenca C15

Para determinar los escurrimientos particulares de las quince cuencas, se llevó a cabo el proceso de la convolución de las precipitaciones definidas por los hietogramas de la tabla 1.11 y los hidrogramas unitarios de las figuras 1.41 a 1.57. Para ejemplificar la manera en que se realizaron estos cálculos, a continuación se describe la forma en que se obtuvo el hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C01.

De acuerdo con el subcapítulo 1.3, las zonas de influencia de las estaciones climatológicas de la región de estudio se obtuvieron con el trazo de polígonos de Thiessen. De esta manera se verificó que la estación 6014 tiene influencia sobre la cuenca C01. Para tomar en cuenta la capacidad de infiltración del suelo de la cuenca C01, a las láminas de precipitación total de la estación 6014, concentradas en la tabla 1.11, se les multiplicó por el coeficiente de escurrimiento de 0.17 unidades, como se estableció en la tabla 1.14. Estos cálculos se aprecian en la tabla 1.16.

Tabla 1.16 Hietogramas de lluvia efectiva de la cuenca C01, para diferentes periodos de retorno, en mm

Tiempo (min)	Periodos de retorno								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
30	0.10	0.17	0.21	0.25	0.31	0.35	0.39	0.44	0.48
60	0.30	0.50	0.63	0.75	0.92	1.04	1.16	1.32	1.44
90	0.75	1.24	1.57	1.88	2.29	2.59	2.89	3.29	3.59
120	4.80	7.96	10.04	12.05	14.64	16.58	18.52	21.08	23.01
150	1.20	1.99	2.51	3.01	3.66	4.15	4.63	5.27	5.75
180	0.65	1.08	1.36	1.63	1.98	2.25	2.51	2.85	3.12
210	0.20	0.33	0.42	0.50	0.61	0.69	0.77	0.88	0.96
240	0.04	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	0.18	0.19

Como se observa en la tabla 1.15, la duración en exceso de cada cuenca es muy particular debido a sus características fisiográficas, y como cada hidrograma unitario de las figuras 1.43 a 1.57 está ligado directamente con la duración en exceso que lo produjo, las lluvias de la tabla 1.16 deben considerarse de manera que la duración de las láminas coincida con la duración en exceso de la cuenca

que le corresponde. Para el caso de la cuenca C01, la duración en exceso es igual a 0.18 horas, por lo que se consideraron láminas de lluvia de duración igual a 15 minutos, no de 30 minutos como en la tabla 1.16. Así, las lluvias de 30 minutos se repartieron en dos fracciones de 15 minutos, simplemente al dividir las alturas de lámina precipitada entre dos unidades. Los hietogramas para convolución de la cuenca C01 se presentan en la tabla 1.17.

Tabla 1.17 Hietogramas de lluvia efectiva para la convolución de la lluvia en la cuenca C01, para diferentes periodos de retorno, en mm

Tiempo (min)	Periodos de retorno								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
15	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
30	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19	0.22	0.24
45	0.15	0.25	0.31	0.38	0.46	0.52	0.58	0.66	0.72
60	0.15	0.25	0.31	0.38	0.46	0.52	0.58	0.66	0.72
75	0.38	0.62	0.78	0.94	1.14	1.30	1.45	1.65	1.80
90	0.38	0.62	0.78	0.94	1.14	1.30	1.45	1.65	1.80
105	2.40	3.98	5.02	6.02	7.32	8.29	9.26	10.54	11.50
120	2.40	3.98	5.02	6.02	7.32	8.29	9.26	10.54	11.50
135	0.60	0.99	1.26	1.51	1.83	2.07	2.32	2.63	2.88
150	0.60	0.99	1.26	1.51	1.83	2.07	2.32	2.63	2.88
165	0.33	0.54	0.68	0.82	0.99	1.12	1.25	1.43	1.56
180	0.33	0.54	0.68	0.82	0.99	1.12	1.25	1.43	1.56
195	0.10	0.17	0.21	0.25	0.31	0.35	0.39	0.44	0.48
210	0.10	0.17	0.21	0.25	0.31	0.35	0.39	0.44	0.48
225	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
240	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10

Como se plantea en el procedimiento de convolución de la lluvia efectiva, cada lámina de precipitación de cierto periodo de retorno de la tabla 1.17 se multiplica por las ordenadas en el tiempo del hidrograma unitario de la cuenca C01 (figura 1.43). El escurrimiento directo de la tormenta completa se obtiene de la suma en el tiempo de las ordenadas de los hidrogramas generados por la convolución de cada lámina de lluvia y su hidrograma unitario, con desfases a intervalos iguales de duración d_e . Los hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C01, para diferentes periodos de retorno, se muestran en la figura 1.58.

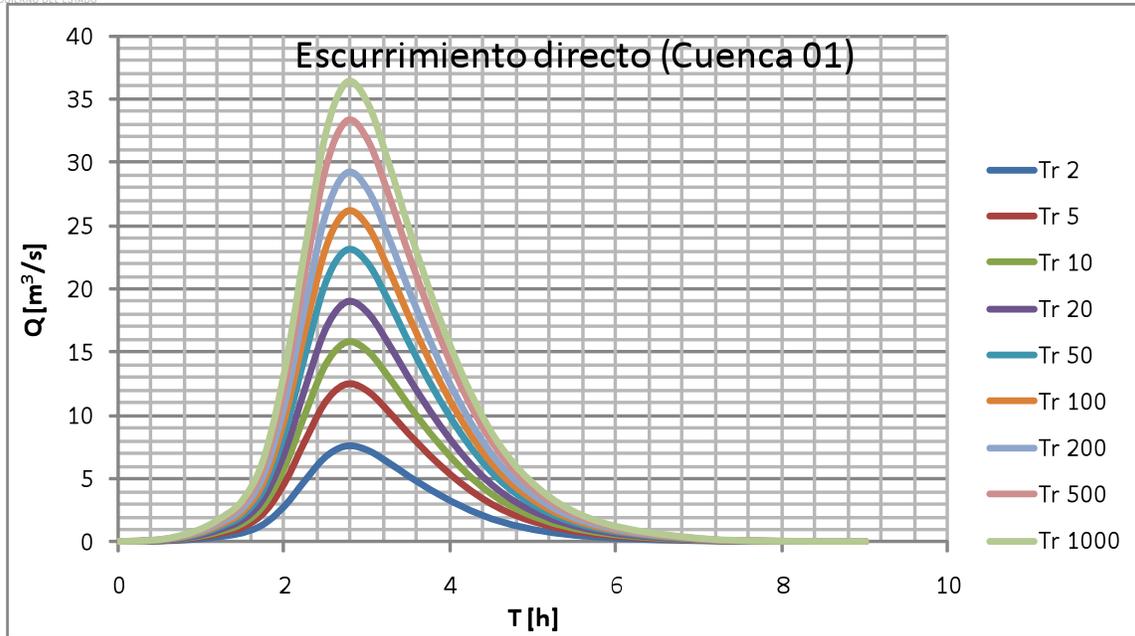


Figura 1.58 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C01, para diferentes periodos de retorno

El procedimiento de convolución se llevó a cabo utilizando los hidrogramas unitarios de las figuras 1.44 a 1.57. Para realizar lo anterior, también se ajustaron las láminas de 30 minutos de duración de la tabla 1.11, obteniéndose las precipitaciones en intervalos iguales a las duraciones en exceso de cada cuenca. Los hidrogramas de esguerrimiento directo se presentan en las figuras 1.59 a 1.72.

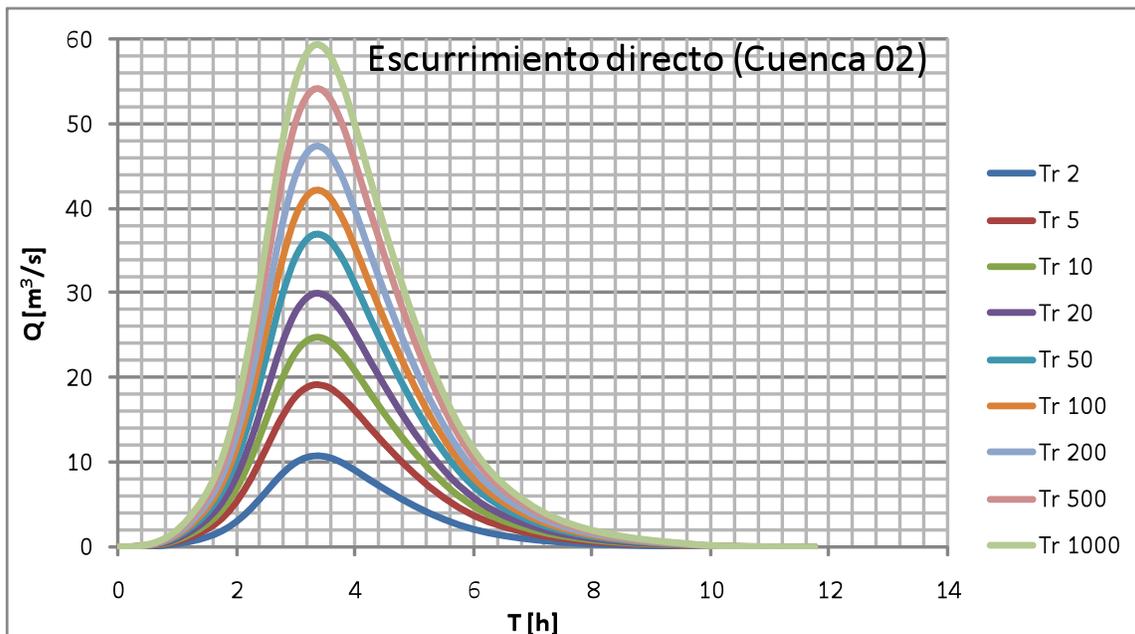


Figura 1.59 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C02, para diferentes periodos de retorno

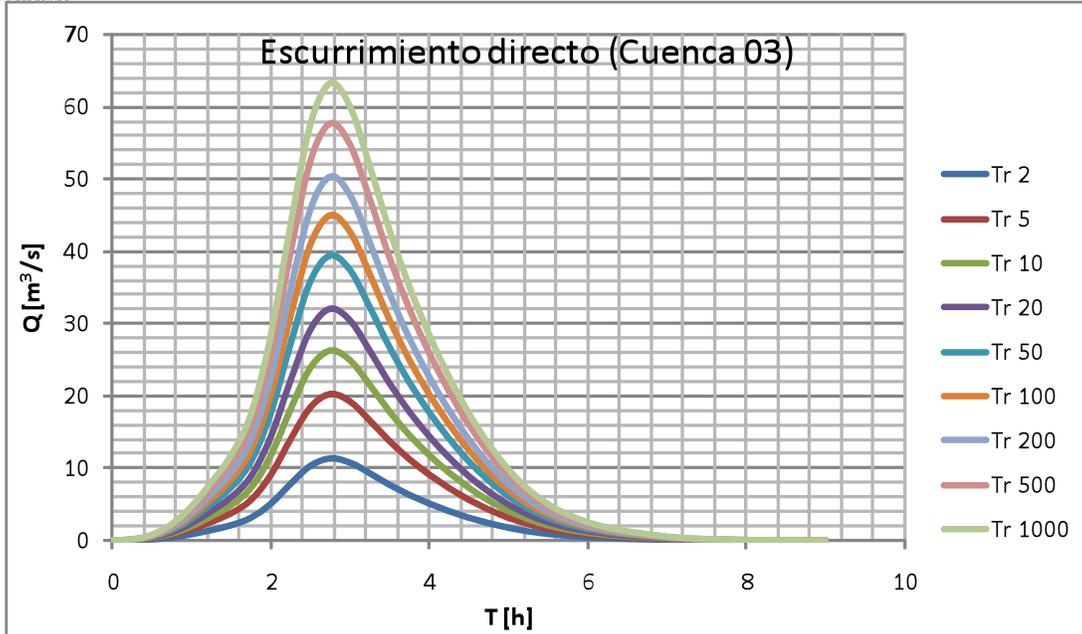


Figura 1.60 Hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C03, para diferentes periodos de retorno

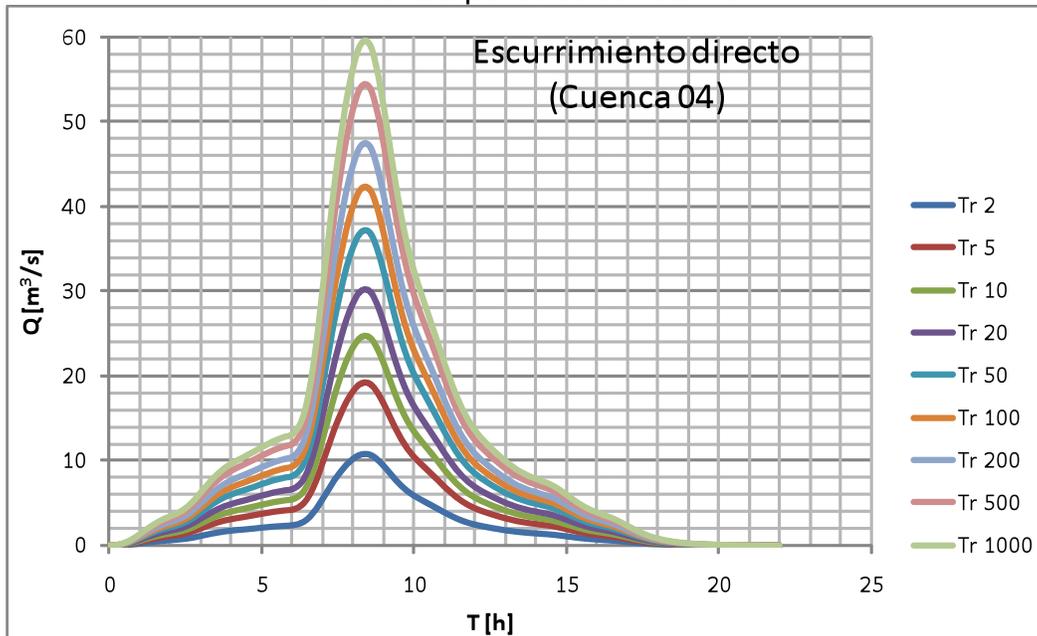


Figura 1.61 Hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C04, para diferentes periodos de retorno

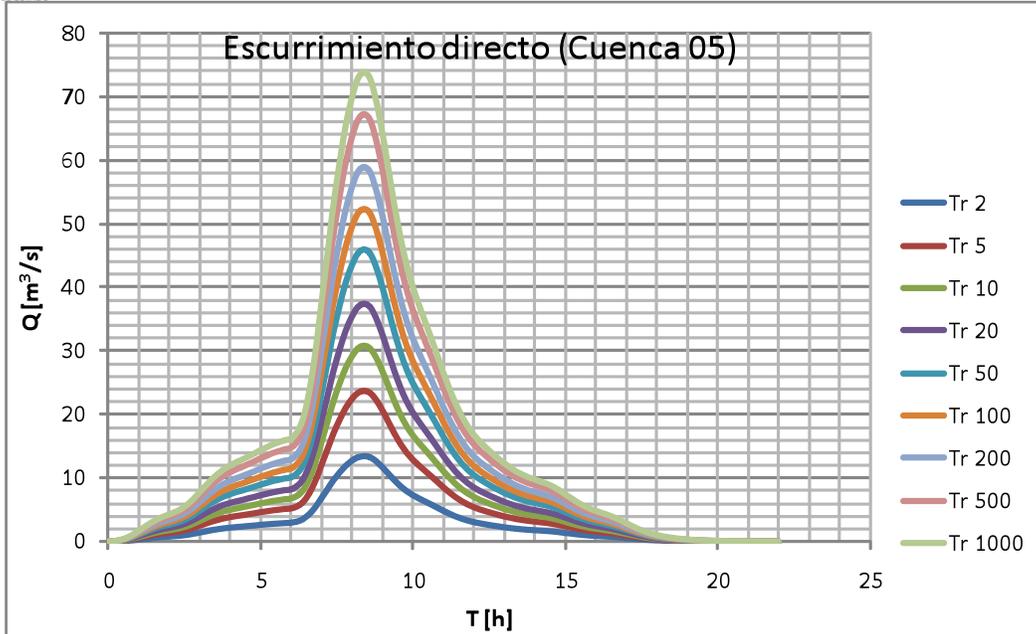


Figura 1.62 Hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C05, para diferentes periodos de retorno

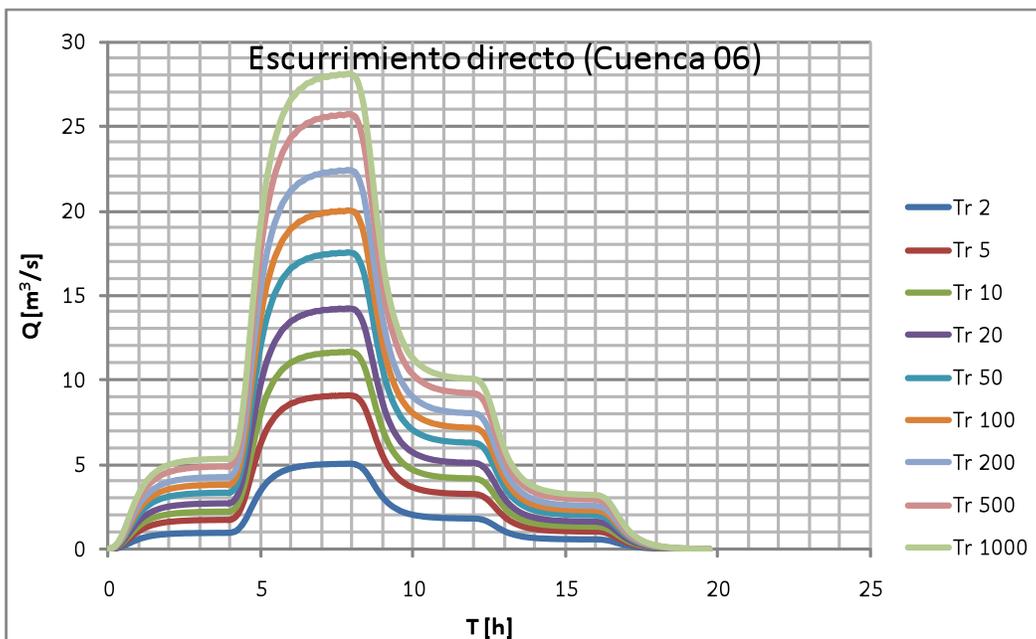


Figura 1.63 Hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C06, para diferentes periodos de retorno

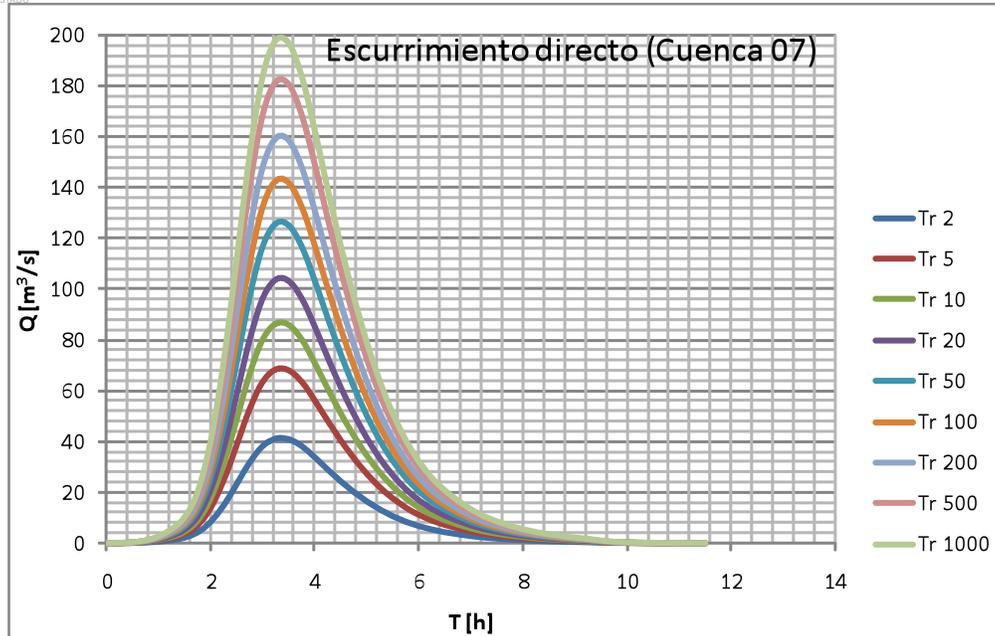


Figura 1.64 Hidrograma de escurrecimiento directo de la cuenca C07, para diferentes periodos de retorno

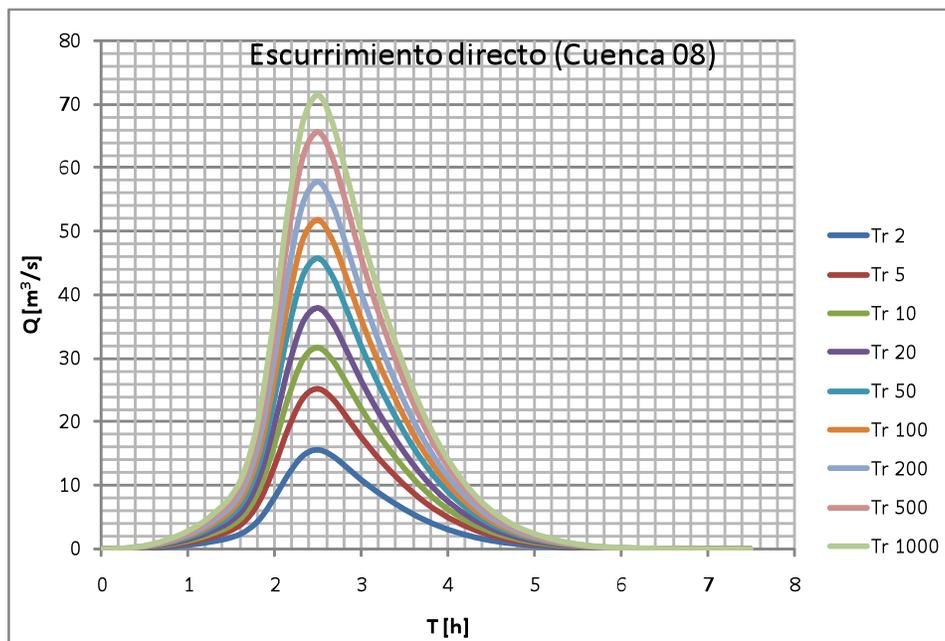


Figura 1.65 Hidrograma de escurrecimiento directo de la cuenca C08, para diferentes periodos de retorno

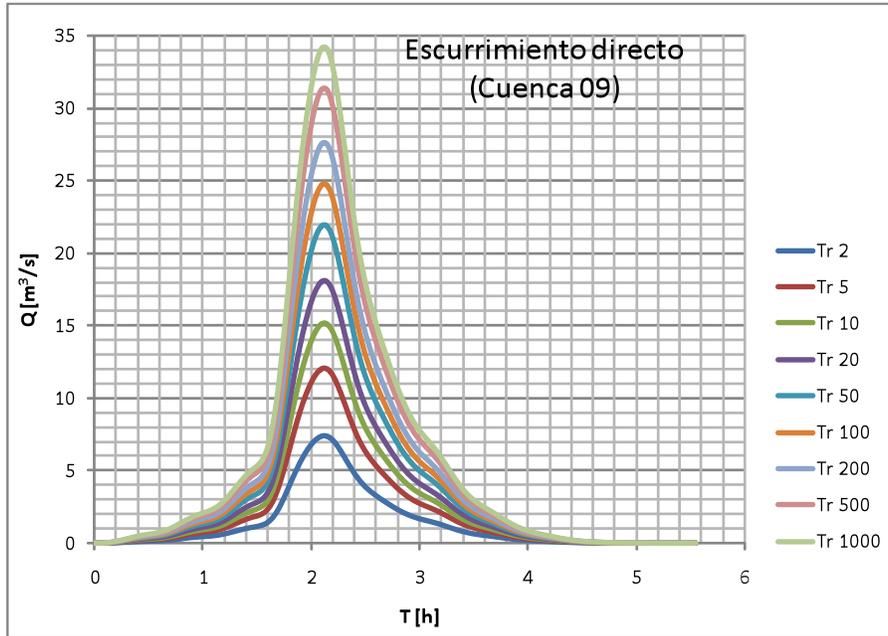


Figura 1.66 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C09, para diferentes periodos de retorno

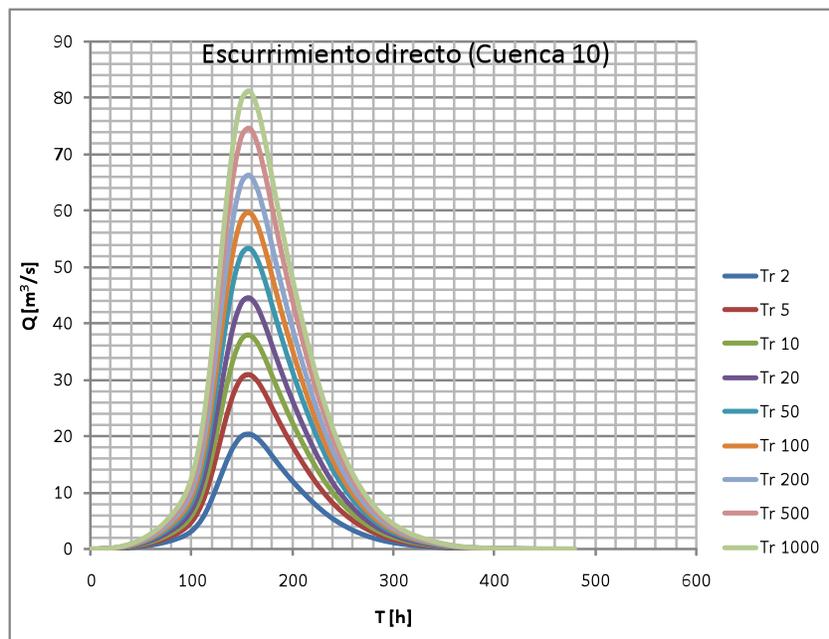


Figura 1.67 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C10, para diferentes periodos de retorno

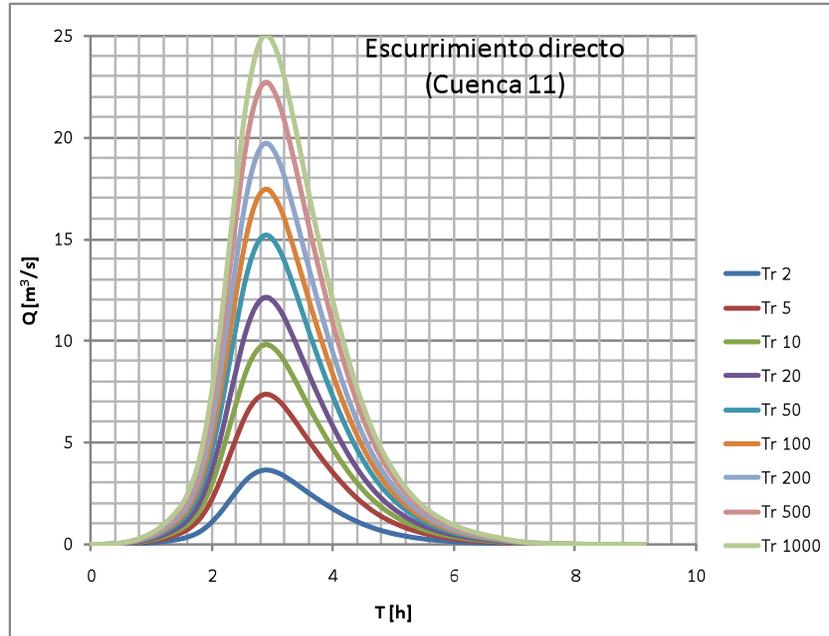


Figura 1.68 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C11, para diferentes periodos de retorno

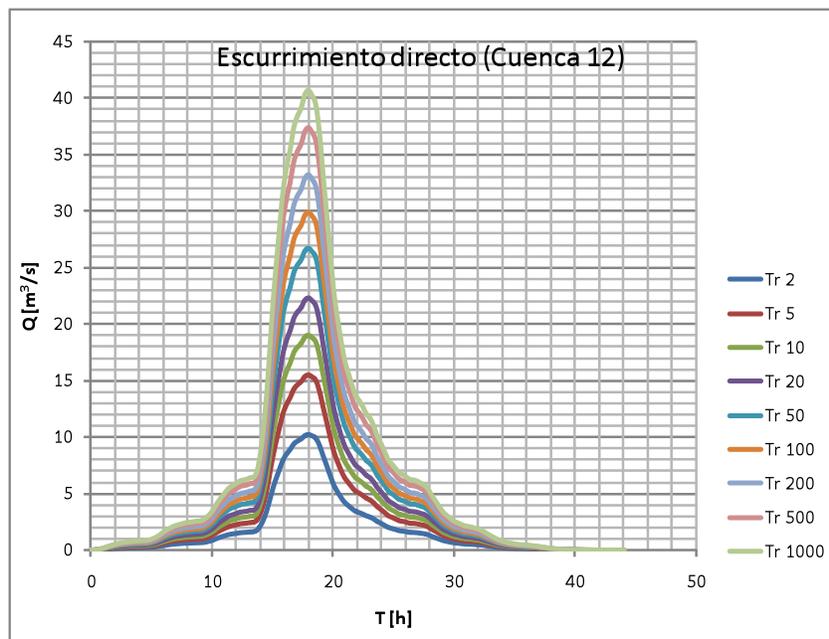


Figura 1.69 Hidrograma de esguerrimiento directo de la cuenca C12, para diferentes periodos de retorno

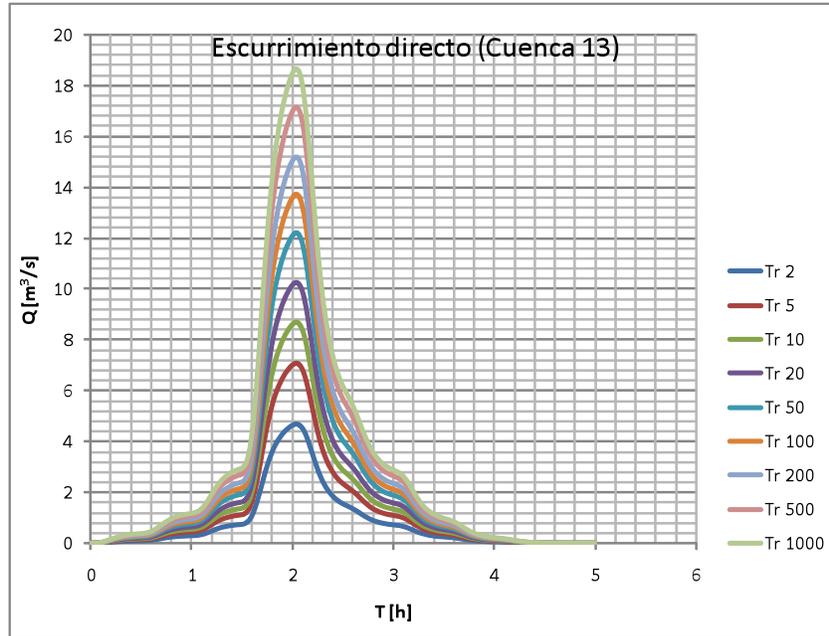


Figura 1.70 Hidrograma de escurrimento directo de la cuenca C13, para diferentes periodos de retorno

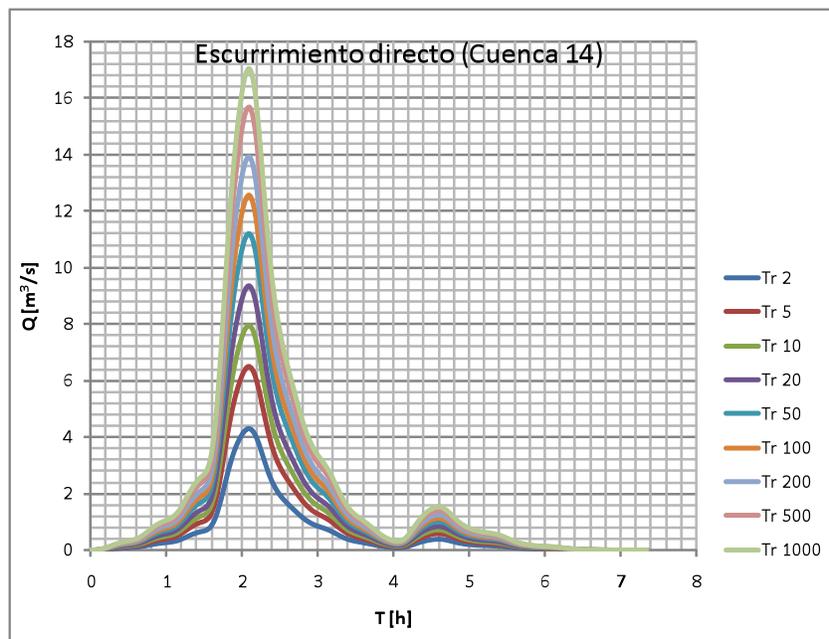


Figura 1.71 Hidrograma de escurrimento directo de la cuenca C14, para diferentes periodos de retorno

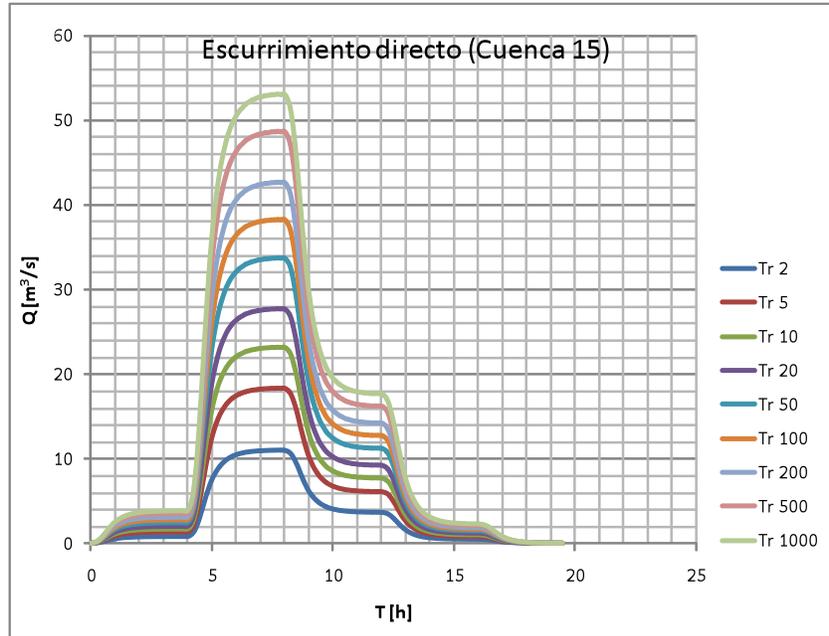


Figura 1.72 Hidrograma de escurrimiento directo de la cuenca C15, para diferentes periodos de retorno

En el Anexo 3 se presentan las convoluciones realizadas para obtener los hidrogramas anteriores. Estos hidrogramas son utilizados en la modelación hidráulica de los cauces y llanuras de inundación del capítulo 3 de este informe.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON LOS CAUCES

- 2.1 REVISIÓN DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO**
- 2.2 REVISIÓN DE TANQUES DE REGULACIÓN**
- 2.3 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RED DE AGUA POTABLE**
- 2.4 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RED DE ALCANTARILLADO**
- 2.5 REVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**
- 2.6 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO**
- 2.7 DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

2. REVISIÓN DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA RELACIONADA DIRECTAMENTE CON LOS CAUCES

La infraestructura hidráulica de la zona de estudio es operada por cuatro Organismos Operadores: la Comisión Intermunicipal de Agua Potable y alcantarillado de Colima y Villa de Álvarez, CIAPACOV; la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Comala, COMAPAC; la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Coquimatlán, CAPACO y la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuauhtémoc, CAPAMC.

2.1 REVISIÓN DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO

El abastecimiento de agua potable para la zona conurbada de Colima y Villa de Alvarez se obtiene de la captación del manantial Zacualpan, ubicado en el municipio de Comala, y de una serie de pozos ubicadas dentro de la zona urbana. Según la página web de CIAPACOV, originalmente el agua se captaba de dichos pozos, pero con la puesta en marcha del Acueducto Zacualpan la mayoría de éstos pasaron a operar en condiciones de reserva para cuando se presenten imprevistos en la operación o en la reparación de alguno de los elementos de dicho acueducto, o de los tanques de regulación.

El manantial Zacualpan, se ubica en el municipio de Comala a 27.5 kilómetros de la ciudad. Existen además 28 pozos que surten a la ciudad de Colima y 12 a Villa de Álvarez. La profundidad de dichos pozos es de entre 100 y 200 m.

Desde el Manantial Zacualpan, según CIAPACOV, se captan 1,000 l/s, que son conducidos por gravedad desde la obra de toma hasta la planta de bombeo que opera 15 horas al día, a través de una tubería de acero de 914 mm (36”) en una longitud de 2.1 km aproximadamente. Desde este punto se bombea hacia el tanque de cambio de régimen, para posteriormente y por gravedad hacerlo llegar hasta la zona conurbada.

El municipio de Colima tiene registrados en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) un total de 685 Títulos de Concesión: uno para acuacultura, 247 para uso agrícola, 65 de uso doméstico, 17 de uso industrial, 134 de uso múltiple, 132 de uso pecuario, 4 de uso público urbano, 83 de servicios y 2 de otros.

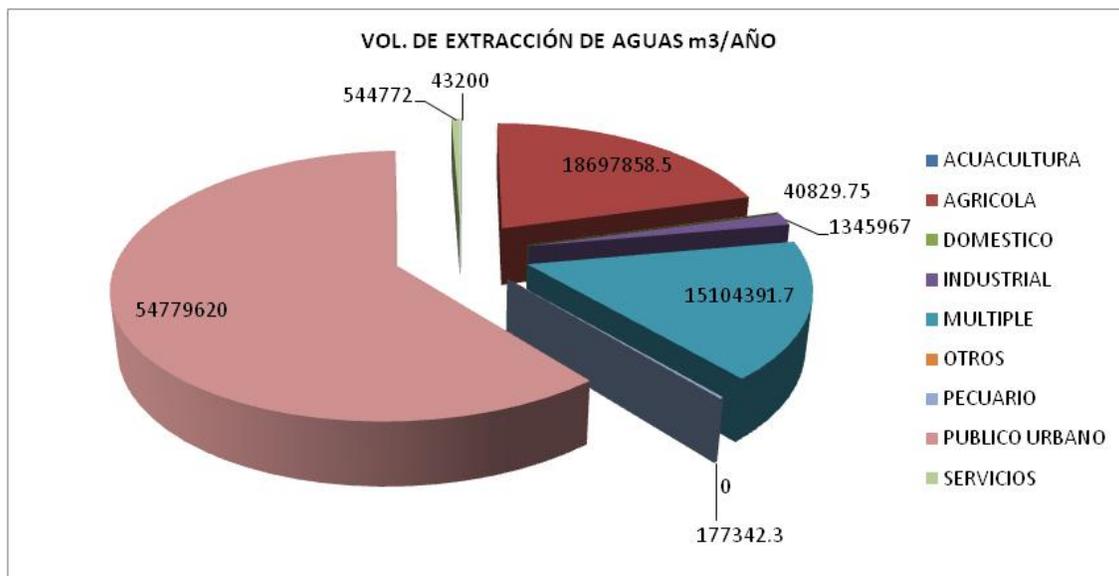


Figura 2.1 Distribución de consumos de agua en el Municipio de Colima

En la tabla 2.1 se presentan los valores del volumen de extracción concesionados para el municipio de Colima. Se observa que en uso Público Urbano, se tiene un volumen de 54 779 620 m³, equivalente a un gasto medio de 1 737 l/s, que corresponden a un total de 146 904 habitantes en el municipio.

Tabla 2.1 Distribución de consumos de agua en el Municipio de Colima

USO	Volumen extracción de aguas nacionales que ampara el título (m ³ /año)
ACUACULTURA	43200
AGRICOLA	18697858.5
DOMESTICO	40829.75
INDUSTRIAL	1345967
MULTIPLE	15104391.7
OTROS	0
PECUARIO	177342.3
PUBLICO URBANO	54779620
SERVICIOS	544772
	90733981.25

Del total del agua extraída para uso público urbano, según la figura 2.2, aproximadamente el 62% corresponde a aguas superficiales, esto es 1076 l/s, y el resto, 660 l/s, a aguas subterráneas.

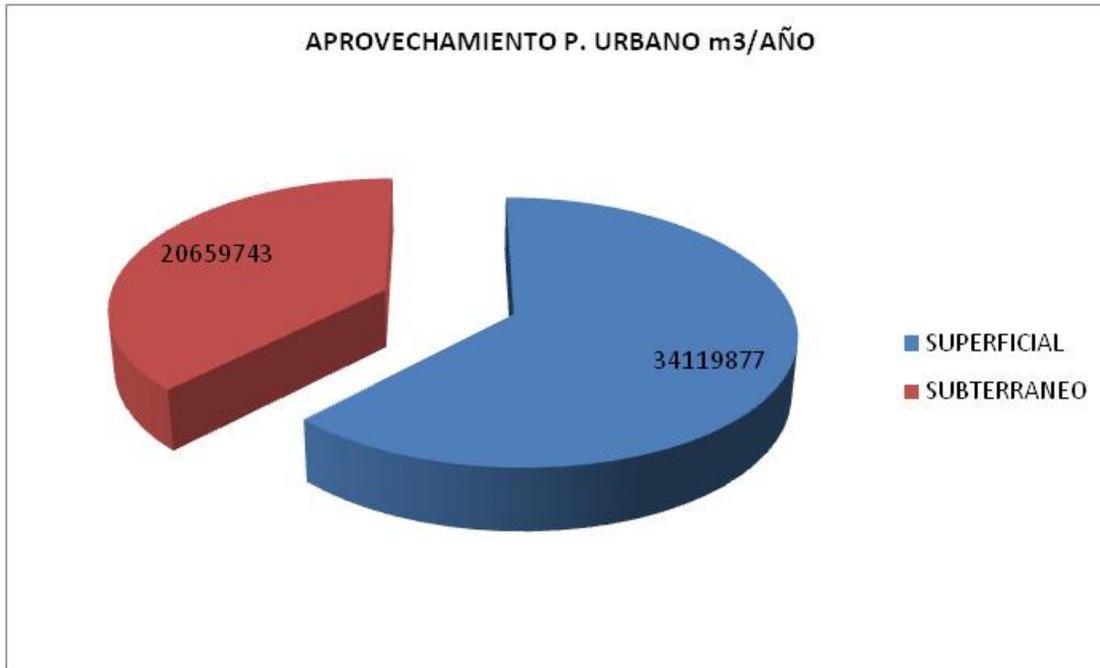


Figura 2.2 Origen de fuentes de abastecimiento de agua en el Municipio de Colima

En particular, para el municipio de Colima, son cuatro los Títulos de Concesión que conforman al uso Público Urbano, los mismos que se indican en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Títulos de concesión para uso público urbano de Municipio de Colima

TITULAR	TÍTULO
CIAPACOV (ZONA RURAL COLIMA)	4COL101569/16HSGE95
COMISION INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE COLIMA Y VILLA DE ALVAREZ	4COL102333/16HSGE96
COMISION INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LOS MUNICIPIOS DE COLIMA Y VILLA DE ALVAREZ	08COL100302/16HSDL09
COMISION INTERMUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE LOS MUNICIPIOS DE COLIMA Y VILLA DE ALVAREZ.	08COL106545/16HMDL08

En particular el título de Concesión 16HSDL09, asignado al CIAPACOV, comprende a un volumen de 54 239 343 m³, se desglosa, según la página del REPDA, como lo indica la figura 2.3.



Figura 2.3 Desglose del Título de concesión 16HSDL09

De la figura anterior se observa que se compone a su vez de dos aprovechamiento superficiales y 71 de aguas subterráneos. De los aprovechamientos superficiales 31 536 000 m³ anuales corresponden al acueducto Zacualpan, equivalente a un gasto medio de 1 000 lps y coordenadas 19°23'33.40"N y 103°49'11.20"W; y 2 073 600 m³ anuales corresponden al río Colima, equivalente a un gasto medio de 65 lps, con coordenadas 19°17'20.10" N y 103°42'35.10" W, ubicado geográficamente a unos 500 m aguas abajo de la localidad El Chanal.

Los aprovechamientos subterráneos se ubican en su mayoría en la demarcación del acuífero 0601 Colima.

Por su parte, el municipio de Villa de Álvarez, con 119 956 habitantes, tiene asignados a CIAPACOV un total de dos Títulos de Concesión, el 4COL102339/16HOGE96 por 31270 m³ anuales, compuesto a su vez por dos fuentes de aprovechamiento, ubicados en el río San Palmar, fuera de la zona de estudio, y el otro el mismo 08COL100302/16HSDL09, por 54 239 343 m³.

En cuanto a los pozos de la zona conurbada, en la figura 2.4 se observan ubicados en forma espacial pulverizada, confinados entre el sistema de cauces urbanos.

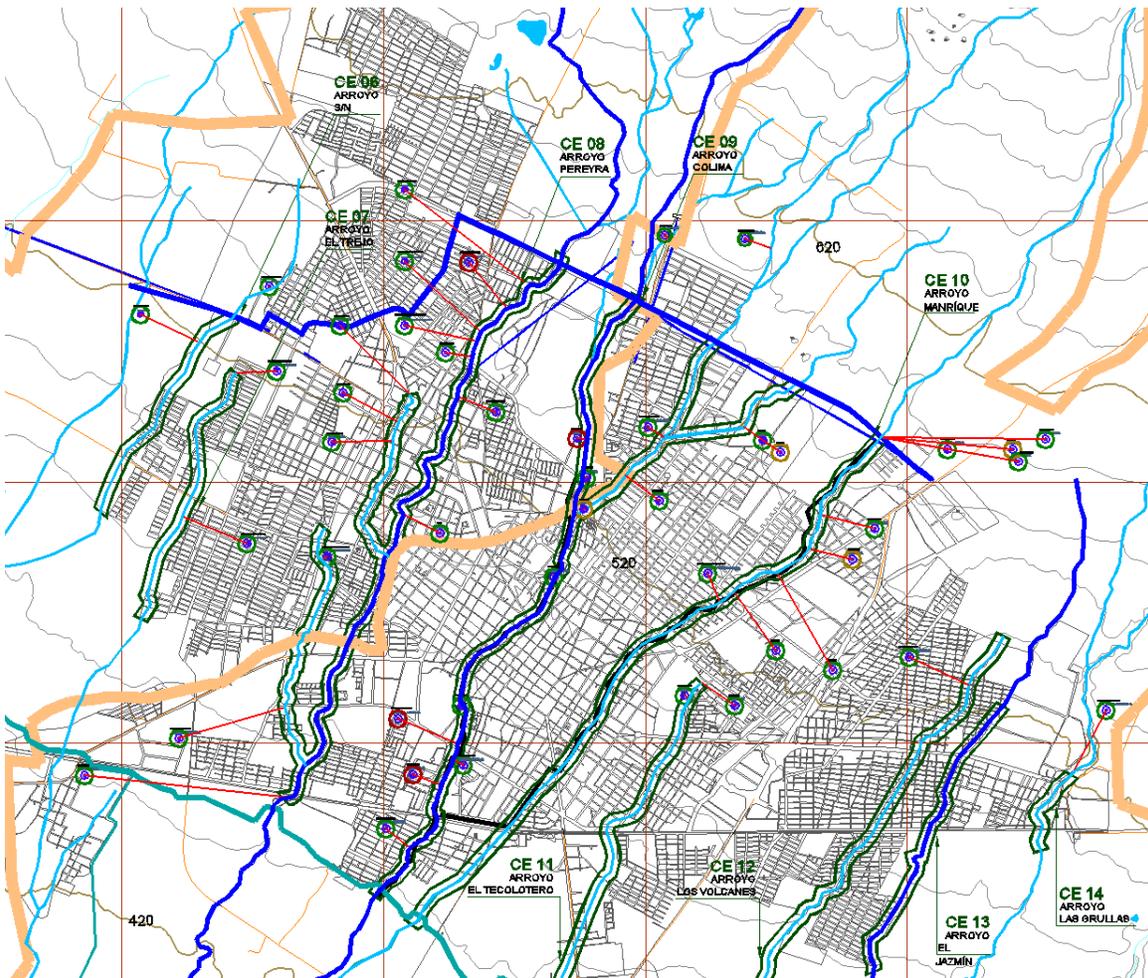


Figura 2.3 Ubicación de pozos de agua subterránea

En la tabla 2.3 se presentan los nombres de 45 pozos, de los cuáles se contó con información de ubicación, y su cota aproximada, así como la distancia al cauce más directamente relacionado. Se observa que en promedio la distancia entre los pozos y los cauces es de 540 m, y el pozo más alejado se encuentra a 1975 m y el más cercano a 12 m. También las cotas arrojan un promedio de 525 m, con una cota máxima de 610 m y una mínima de 442 m.

Tabla 2.3 Relación entre pozos y cauces

N°	Nombre del pozo	Cota (m)	Distancia (m)	Cauce directamente relacionado
1	Santa Bárbara	610	258	Río Colima
2	Las Palmas	587	43	Río Colima
3	Pozo Villa Izcalli	500	1441	Arroyo Pereyra
4	Pozo El Manquito	563	575	Arroyo Pereyra
5	Pozo Alfredo V. Bonfil	555	991	Arroyo Pereyra
6	Pozo El Vado	535	257	Arroyo Pereyra
7	Pozo Senderos Del Carmen	564	707	Arroyo Pereyra
8	Pozo El Llano	540	940	Arroyo Pereyra
9	Pozo Burócratas	538	21	Arroyo Poniente
10	Pozo Panteón	517	621	Arroyo Poniente
11	Pozo Emiliano Zapata	522	384	Arroyo El Trejo
12	Pozo Casino	522	598	Arroyo Pereyra
13	Pozo La Gloria	511	580	Arroyo Pereyra
14	Pozo Manuel M. Dieguez	492	59	Arroyo Pereyra
15	Pozo Ramón Serrano	490	670	Arroyo El Trejo
16	Parque Industrial	453	1057	Arroyo Pereyra
17	Lo De Villa	442	1975	Arroyo Pereyra
18	Parque La Curva	534	392	Arroyo Pereyra
19	A. D. C.	501	382	Arroyo Pereyra
20	Pimentel Llerenas	449	618	Río Colima
21	El Palmar	458	20	Río Colima
22	Vivienda Popular	462	114	Río Colima
23	Arboledas	461	294	Río Colima
24	Torres Quintero	450	299	Río Colima
25	Nuevo San Rafael	541	180	Río Colima
26	Colmenas	535	100	Río Colima
27	Periférico	522	41	Río Colima
28	Armonía	518	12	Río Colima
29	Corregidora	499	13	Río Colima
30	El Racket	535	395	Río Colima
31	Zarco I	560	213	Río Colima
32	Zarco II	566	421	Río Colima
33	Lomas De Circunvalación	534	299	Arroyo Manrique
34	Zona Militar	504	58	Arroyo El Tecolotero
35	INFONAVIT	508	385	Arroyo El Tecolotero
36	Viboras	526	674	Arroyo Manrique
37	Oriental	507	1077	Arroyo Manrique
38	Lázaro Cárdenas	538	631	Arroyo Los Volcanes
39	Canaveral	563	423	Arroyo Manrique
40	Libramiento	571	531	Arroyo Manrique
41	El Rodeo Estacia II	542	699	Arroyo Las Gruyas
42	Zonas Áridas	598	648	Arroyo Manrique
43	La Nopalera	608	1578	Arroyo Manrique
44	La Noria	601	1264	Arroyo Manrique
45	El Cuahioté	509	1331	Arroyo Manrique

En Comala, la COMAPAC cuenta con tres títulos de concesión, en particular el título de concesión 08COL100193/16HMDL11 tiene asignado un volumen de aguas subterráneas de 925 175 m³/año, que equivalen a 29 l/s, y que se obtienen de 6 sitios ubicados en el acuífero 0601 Colima. En este municipio no se cuenta con instrumentación para el aforo de los caudales correspondientes.

También la COMAPAC cuenta con otros dos título de concesión de aguas superficiales, los título 4COL102373/16HOGE97, con 20 580 m³/año, equivalente a 0.65 l/s y el 4COL102337/16HSGE96, de 17 410 m³/año, equivalente a 0.5 l/s provenientes de tres y seis aprovechamientos, correspondientemente, en los arroyos Suchitlán y San Juan.

En el caso de Coquimatlán, en el REPDA no se encuentran actualizados los datos de títulos de concesión de CAPACO. Sin embargo, según el estudio de la Manifestación de Impacto Ambiental para la construcción de emisores y la PTAR en la Cabecera Municipal (CAPACO 2008), la cabecera municipal es abastecida por cuatro pozos profundos que operan en promedio por diez horas diarias, extrayendo un volumen de aproximadamente 1 947 000 m³/año, equivalentes a un caudal de operación medio de 148 lps.

En Cuauhtémoc, la CAPAMC cuenta con el Título de Concesión 08COL106488/16HNDL08, con un volumen asignado de 504 430 m³, equivalente a un gasto medio de 16 lps, ubicado en las coordenadas 19°22'02.00" N y 103°37'00.00" W, ubicado cerca de la localidad La Granja, y fuera de los cauces urbanos que se estudian en este Plan.

2.2 REVISIÓN DE TANQUE DE REGULACIÓN

En la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez existen una serie de tanques tanto elevados como superficiales, cada uno con diferente capacidad. Dado que la mayor fuentes de abastecimiento (100% en condiciones ordinarias) se obtiene del manantial Zacualpan, cuyo caudal es conducido por su correspondiente acueducto, se presenta en la figura 2.4 el esquema simplificado de los tanques de regulación, abastecidos del acueducto, el cual inicia en la Planta de Bombeo y concluye en el Tanque el Diezmo. En dicha imagen se observa que son 8 los grandes tanques de regulación que componen al sistema, y que regulan un total de 23960 m³, lo cual se observa como un volumen considerable, en el que se regula cerca del 44% del total del agua de la zona conurbada, estimada en 54 000 m³/día, ya que al operar el acueducto con 1 000 l/s durante 15 horas, se obtiene dicho volumen.

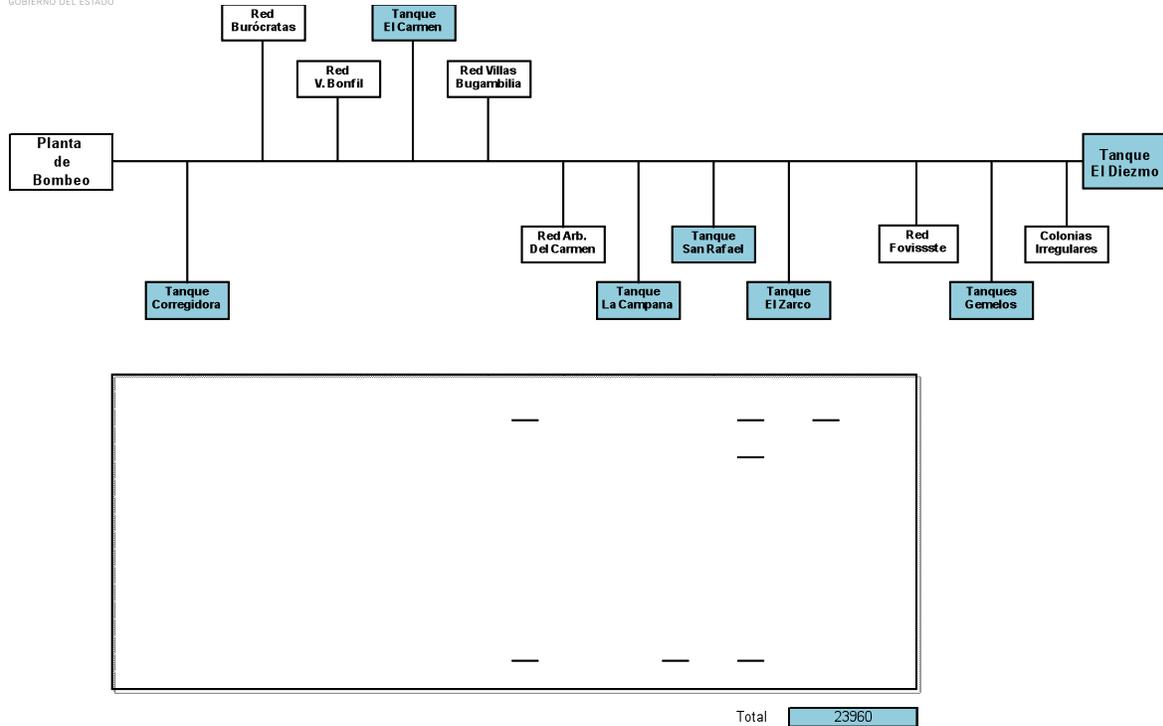


Figura 2.4 Tanques de regulación del acueducto Zacualpan. Fuente: CIAPACOV

Dado que los volúmenes de agua de las zonas urbanas de Comala, Coquimatlán y Cuauhtémoc son valores relativamente pequeños y dado que no se contó con dicha información, el análisis del diagnóstico general de infraestructura considerará en mayor grado a los tanques de regulación del acueducto Zacualpan.

2.3 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE LAS REDES DE AGUA POTABLE

En la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez se cuenta con un total de 178.22 km de red principal de agua potable, que se compone a su vez de 5.33 km de tubería de 18 pulgadas, 3.49 km de 16 pulgadas, 11.84 km de 14 pulgadas, 19.74 de 12 pulgadas, 22.02 km de 10 pulgadas, 42.92 km de 8 pulgadas y 72.86 km de 6 pulgadas. El 70% de esta red es de fierro fundido y asbesto-cemento y el resto de PVC. El acueducto Zacualpan se compone por tuberías de 36 pulgadas en 25.24 km y de 30 pulgadas en 1.86 km. (Fuente: CIAPACOV 2012). En planos de la red se aprecia que la red secundaria cuenta con diámetros desde 4, 3, 2 1/2 y 2 pulgadas de diámetro .

En la figura 2.5 se observa que la red de agua potable cuenta con cruces en prácticamente la mayoría de los puentes urbanos que cruzan a los cauces de estudio, lo cual, en el caso de modificar o remodelar algunos de estos puentes se deberá considerar tal condición.

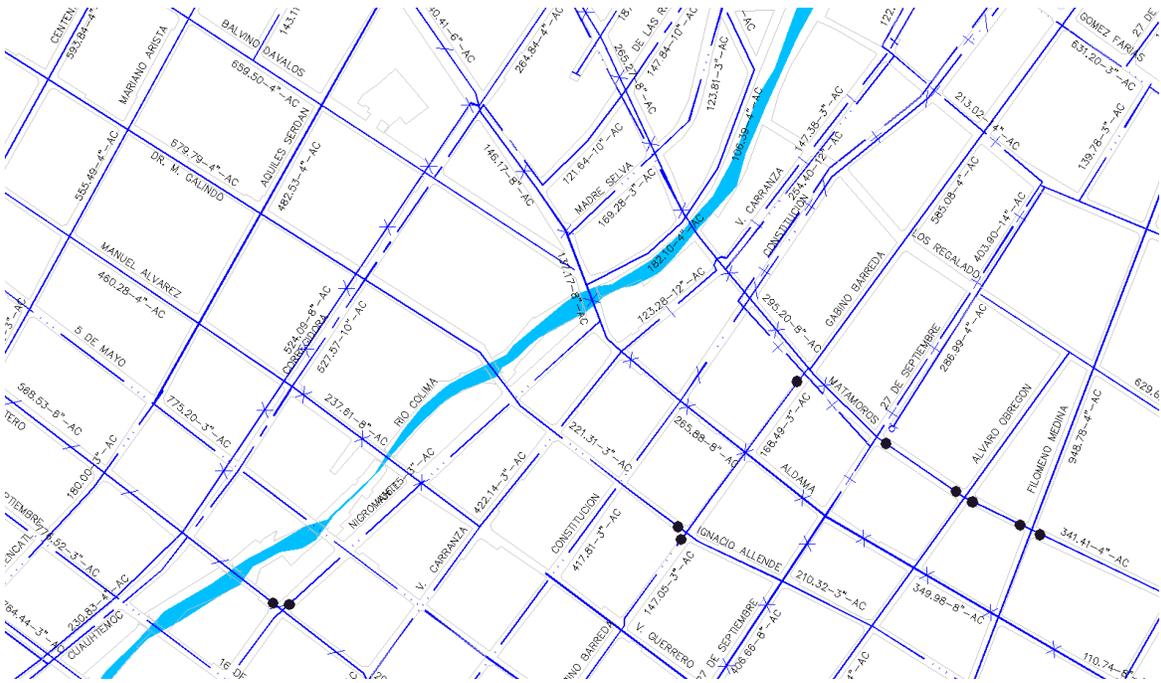


Figura 2.5 Vista parcial de la red de agua potable. Fuente: CIAPACOV

En Coquimatlán la red de agua de agua potable está compuesta por tuberías de 8 pulgadas hasta 2 y media pulgadas de asbesto-cemento y de PVC en diámetros de 2 y media pulgadas hasta 4 pulgadas, el servicio de agua es por medio de tandeos. Finalmente, tanto de Comala como de Cuauhtémoc no se identificó información relacionada con los cauces urbanos.

2.4 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE RED DE ALCANTARILLADO

Según la información proporcionada por el CIAPACOV, el sistema de drenaje sanitario de la zona conurbada es mixto diseñado únicamente para conducir las aguas sanitarias. Los colectores principales son: Colector Poniente, Colector Pereyra, Colector Colima, Colector Venustiano Carranza, Colector Manrique, Colector Oriente y sus tres subcolectores: Las Torres, Lienzo Charro y República, con diámetros de 61 a 25 cm, que junto con los pozo de visita integran una red que conducen las aguas servidas de la zona conurbada y que son conducidas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicada al sur de la ciudad. La red pluvial de agua pluvial es operada por cada uno de los dos municipios y se estima que la cobertura total de la zona conurbada es apenas del 40%, por lo que el resto de las aguas pluviales circula directamente por las vialidades y descargan directamente a los cauces urbanos de estudio de tal manera que su influencia debe analizarse en la modelación matemática.

La red de alcantarillado de Coquimatlán descarga sus aguas a dos colectores sanitarios de 18 pulgadas al suroriente y de 8 pulgadas al surponiente. Mismos

que se conectan a la PTAR, que a su vez es utilizada parcialmente para riego y para descargar directamente al arroyo Seco, una vez que ha confluído a él e cauce Los Limones, ubicados en Coquimatlán.

Las redes de alcantarillado de Comala descargarán a la PTAR que está por construirse al sur de la Ciudad, y cuyas aguas descargarán directamente al arroyo Seco. Cabe mencionar que en la localidad de Suchitlán, ubicado unos 8 km aguas arriba de Comala, se encuentra una PTAR que descarga al arroyo Suchitlán, lo cual se considera apropiado, ya que cuando las aguas de dicho cauce cruzan por Comala, dichas aguas ya cuentan con un proceso de tratamiento artificial y natural. En Cuauhtémoc se conecta parcialmente la red de drenaje a la PTAR, ubicada en el parteaguas, aguas abajo de los cauces la Primavera y Tía Gumersinda, al sureste de Cuauhtémoc, en la cual en el año 2010 se realizó una rehabilitación.

En Coquimatlán, Comala y Cuauhtémoc no existe una red separada de aguas pluviales.

2.5 REVISIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La PTAR intermunicipal de Colima y Villa de Álvarez empezó su operación en 2007. Esta infraestructura beneficia al sector agropecuario colimense, ya que se puede sanear un volumen importante de aguas sanitarias, mismas que son descargadas al Río Colima y ayuda a los productores agrícolas, ganaderos y acuícolas, debido a que el agua tratada queda libre de agentes biológicos como bacterias patógenas, parásitos, algunos virus que no son eliminados en la transformación bioquímica de las plantas y los animales y es utilizada en dichas actividades primarias. El gasto medio de la PTAR es de 800 l/s y el máximo de 1440 l/s. La tecnología es de lodos activados en la modalidad de aireación extendida. Los parámetros fisicoquímicos involucrados y resultantes son los presentados en la siguiente tabla.

Tabla 2.4 Valores de parámetros fisicoquímicos de la PTAR

FUENTE	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST
Agua residual	255	486	280
Agua tratada	30	60	30

Con el tratamiento de esta agua resultan directamente beneficiadas 600 hectáreas de Colima y Coquimatlán, el contenido de organismos patógenos del agua que se vierte posterior a su tratamiento es inferior al rango que las normas de calidad del agua establecen como máximo, parámetros que se indican en la tabla 2.5, y que sirven para obtener productos sanos e inocuos para el consumo humano, inclusive con la calidad necesaria para su exportación ya que podrán ser usadas en el riego y los procesos productivos y de transformación. Además, en la misma PTAR se produce abono orgánico a partir de los lodos resultantes en la generación de

composta. Es importante resaltar que dicha PTAR No genera olores desagradables en zonas aledañas a la planta ni para los trabajadores.

La Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

Tabla 2.5 Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

(Private) Límites máximos permisibles para contaminantes básicos																					
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos						Embalses naturales y artificiales				Aguas costeras						Suelo		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	100	175	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	100	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

Se ha comentado en el subcapítulo 2.4 la ubicación y el estatus de las PTAR de las demás localidades, en general se cuenta con información de la existencia de plantas de tratamiento en operación y/o en rehabilitación. No se cuenta con información de sus capacidades y métodos de tratamiento, pero se inferirán algunos datos en el diagnóstico general de la infraestructura.

2.6 REVISIÓN DE INFORMACIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE RIEGO

En 1963 fue construida en territorio de este municipio la presa derivadora "Peñitas" utilizando las aguas del Río Armería cubriendo en la actualidad de riego de 10,217 hectáreas de los municipios de Colima, Comala, Coquimatlán y Villa de Álvarez. Para ello se distribuye el agua en el canal de riego Peñitas y el canal Colima Grande, el cual recorre perimetralmente la parte sur de la zona conurbada Colima-Villa de Álvarez, derivando parcialmente sus aguas en la parte central del distrito de riego 53 (DDR 53), concluyendo el canal a la altura de la localidad Las Golondrinas.

Por otro lado, las aguas residuales tratadas en la PTAR de la zona conurbada aportan un gasto medio de 800 l/s, mismos que son descargados al río Colima, con las características indicadas en la tabla 2.4, de tal manera que al mezclarse con el gasto base de los ríos que confluyen aguas arriba de las descargas de ART en el río Colima, se lleva a cabo una mezcla adecuada para volver a utilizar el agua en riego en la parte baja, en especial en la parte sur del Distrito de Riego 53.

Como se ha comentado, la PTAR de Coquimatlán está ubicada de tal forma que sus ART se verterán al arroyo Seco y a su vez de éste se realizarán las derivaciones correspondientes para el riego. El mismo arroyo Seco conducirá desde aguas arriba las ART de Comala. En Cuauhtémoc se cuenta con dos canales locales de riego con aguas crudas o naturales, en estos canales no existe conexión con la red de ART.

2.7 DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

El manantial Zacualpan, ubicado al exterior de la zona de estudio relativa a la región inmediata a los cauces urbanos, tiene la capacidad de abastecer en su totalidad la demanda de agua potable de la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez, para una dotación de 210 l/habitante/día. Actualmente opera en promedio por 15 horas al día, y cuenta con un sistema de tanques de almacenamiento con capacidad para regular poco más del 40% del volumen diario de agua. Con lo que se tiene una capacidad adecuada a la fecha, pero para condiciones futuras, se deberá incrementar el tiempo de operación del sistema. Desde el punto de vista del manejo integral del agua, este esquema es el más apropiado para abastecer de agua a la zona conurbada, ya que se evitaría el uso del volumen disponible en la concesión de 65 l/s del agua del gasto base del río Colima, ya que dicho caudal puede cumplir diversas funciones, como uso ecológico, uso en la imagen urbana e incorporación al sistema de riego aguas abajo de la ciudad.

Los pozos de apoyo ubicados al interior de la zona conurbada se encuentran directamente relacionados con el acuífero 0601 Colima, el cual a su vez depende del abastecimiento flujo subsuperficial de los cauces urbanos y su condición aguas arriba. Desde el punto de vista integral se debe condicionar el uso de los pozos solo para el apoyo de abastecimiento de agua en emergencias, ya que su uso excesivo altera el nivel del acuífero que permite la presencia de gastos base en el sistema de cauces urbanos, además de que es más económico el uso de la infraestructura del acueducto y sus tanques de regulación por el consumo de energía y se refleja en una visión sustentable.

En la zona conurbada, el sistema de drenaje está diseñado para conducir aguas residuales, no así las aguas pluviales. Por ello, el análisis de los escurrimientos pluviales urbanos se considera importante en el análisis hidráulico.

Los cauces urbanos, por lo general, no operan como colectores a cielo abierto de las aguas residuales urbanas, pero si conducen las aguas pluviales, tanto las que ingresan por sus correspondientes cuencas naturales aguas arriba de las zonas urbanas como las que se producen en la misma ciudad.

La PTAR de la zona conurbada tiene la capacidad de tratar hasta 1440 l/s, que es suficiente incluso para una proyección del orden de 30 años. Las PTAR's de Comala, Coquimatlán y Cuauhtémoc están planteadas adecuadamente para descargar en los cauces más cercanos y en algunos caos se incorporan en un esquema adecuado al ciclo natural hidrológico o a su reuso agrícola.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 3. MODELACIÓN HIDRÁULICA EN CAUCES Y LLANURAS DE INUNDACIÓN

**3.1 REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA PARA LA
APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS**

**3.2 RECORRIDOS DE CAMPO PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE
LOS CAUCES**

**3.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LOS CAUCES,
VELOCIDADES DE FLUJO Y VOLÚMENES DESBORDADOS**

**3.4 MODELACIÓN MATEMÁTICA EN LLANURAS DE INUNDACIÓN A PARTIR
DE HIDROGRAMAS DE DESBORDAMIENTO.**

3. MODELACIÓN HIDRÁULICA EN CAUCES Y DE LLANURAS DE INUNDACIÓN

La solución de problemas con información y datos recolectados de fenómenos físicos adquiere día a día mayor auge como una herramienta fundamental. En la modelación matemática de ríos y llanuras de inundación sirve para calibrar los resultados de la modelación y, mostrar los resultados de varios escenarios asociados a diferentes periodos de retorno. A partir de estos últimos, se proponen acciones estructurales y estrategias para disminuir los efectos negativos que ocasionan las crecientes y desbordamientos en poblaciones e infraestructura.

Asimismo, los resultados numéricos de los modelos hidráulicos pueden interpretarse de manera gráfica, sobre la cartografía básica de la planeación, para facilitar la toma de decisiones en ordenamiento territorial y planes de protección civil.

3.1 REVISIÓN Y ADECUACIÓN DE INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA PARA LA APLICACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS

La Gerencia local del Estado de Colima de la CONAGUA proporcionó al Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIUNAM) información topográfica de secciones transversales de algunos cauces, la cual no cubría la totalidad de los cauces de estudio, sino del orden del 35%. Con esta información se determinó la identificación de zonas federales, lo cual se presenta en el capítulo 5 del presente documento.

En el plano D02 del Anexo 7 se presentan con detalle los tramos con levantamientos topográficos. Por otro lado, se han generado a partir del Modelo Digital de Elevación (MDE) de INEGI la altimetría de la zona de estudio y detallado a partir del software Global Mapper, para contar con la topografía para el análisis hidráulico. En el mismo plano D02 se presentan indicadas las zonas a las que se

les generó un MDE. El detalle del MDE de la zonas conurbada de Colima-Villa de Álvarez se presenta en el plano D04 y el de Comala, Coquimatlán y Cuauhtémoc en los planos D05 A y B, dichos planos se presentan en el Anexo 7.

En el Anexo 4 se presentan procesadas las secciones transversales de los cauces con los que se cuenta información.

3.2 RECORRIDOS DE CAMPO PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS CAUCES

Durante los recorridos se identificaron características hidráulicas como la rugosidad y la presencia de colectores, otras variables de tipo ambiental como la vegetación, la fauna y otras de carácter urbano como las descargas de aguas residuales y la presencia de elementos de vinculación con la ciudad y con las construcciones de los lotes vecinos a los cauces.

En el Anexo 5 se presenta el anexo fotográfico del recorrido correspondiente a los 17 cauces de estudio.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LOS CAUCES, VELOCIDADES DE FLUJO Y VOLÚMENES DESBORDADOS

En el IIUNAM, se elaboró un método para el cálculo del flujo permanente en cauces naturales por medio de un programa de cómputo. Este método consta de en tres partes. En la primera de ellas reconoce los datos correspondientes a las secciones transversales disponibles para generar en cada una de ellas para distintos tirantes, variables hidráulicas tales como son: áreas hidráulicas, radio hidráulico, perímetro mojado y ancho de superficie libre. La segunda parte de se aboca, en caso de requerirse, a la interpolación entre secciones transversales, para disponer de tramos de ríos que sean tengan longitud menor a una que se considere razonable para el estimado de las pérdidas de carga por fricción. El producto de esta parte del programa se puede entender como la inclusión de secciones transversales adicionales a las existentes. En la última, se consideran datos como el tirante en al frontera aguas abajo, el coeficiente de rugosidad de la fórmula Manning y el gasto. Con base en esta información se obtiene el perfil del flujo permanente gradualmente variado y los valores en las secciones transversales proporcionadas de los tirantes, área hidráulica, ancho de superficie libre, velocidades medias entre otros. Como son conocidas las cotas de los barrotes o bordos del río en las secciones, se dibujan junto con las de la superficie libre el agua y el fondo del cauce (*talweg*).

A continuación se describen los principales aspectos del modelo numérico desarrollado en el IIUNAM.

Secciones transversales

Como los cauces naturales tienen secciones irregulares, el método numérico considera que dichas secciones están definidas por una serie de puntos contenidos en un plano vertical. Por tanto, se proporcionan las coordenadas de esos puntos de manera que permitan definir con una adecuada aproximación a la forma de la sección transversal. Para una sección transversal se pueden escoger hasta 50 puntos.

En la figura 3.1 se presenta un ejemplo de una sección real y la configuración generada a partir de 15 puntos; a ésta última se le denominará en adelante sección discretizada.

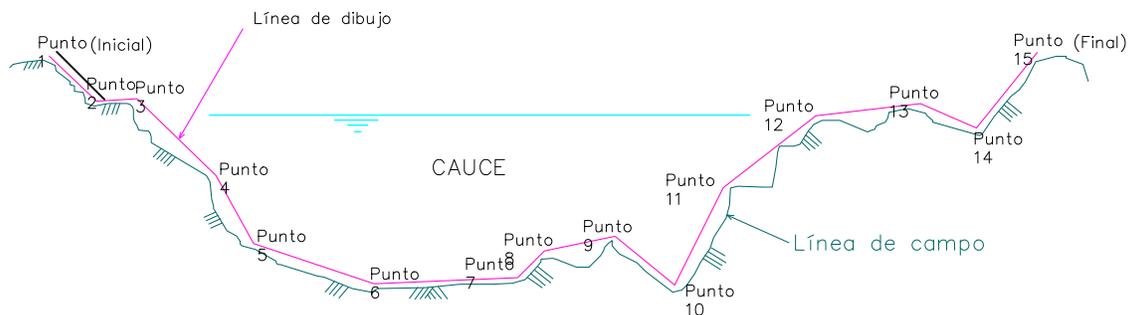


Figura 3.1 Sección de río, sección real y sección discretizada

En la Figura 3.2 se muestra el dibujo de la sección discretizada del cauce del río. Se identifican las abscisas $X(i)$ y las ordenadas $Z(i)$ respecto a un sistema de ejes cartesianos ubicado a la izquierda de la sección transversal.

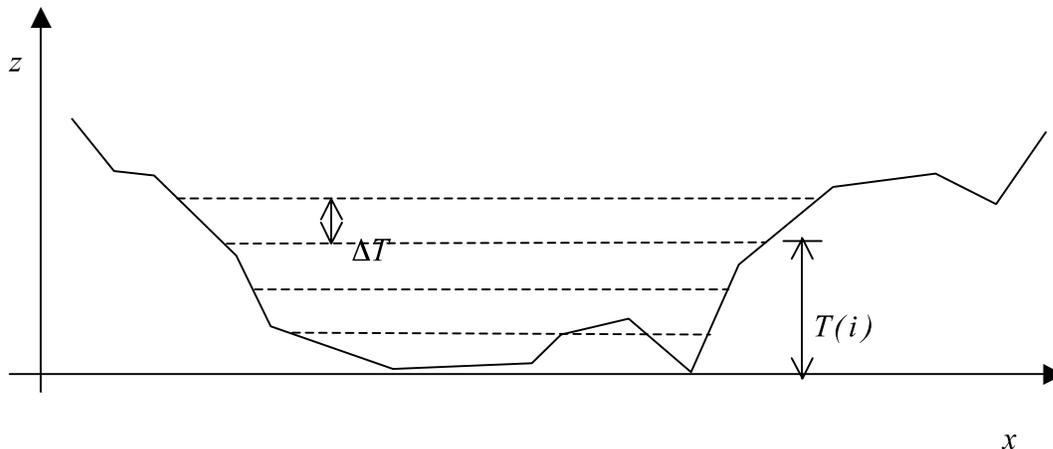


Figura 3.2 Tirantes considerados en cada sección discretizada del cauce natural

De acuerdo con la figura 3.1, se considera que en cada sección transversal el tirante se define como:

Variables hidráulicas

Para cada tirante de interés $T(i)$ se obtienen las variables hidráulicas siguientes:

el ancho de superficie libre está definido por:

$$B = \sum_{\uparrow}^N b(m) \quad (2)$$

el área, a partir de trapecios, es:

$$A = \sum_{\uparrow}^N a(m) \quad (3)$$

y el perímetro mojado es:

$$P = \sum_{\uparrow}^N p(m) \quad (4)$$

Donde $b(m)$ y $a(m)$ son el ancho de la superficie libre y área del trapecio m , la contribución al perímetro mojado del trapecio m y, N es el número de trapecios (ó triángulos al inicio y al final de las sumas) formados en la sección transversal para el tirante $T(j)$.

Para cada tirante $T(j)$ se dispone de los valores correspondientes de $B(j)$, $A(j)$, $P(j)$. con lo cual se forma una tabla para cada sección transversal.

Factor de fricción

La pendiente de la línea de fricción se obtiene a partir de la fórmula de Manning de la siguiente manera:

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{r^{4/3}} \quad (5)$$

En términos del gasto se escribe como:

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{r^{4/3}} \frac{A^2}{A^2} = \frac{Q^2 n^2}{A^2 r^{4/3}} \quad (6)$$

Por lo que la pérdida de carga por fricción queda

$$h_f = \int_j^{j+1} \frac{Q^2 n^2}{A^2 r^{4/3}} dl \quad (7)$$

Si la integral se obtiene en forma numérica mediante la regla trapezoidal resulta

$$h_f = \frac{1}{2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_{j+1}^2 r_{j+1}^{4/3}} + \frac{Q^2 n^2}{A_j^2 r_j^{4/3}} \right) \Delta L \quad (8)$$

la es función del gasto (cuando no hay ingresos ni egresos laterales no cambia), el área hidráulica y radio hidráulico en las secciones transversales en los extremos del tramo de cauce natural en análisis (j y $j+1$) así como del coeficiente de fricción de Manning.

Energía específica

La energía específica en flujo permanente a superficie libre está dada como:

$$E = y + \alpha \frac{Q^2}{2g A^2} \quad (9)$$

Generalmente en los ríos de planicie se presenta régimen subcrítico, de cumplirse con esto, el tirante en cada una de las secciones transversales del río en estudio es mayor al tirante crítico (t_c) de ella. Por lo que en los cálculos necesarios para obtener los tirantes no conocidos, se considera en cada sección transversal que el valor mínimo del tirante es mayor al tirante crítico, t_c , de la sección para el gasto de interés.

Para obtener el mínimo de la función de energía específica se derivó la ec. 9 con respecto al tirante y se igualó a cero dando:

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} \frac{dA}{dy} = 0 \quad (10)$$

Ya que para cualquier sección la derivada del área respecto al tirante es igual al ancho de la superficie libre:

$$\frac{dA}{dy} = B \quad (11)$$

al sustituir la expresión anterior, se tiene:

$$1 - \frac{\alpha Q^2}{g A^3} B = 0 \quad (12)$$

O bien,

$$\frac{A^3}{B} - \alpha \frac{Q^2}{g} = 0 \quad (13)$$

Como el área hidráulica y el ancho de superficie libre son funciones del tirante, se tiene que $A = A(y)$ y $B = B(y)$ la ecuación queda como:

$$\frac{[A(y)]^3}{B(y)} - \alpha \frac{Q^2}{g} = 0 \quad (14)$$

Para encontrar el tirante y que cumpla con la ec. 14, que es precisamente el tirante crítico Y_c , se empleó el procedimiento numérico de bisección (Fuentes, 1989)

El cálculo de $A(y)$ y $B(y)$ se realiza a partir de los valores discretos del tirante $y = y(i)$ por medio de una interpolación lineal.

Ecuación de conservación de la energía para flujo permanente a superficie libre en régimen subcrítico.

La figura 3.3 representa la ecuación de la conservación de la energía entre las secciones y y $y+1$.

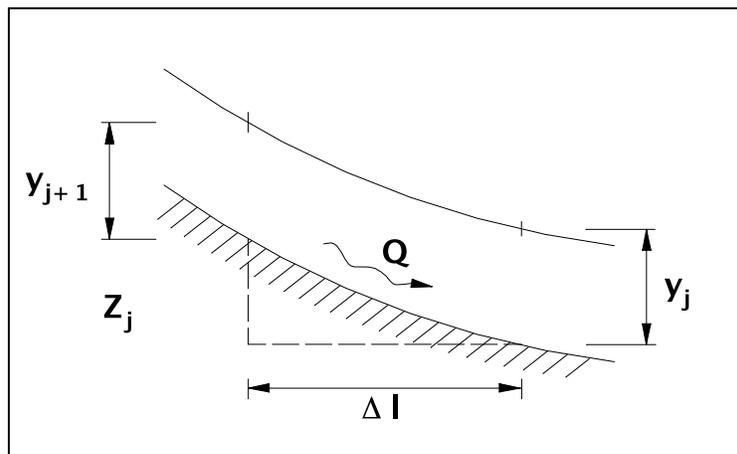


Figura 3.3. Perfil de las secciones j y $j+1$

De esta manera, se establece la ec. 15.

$$y_{j+1} + \frac{v_{j+1}^2}{2g} + \Delta z_j = y_j + \frac{v_j^2}{2g} + h_f \quad (15)$$

donde $\Delta z = z_{j+1} - z_j$ en términos del gasto, por lo que:

$$y_{j+1} + \frac{Q^2}{2gA_{j+1}^2} + \Delta z_j = y_j + \frac{Q^2}{2gA_j^2} + h_f \quad (16)$$

Sustituyendo:

$$y_{j+1} + \frac{Q^2}{2gA_{j+1}^2} + \Delta z_j = y_j + \frac{Q^2}{2gA_j^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_{j+1}^2 r_{j+1}^{4/3}} + \frac{Q^2 n^2}{A_j^2 r_j^{4/3}} \right) \Delta L \quad (17)$$

Ya que $1/r^{2/3} = (P/A)^{2/3}$ al factorizar se tiene:

$$y_{j+1} + \frac{Q^2}{2gA_{j+1}^2} + \Delta z_j = y_j + \frac{Q^2}{2gA_j^2} + \frac{Q^2 n^2 \Delta L}{2} \left(\frac{P_{j+1}^{4/3}}{A_{j+1}^{10/3}} + \frac{P_j^{4/3}}{A_j^{10/3}} \right) \quad (18)$$

Agrupando los términos $y+1$ y los y , se llega a:

$$y_{j+1} + \frac{Q^2}{2gA_{j+1}^2} - \frac{Q^2 n^2 \Delta L}{2} \frac{P_{j+1}^{4/3}}{A_{j+1}^{10/3}} + \Delta z_j = y_j + \frac{Q^2}{2gA_j^2} + \frac{Q^2 n^2 \Delta L}{2} \frac{P_j^{4/3}}{A_j^{10/3}} \quad (19)$$

$$y_{j+1} + \left(\frac{Q^2}{A_{j+1}^2} \right) \left[\frac{1}{2g} - y_{j+1} + \left(\frac{Q^2}{A_{j+1}^2} \right) \left(\frac{1}{2g} - F_{j+1} \right) \right] = y_j + \left(\frac{Q^2}{A_j^2} \right) \left[\frac{1}{2g} + \left(\frac{P_j}{A_j} \right)^{4/3} \frac{n^2 \Delta L}{2} \right] - \Delta z_j \quad (20)$$

La cual se puede escribir de la siguiente forma:

$$y_{j+1} + \left(\frac{Q^2}{A_{j+1}^2} \right) \left(\frac{1}{2g} - F_{j+1} \right) = y_j + \left(\frac{Q^2}{A_j^2} \right) \left(\frac{1}{2g} + F_j \right) - \Delta z_j \quad (21)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\varepsilon_{j+1}^-} \qquad \qquad \qquad \underbrace{\hspace{10em}}_{\varepsilon_j^+}$

$$\varepsilon_{j+1}^- = \varepsilon_j^+ - \Delta z_j$$

$$\text{Sí} \quad F_{j+1} = \frac{n^2 \Delta L}{2} \frac{P_{j+1}^{4/3}}{A_{j+1}^{4/3}} \quad \text{y} \quad F = \frac{n^2 \Delta L}{2} \frac{P_j^{4/3}}{A_j^{4/3}} \quad (22)$$

Como en flujo subcrítico son conocidas las condiciones en la sección aguas abajo (y) se sabe el valor de ε_j^+ y dado que también se tiene el valor de Δz_j , sea $K_j = \varepsilon_j^+ - \Delta z_j$. Se trata de proponer un valor de y_{j+1} y con el calcular A_{j+1} y F_{j+1} de tal manera que se cumpla la ecuación:

$$y_{j+1} + \left(\frac{Q^2}{A_{j+1}^2} \right) \left(\frac{1}{2g} - F_{j+1} \right) - K_j = 0 \quad (23)$$

Una vez que se determina el tirante y_{j+1} y se dispone de ε_{j+1}^- se obtiene ε_{j+1}^+ por medio de $\varepsilon_{j+1}^+ = \varepsilon_{j+1}^- + 2F_{j+1}$, para asignar a y el valor de y_{j+1} y repetir el proceso de cálculo tantas veces como sea necesario.

Los resultados de este modelo se presentan en el Capítulo 7 y 8.

Cálculo de flujo no permanente gradualmente variado

De igual forma, que para el flujo permanente, el programa de cómputo para el cálculo del flujo no permanente se compone de tres partes esenciales: la primera es el preproceso donde se leen las condiciones iniciales o de frontera, se definen las variables hidráulicas y se realiza un cálculo de calentamiento con un gasto base calculados en el flujo permanente gradualmente variado. La segunda o proceso consiste en calcular las variables hidráulicas dentro del cauce como son los perfiles del flujo, áreas, gasto, velocidades con respecto al tiempo. La tercera o posproceso permite ver en forma gráfica los hidrogramas de entrada al sistema de ríos, mostrando el avance de cálculo de los mismos; los perfiles del fondo; bordos del cauce y del flujo; las secciones transversales con su correspondiente nivel de superficie libre; las secciones en planta que tienen derrames; y en forma tabular, para cada sección el cadenamamiento, elevación del fondo del cauce, bordos, superficie libre del agua, tirantes, áreas, velocidades, gastos de entrada al cauce, gastos de derrame derecho e izquierdo.

El modelo matemático descrito considera como flujo unidimensional al movimiento del agua en el cauce natural y se limita al flujo en cauces y a volúmenes de control constantes en el espacio, en los que sólo se modifica el tirante hidráulico. El modelo matemático resuelve las ecuaciones de continuidad y conservación de la cantidad de movimiento utilizando diferencias finitas en su forma implícita:

$$\frac{\partial(AV)}{\partial x} = B \frac{\partial Y}{\partial t} \quad (24)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial x} = - \left[\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + S_f \right] \quad (25)$$

donde:

- Y elevación de la superficie del agua respecto a un plano horizontal de referencia (suma del tirante más la cota de plantilla) en m
- A área hidráulica en m²
- V velocidad media en m·s⁻¹
- B ancho de la superficie libre en m
- g aceleración de la gravedad en m·s⁻²
- S_f pendiente de la línea de energía adimensional
- x distancia longitudinal en m
- t tiempo en s

Para representar en diferencias finitas a la ec. 25 se toman en cuenta los volúmenes de control, según la figura 3.4.

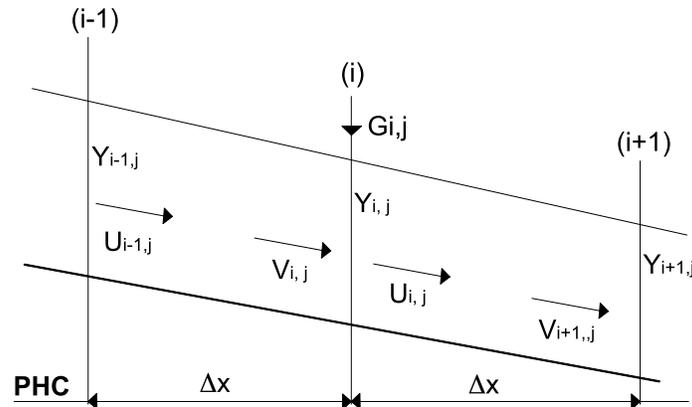


Figura 3.4 Secciones a lo largo del cauce en diferencias finitas

Debido a que las elevaciones y velocidades varían con el tiempo y la posición, los distintos términos de las ecuaciones de continuidad y conservación de la cantidad de movimiento en su forma implícita, se escriben en diferencias finitas como:

$$\frac{\partial Y}{\partial x} \cong \frac{\theta}{\Delta x_j} (Y_{i+1,j+1} - Y_{i,j+1}) + \frac{1-\theta}{\Delta x_j} (Y_{i+1,j} - Y_{i,j}) \quad (26)$$

$$\frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \cong \frac{V_{i+1,j+1} + U_{i,j+1}}{2g\Delta x_j} (V_{i+1,j} - U_{i,j}) \quad (27)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \cong \frac{1}{2g\Delta t} \left[(U_{i,j+1} + V_{i+1,j+1}) - (U_{i,j} + V_{i+1,j}) \right] \quad (28)$$

$$S_f \cong \frac{1}{4} \frac{n^2}{r_{i,j}^{4/3}} |U_{i,j} + V_{i+1,j}| (U_{i,j+1} + V_{i+1,j+1}) \quad (29)$$

$$\frac{\partial(AV)}{\partial x} \cong \frac{A_{i+1,j}V_{i+1,j+1} - A_{i,j}U_{i,j+1}}{\Delta x_j} \quad (30)$$

$$B \frac{\partial Y}{\partial t} \cong \frac{B_{i+1,j} + B_{i,j}}{4\Delta x_j} \left[(Y_{i+1,j+1} + Y_{i,j+1}) - (Y_{i+1,j} + Y_{i,j}) \right] \quad (31)$$

Donde θ , es un factor de peso que sirve para calcular promedios ponderados en el tiempo con la finalidad de mejorar la aproximación de las derivadas temporales. Sustituyendo estas, se obtiene:

$$A_{i,j}U_{i,j+1} - A_{i+1,j}V_{i+1,j+1} = F_{i,j} (Y_{i+1,j+1} + Y_{i,j+1} - Y_{i+1,j} - Y_{i,j}) \quad (32)$$

$$C_{i,j}U_{i,j+1} - C_{i,j}V_{i+1,j+1} = Y_{i+1,j+1} - Y_{i,j+1} + D_{i,j} \quad (33)$$

donde:

$$F_{i,j} = \frac{\Delta x_j}{4\Delta t} (B_{i+1,j} + B_{i,j}) \quad (34)$$

$$C_{i,j} = \frac{U_{i,j} - V_{i+1,j}}{2g\theta} - \frac{\Delta x_j}{2g\theta\Delta t} - \frac{\Delta x_j}{4\theta} \frac{n^2}{r_{i,j}^{4/3}} |U_{i,j} + V_{i+1,j}| \quad (35)$$

$$D_{i,j} = \frac{1-\theta}{\theta} (Y_{i+1,j} - Y_{i,j}) - \frac{\Delta x_j}{2g\theta\Delta t} (U_{i,j} + V_{i,j}) \quad (36)$$

Así, se forman un sistema lineal no homogéneo en $U_{i,j+1}$ y $V_{i+1,j+1}$ cuya solución se escribe como:

$$U_{i,j+1} = P_{i,j}Y_{i+1,j+1} + Q_{i,j}Y_{i,j+1} + R_{i,j} \quad (37)$$

$$V_{i,j+1} = S_{i,j}Y_{i+1,j+1} + T_{i,j}Y_{i,j+1} + W_{i,j} \quad (38)$$

En estas expresiones:

$$P_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{A_{i,j} + A_{i+1,j}} + \frac{A_{i+1}}{C_{i,j}(A_{i,j} + A_{i+1,j})} \quad (39)$$

$$Q_{i,j} = \frac{F_{i,j}}{A_{i,j} + A_{i+1,j}} + \frac{A_{i+1,j}}{C_{i,j}(A_{i,j} + A_{i+1,j})} \quad (40)$$

$$R_{i,j} = \frac{D_{i,j}A_{i+1,j}}{C_{i,j} + (A_{i,j} + A_{i+1,j})} - \frac{F_{i,j}(Y_{i+1,j} + Y_{i,j})}{(A_{i,j} + A_{i+1,j})} \quad (41)$$

$$S_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{C_{i,j}(A_{i,j} + A_{i+1,j})} - \frac{F_{i,j}}{(A_{i,j} + A_{i+1,j})} \quad (42)$$

$$T_{i,j} = \frac{A_{i,j}}{C_{i,j}A_{i,j} + A_{i+1,j}} + \frac{F_{i,j}}{A_{i,j} + A_{i+1,j}} \quad (43)$$

$$W_{i,j} = \frac{D_{i,j}A_{i+1,j}}{C_{i,j} + (A_{i,j} + A_{i+1,j})} + \frac{F_{i,j}(Y_{i+1,j} + Y_{i,j})}{(A_{i,j} + A_{i+1,j})} \quad (44)$$

Cuando la relación de continuidad se establece en la sección i (figura 3.4), se obtiene:

$$A_{i,j}U_{i,j+1} + \theta G_{i,j+1} + (1-\theta)G_{i,j} = A_{i,j}V_{i+1,j+1} \quad (45)$$

Sustituyendo las ecuaciones, se obtiene:

$$T_{i-j}Y_{i,j-1} + (Q_{i,j} - S_{i-1,j})Y_{i,j+1} + P_{i,j}Y_{i+1,j+1} = W_{i-1,j} - R_{i,j} + \frac{1}{A_{i,j}}(\theta G_{i,j+1} + (1-\theta)G_{i,j}) \quad (46)$$

Esta ecuación se plantea en las secciones intermedias, pero cuando el flujo es subcrítico, se requiere una ecuación adicional en cada uno de los extremos del río.

La ec. 46 junto con las de las secciones correspondientes a sus extremos, forman un sistema de ecuaciones lineales tridiagonal, cuyas incógnitas son las elevaciones Y_i en la etapa de cálculo $j+1$. Una vez obtenidas las elevaciones, las velocidades de llegada $V_{i,j+1}$ y de partida $U_{i,j+1}$, se calculan con las ecuaciones descritas.

En las secciones inicial y final deben fijarse las condiciones de frontera, las cuales se determinan de acuerdo con el problema en estudio. Por ejemplo, para el caso particular de flujo subcrítico la condición de frontera aguas arriba se obtiene de la manera siguiente:

En la primera sección $i = 1$, se propone como condición que el gasto de ingreso es conocido de modo que el gasto G_1 promedio es igual al de salida $A_{1,j}U_{1,j+1}$, esto es:

$$Q_{i,j}Y_{1,j} + P_{i,j}Y_{1,j} = -R_{1,j} + \frac{1}{A_{i,j}} \left[(\theta G_{i,j+1} + (1-\theta)G_{i,j}) \right] \quad (47)$$

Como condición de frontera aguas abajo, se considera que la elevación de la superficie libre del agua conocida es Y_{f1} , por lo que las velocidades del último tramo son las siguientes:

$$U_{M-1,j+1} = P_{M-1,j}Y_F + Q_{M-1,j}Y_{M-1,j} + R_{M-1,j} \quad (48)$$

$$V_{M-1,j+1} = S_{M-2,j}Y_{M-1,j+1} - T_{M-2,j}Y_{M-2,j+1} + W_{M-2,j} \quad (49)$$

Ahora bien sí se propone la ecuación de continuidad en la penúltima sección $i = M - 1$ se tiene:

$$3T_{M-2,j}Y_{M-2,j+1} + (Q_{M-1,j} - S_{Mi-2,j})Y_{Mi-1,j} = W_{M-2,j} - R_{M-1,j} - \frac{1}{A_{M-1}} \left[\theta G_{M-1,j+1} + (1-\theta)G_{M-1,j} \right] - P_{M-1,j}Y_F \quad (50)$$

Para asegurar que la descarga de esta sección sea con una elevación del agua mayor o igual a la mínima (la asociada al tirante crítico y_{cj} para el instante j), se emplea la ecuación siguiente:

$$\frac{A_{cj}}{B_{cj}} = \frac{V_{Mj}}{g} \quad (51)$$

donde:

- A_{cj} área correspondiente al tirante crítico en m^2
- B_{cj} ancho de la superficie libre correspondiente al tirante crítico en m
- V_{mj} velocidad de entrada en la sección M para el instante j en $m \cdot s$

Y_F , queda definido de la siguiente manera:

$$Y_F = \begin{cases} y_f + Z_F, & \text{sí } Y_F > y_{cj} \\ y_{cj} + Z_F, & \text{sí } Y_F \leq y_{cj} \end{cases} \quad (52)$$

donde:

- Z_F elevación del fondo de la sección $i = M$ en m

Y_F es el tirante conocido de la sección en m

El procedimiento de cálculo aquí descrito se aplica en el modelo matemático desarrollado por el IIUNAM y sirve para determinar los volúmenes de desbordamiento a partir de los hidrogramas en las secciones transversales del cauce.

Las velocidades de la modelación matemática, se presentan en la siguiente tabla, correspondiente a sitios específicos seleccionados para cada cauce. En la Tabla 3.1 se presentan los resultados para los cauces de la zona conurbada, cuyos sitios de análisis se presentan en la figura 3.5

Tabla 3.1 Valores de velocidades resultantes para diferentes horas de simulación en sitios específicos de la zona conurbada.

Punto	CAUCE	TR 2 AÑOS			TR 10 AÑOS			TR 50 AÑOS		
		V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h
1	PONIENTE	0.022	0.029	1.11	0.027	0.035	1.363	0.085	1.717	1.869
2	EL TREJO	0.048	0.067	0.068	0.083	0.081	0.251	0.196	0.097	0.467
3	PEREYRA	0.258	0.038	0.048	0.018	0.014	0.025	0.012	0.106	0.113
4	PEREYRA	0.053	0.031	0.059	0.449	0.094	0.084	0.467	0.266	0.15
5	PEREYRA	0.07	0.529	0.562	0.093	0.654	0.698	1.373	0.949	0.918
6	PEREYRA	0.115	1.449	1.535	0.168	1.777	1.848	0.333	3.347	2.582
7	PEREYRA	0.031	1.171	1.215	0.042	1.409	1.475	0.12	2.175	2.047
8	PEREYRA	0.062	0.312	0.375	0.058	0.405	0.43	0.06	0.692	0.689
9	PEREYRA	0.03	0.034	0.113	0.006	0.504	0.274	0.007	0.488	0.309
10	PEREYRA	0.075	0.108	0.087	0.092	0.121	0.104	0.129	0.151	0.123
11	COLIMA	0.173	0.936	0.659	0.19	0.738	0.832	0.516	1.12	1.18
12	COLIMA	1.07	0.527	0.414	1.305	0.67	0.524	1.755	0.894	0.727
13	COLIMA	0.151	0.076	0.029	0.375	0.126	0.043	0.362	0.223	0.09
14	COLIMA	0.068	0.201	0.288	0.658	0.392	0.25	0.06	0.531	0.411
15	COLIMA	0	0.211	0.095	0	0.339	0.246	0.968	0.604	0.602
16	COLIMA	0.059	1.264	1.187	0.095	1.52	1.563	0.163	2.207	2.262
17	COLIMA	0.101	1.727	1.538	0.066	2.364	1.632	0.171	1.966	2.192
18	COLIMA	0.051	0.061	0.062	0.064	0.086	0.075	0.092	0.119	0.1
19	MANRIQUE	0.056	0.002	0.003	0.051	0.009	0.001	0.095	0.015	0.004
20	MANRIQUE	0.044	0.128	0.834	0.126	1.352	1.169	0.174	1.548	1.81
21	MANRIQUE	0.045	0.234	0.391	0.059	0.594	0.567	0.135	0.887	0.795
22	MANRIQUE	0.008	0.216	0.433	0.01	0.474	0.517	0.017	0.794	0.737
23	MANRIQUE	0.057	0.092	0.741	0.074	0.936	1.004	0.116	1.383	1.511
24	TECOLOTERO	0.029	0.226	0.648	0.04	0.398	1.237	0.07	1.407	1.624
25	VOLCANES	0.085	0.355	0.737	0.117	0.777	0.918	0.198	1.213	1.233
26	VOLCANES	0.169	0.449	1.258	0.249	0.297	1.526	0.442	1.952	1.967
27	JAZMÍN	0.068	0.454	0.42	0.216	0.683	0.476	1.086	0.703	0.689
28	GRULLAS	1.404	0.605	0.213	1.706	0.726	0.387	2.282	0.99	0.506

En la tabla anterior se presentan las velocidades resultantes del modelo de flujo para diferentes periodos de retorno y para diferentes horas de simulación. En ella se aprecian velocidades diferentes, haciéndose énfasis en los valores máximos, que en el caso del río Colima llega a ser hasta de 2.3 m/s. Con estos valores se generarán los criterios para el manejo integral de los cauces urbanos.

En las tablas 3.2, 3.3 y 3.4 se presentan los valores de velocidad para Comala, Coquimatlán y Cuauhtémoc. Del mismo modo se presentan los sitios de interés seleccionados para dichas localidades en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8.

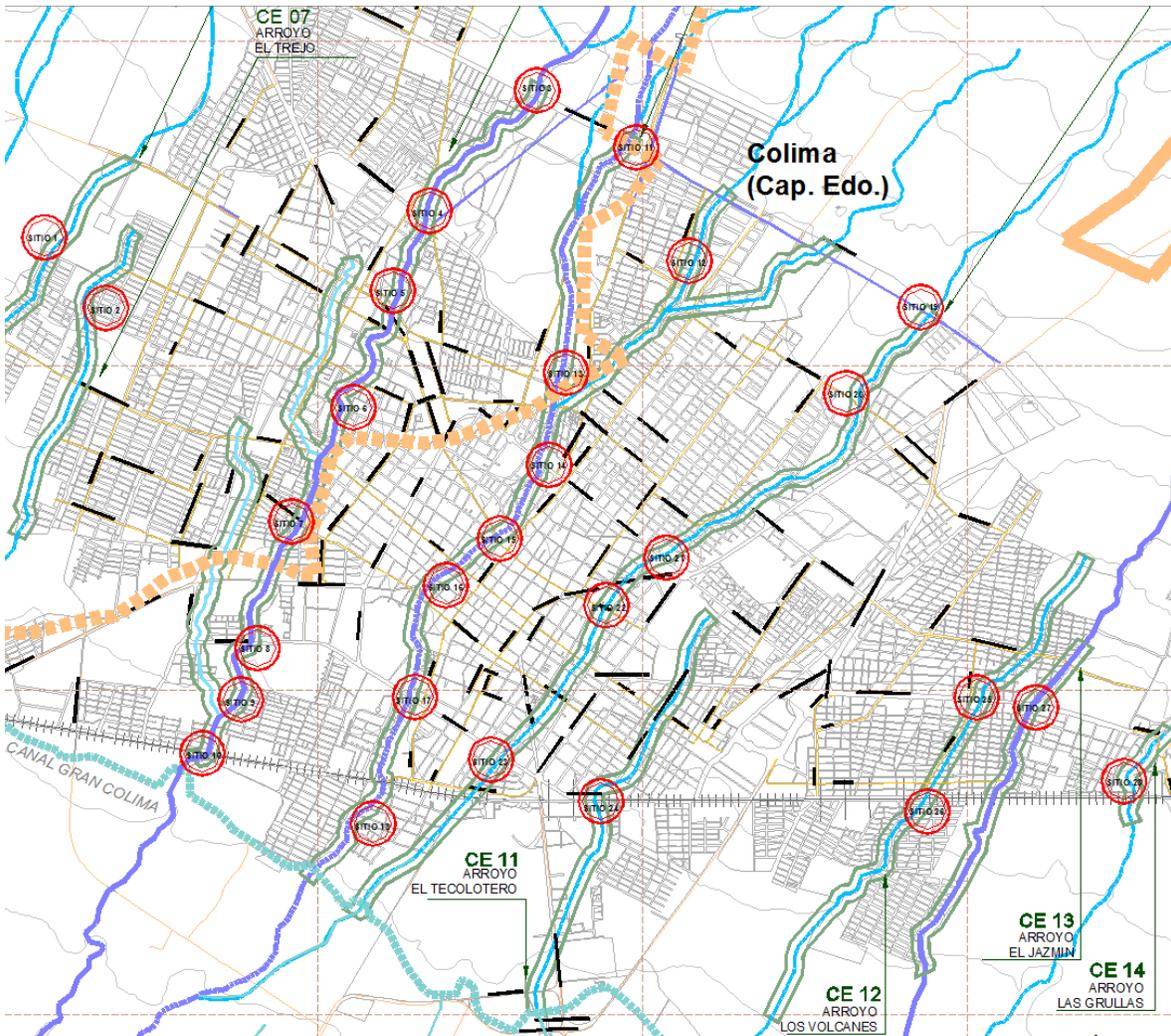


Figura 3.5 Ubicación de sitios de interés en los que se han determinado velocidades de flujo, zona conurbada

Tabla 3.2 Velocidades resultantes, Comala

Punto	CAUCE	TR 2 AÑOS			TR 10 AÑOS			TR 50 AÑOS		
		V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h
1	SAN JUAN	1.983	0.539	0.584	2.49	1.219	0.566	3.131	1.575	1.066
2	SUCHITLÁN	1.089	0.579	0.447	1.409	0.706	0.563	1.902	1.02	0.758
3	TÍA BARRAGANA	1.35	0.373	0.148	2.256	0.984	0.04	1.984	0.349	0.309

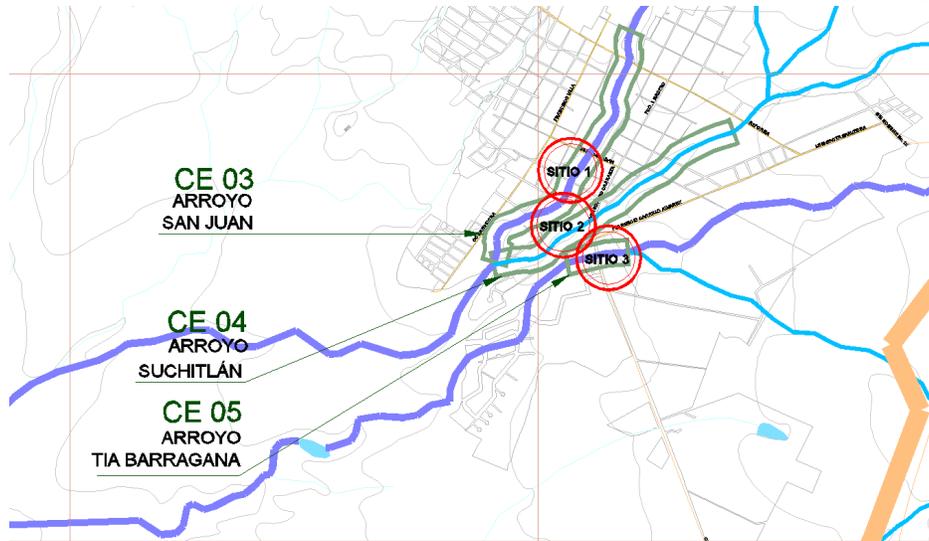


Figura 3.6 Ubicación de sitios de interés en los que se han determinado velocidades de flujo, Comala

Tabla 3.3 Velocidades resultantes, Coquimatlán

Punto	CAUCE	TR 2 AÑOS			TR 10 AÑOS			TR 50 AÑOS		
		V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h
1	EL SECO	0.108	0.009	0.022	0.232	0.025	0.007	0.315	0.024	0.003
2	EL SECO	0.037	0.795	0.664	0.057	1.043	0.835	1.868	1.269	1.131
3	LOS LIMONES	0.73	0.573	0.093	1.191	0.606	0.128	1.497	0.339	0.213
4	LOS LIMONES	0.016	0.477	0.217	0.849	0.591	0.279	1.057	0.456	0.383
5	LOS LIMONES	0.083	0.065	0.032	0.105	0.208	0.047	1.597	0.22	0.137

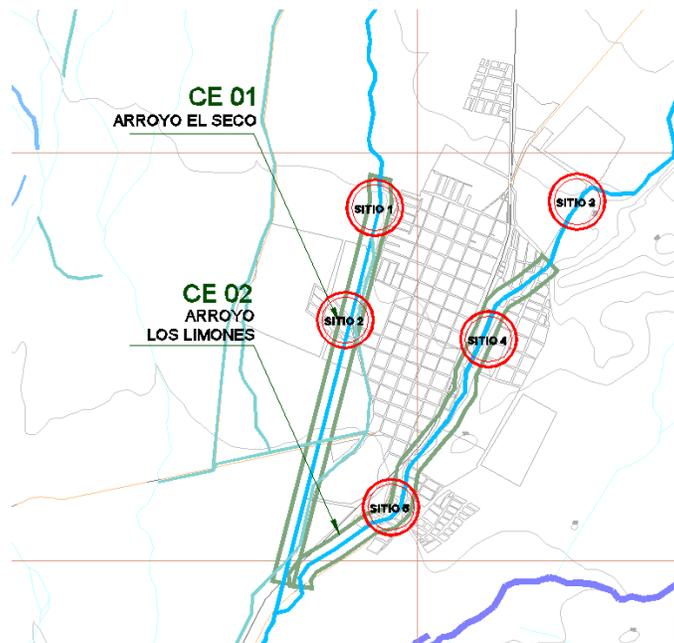


Figura 3.7 Ubicación de sitios de interés en los que se han determinado velocidades de flujo, Coquimatlán

Tabla 3.4 Velocidades resultantes, Cuauhtémoc

Punto	CAUCE	TR 2 AÑOS			TR 10 AÑOS			TR 50 AÑOS		
		V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h	V, m/s, 3 h	V, m/s, 6 h	V, m/s, 11 h
1	LOS CANELOS	1.16	0.499	0.372	1.549	0.509	0.584	1.845	0.669	0.794
2	GUMERSINDA	1.267	0.571	0.44	1.682	0.629	0.513	1.949	0.833	0.699
3	LA PRIMAVERA	0.862	0.747	0.238	1.814	0.563	0.282	2.169	0.549	0.373

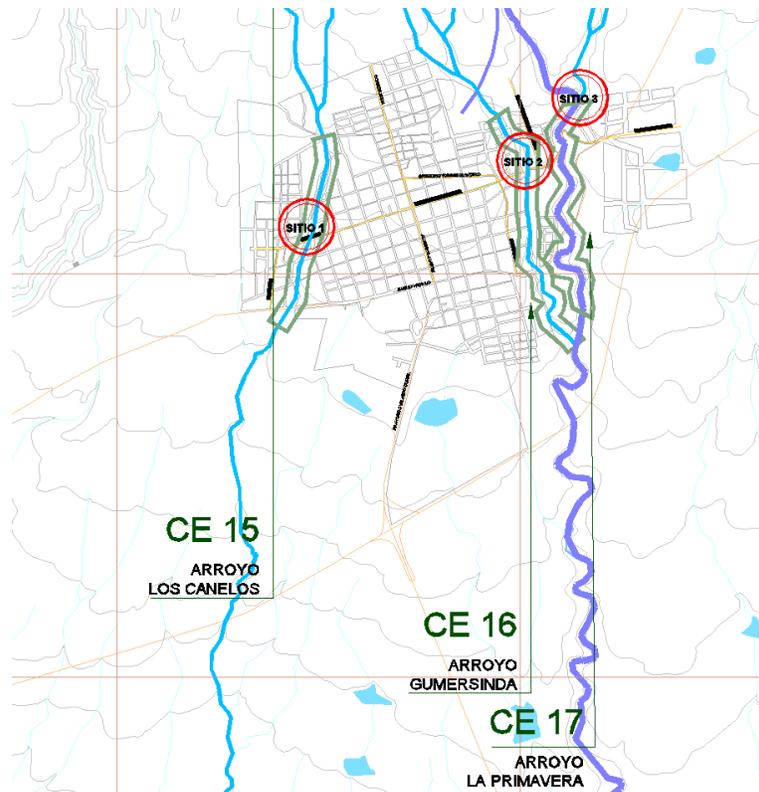


Figura 3.8 Ubicación de sitios de interés en los que se han determinado velocidades de flujo, Cuauhtémoc

3.4 MODELACIÓN MATEMÁTICA EN LLANURAS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE HIDROGRAMAS DE DESBORDAMIENTO

Para determinar las áreas de inundación, profundidades, velocidades y direcciones del flujo, se presenta un modelo numérico que permite obtenerlos, y a partir de ello, elaborar mapas de inundación.

El modelo numérico desarrollado en el Instituto de Ingeniería, hace la simulación numérica de inundaciones provocadas por avenidas en planicies; por lo que fue aplicado en este estudio.

El carácter dinámico de las inundaciones hace necesario emplear modelos matemáticos que, por lo menos, incluyan ecuaciones de flujo en dos dimensiones (Fuentes, et al 1997), a través de las ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento (ecs. 53 y 54) y ecuación de continuidad (ec. 55).

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{n^2 |u| u}{h^{4/3}} = - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{\partial z}{\partial x} \quad (53)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{n^2 |v| v}{h^{4/3}} = - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\partial z}{\partial y} \quad (54)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} u h + \frac{\partial}{\partial y} v h = 0 \quad (55)$$

Donde:

$S_{fx} = \frac{n^2 u u}{h^{4/3}}$	pendiente de fricción en las direcciones x y y adimensional
$S_{fy} = \frac{n^2 v v}{h^{4/3}}$	
g	aceleración de la gravedad en $m \cdot s^{-2}$
u v	componentes de la velocidad en las direcciones x y y adimensional
h	nivel de la superficie libre del agua con respecto al nivel del terreno en m
n	en $s \cdot m^{-1/3}$
x y z	direcciones del sistemas de ejes cartesiano derecho
t	tiempo en s

Para calcular el flujo en una planicie de inundación se debe resolver el sistema de ecuaciones anterior considerando condiciones iniciales y de frontera. Dado que no existe un método analítico para encontrar la solución, se propone un método numérico de diferencias finitas.

Sea el área de inundación en proyección horizontal dividida en celdas con longitud a lo largo del eje x (Δx) y del eje y (Δy) (figura 3.5).

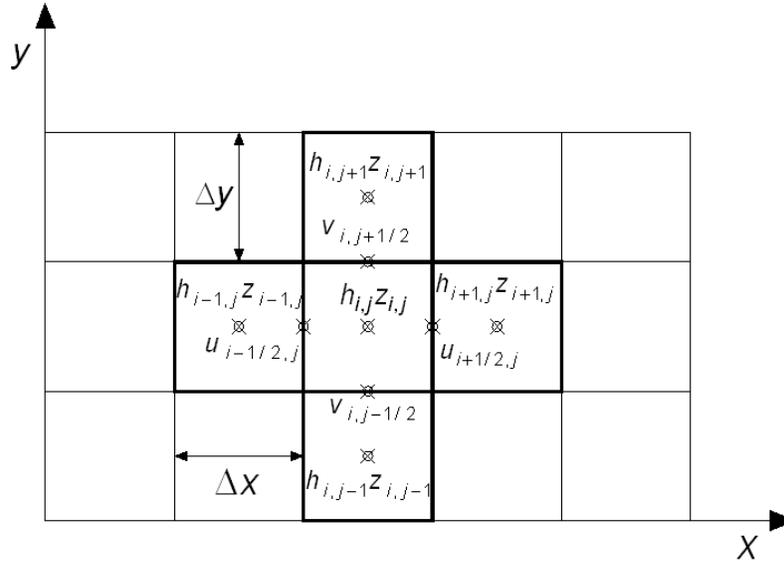


Figura 3.9 Arreglo de celdas considerado en el método numérico para el área de inundación

Ecuaciones de conservación de cantidad de movimiento:

$$|u|u + \alpha \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = -\alpha \left[\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \right] \quad (56)$$

$$|v|v + \alpha \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} = -\alpha \left[\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial z}{\partial y} \right] \quad (57)$$

Donde:

$$\alpha = \frac{h^{4/3}}{n^2} \quad (58)$$

Así, para el componente de la velocidad en dirección del eje x (ec. 59), se puede expresar en diferencias finitas del modo siguiente:

$$|u_{i+1/2,j}^{p+1}|u_{i+1/2,j}^{p+1} + \alpha_{i+1/2,j}^p \frac{u_{i+1/2,j}^{p+1} - u_{i+1/2,j}^p}{g\Delta t} = -\alpha_{i+1/2,j}^p \left[\frac{h_{i+1,j}^p - h_{i,j}^p}{\Delta x} + \frac{z_{i+1,j} - z_{i,j}}{\Delta x} \right] \quad (59)$$

En la ec. 59, i y j son subíndices que se emplean para ubicar en el espacio a las literales de interés (Fig. 5.31) y P es un superíndice que representan el instante en que se considera a dichas literales.

Reescribiendo la ec. 59, se tiene:

$$\left| u_{i+1/2,j}^{p+1} \right| u_{i+1/2,j}^{p+1} + B_x u_{i+1/2,j}^{p+1} + C_x = 0 \quad (60)$$

siendo:

$$B_x = \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{g\Delta t} \quad C_x = \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{\Delta x} \left(h_{i+1,j}^p - h_{i,j}^p + z_{i+1,j} - z_{i,j} \right) - \frac{\alpha_{i+1/2,j}^p}{g\Delta t} u_{i+1/2,j}^p \quad (61)$$

Donde:

$$\alpha_{i+1/2,j}^p = \left(\frac{h_{i+1,j}^p + h_{i,j}^p}{2} \right)^{4/3} \frac{1}{n_{i+1/2,j}^2} \quad \text{y} \quad n_{i+1/2,j} = \frac{n_{i,j} + n_{i+1,j}}{2} \quad (62)$$

Para resolver la ecuación anterior se consideran dos casos:

$$C_x \leq 0$$

La velocidad $u_{i+1/2,j}^{p+1}$ tiene que ser positiva, esto es $\left| u_{i+1/2,j}^{p+1} \right| u_{i+1/2,j}^{p+1} = \left(u_{i+1/2,j}^{p+1} \right)^2$ con lo cual la ecuación queda como una ecuación de segundo grado, cuya solución es:

$$u_{i+1/2,j}^{p+1} = \frac{1}{2} \left(-B_x + \sqrt{B_x^2 - 4C_x} \right) \quad (63)$$

$$C_x > 0$$

La velocidad $u_{i+1/2,j}^{p+1}$ tiene que ser negativa, esto es $\left| -u_{i+1/2,j}^{p+1} \right| - u_{i+1/2,j}^{p+1} = -\left(u_{i+1/2,j}^{p+1} \right)^2$ con lo cual la ecuación 6.9 queda como una ecuación de segundo grado, cuya solución es:

$$u_{i+1/2,j}^{p+1} = \frac{1}{2} \left(B_x - \sqrt{B_x^2 - 4C_x} \right) \quad (64)$$

Siguiendo un razonamiento similar para el componente de la velocidad en dirección del eje y (ec. 61), se tiene:

$$\left| v_{i,j+1/2}^{p+1} \right| v_{i,j+1/2}^{p+1} + B_y v_{i,j+1/2}^{p+1} + C_y = 0 \quad (65)$$

siendo:

$$B_y = \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{g\Delta t}, \quad C_y = \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{\Delta y} \left(h_{i,j+1}^p - h_{i,j}^p + z_{i,j+1} - z_{i,j} \right) - \frac{\beta_{i,j+1/2}^p}{g\Delta t} v_{i,j+1/2}^p \quad (66)$$

Donde:

$$\beta_{i,j+1/2}^p = \left(\frac{h_{i,j+1}^p + h_{i,j}^p}{2} \right)^{4/3} \frac{1}{n_{i,j+1/2}^2} \quad \text{y} \quad n_{i,j+1/2} = \frac{n_{i,j} + n_{i,j+1}}{2} \quad (67)$$

De esta forma para:

$$C_y \leq 0$$

$$v_{i,j+1/2}^{p+1} = \frac{1}{2} \left(-B_y + \sqrt{B_y^2 - 4C_y} \right) \quad (68)$$

$C_y > 0$

$$v_{i,j+1/2}^{p+1} = \frac{1}{2} \left(B_y - \sqrt{B_y^2 - 4C_y} \right) \quad (69)$$

Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad se puede expresar en diferencias finitas del modo siguiente:

$$\frac{h_{i,j}^{p+1} - h_{i,j}^p}{\Delta t} + \frac{u_{i+1/2,j}^{p+1} (h_{i+1,j}^p + h_{i,j}^p) - u_{i-1/2,j}^{p+1} (h_{i,j}^p + h_{i-1,j}^p)}{2\Delta x} + \frac{v_{i,j+1/2}^{p+1} (h_{i,j+1}^p + h_{i,j}^p) - v_{i,j-1/2}^{p+1} (h_{i,j}^p + h_{i,j-1}^p)}{2\Delta y} = 0 \quad (70)$$

Ordenando términos se llega a:

$$h_{i,j}^{p+1} = h_{i,j}^p - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left[u_{i+1/2,j}^{p+1} (h_{i+1,j}^p + h_{i,j}^p) - u_{i-1/2,j}^{p+1} (h_{i,j}^p + h_{i-1,j}^p) \right] - \frac{\Delta t}{2\Delta y} \left[v_{i,j+1/2}^{p+1} (h_{i,j+1}^p + h_{i,j}^p) - v_{i,j-1/2}^{p+1} (h_{i,j}^p + h_{i,j-1}^p) \right] \quad (71)$$

Con las ecuaciones anteriores se obtienen los valores de u , v y h en el tiempo $(p+1)\Delta t$ para las celdas ubicadas en el interior de la zona donde ocurre la inundación.

Condiciones para resolver las ecuaciones

Condiciones iniciales

Para comenzar los cálculos en el modelo matemático en el tiempo inicial t_0 es necesario asignar los valores a las variables u , v y h . En este caso, si la zona adyacente al río está sin agua, a estas variables se les asigna cero, por el otro lado,

cuando existe un cuerpo de agua, estos valores serían diferentes de cero y las profundidades h corresponderían a los tirantes conocidos en dichos cuerpos de agua.

Condiciones de frontera

Se considera que las velocidades en las fronteras izquierda, derecha, superior e inferior son igual a cero.

Hidrograma de entrada

El sitio de entrada del hidrograma puede ser cualquiera de las celdas, para ello se requiere conocer el gasto Q que ingresa a la malla durante cada intervalo Δt . El gasto se considera igual a:

$$Q = qB \quad (72)$$

Donde:

B , es igual a la longitud por donde entra el gasto (Δx o Δy) en m

q , gasto unitario, en $m^3 \cdot s/m$

En las orillas de las celdas donde entra el gasto que produce la inundación se especifica el gasto unitario q .

3.4.1 MODELACIÓN MATEMÁTICA A PARTIR DE HIDROGRAMAS

Como se ha comentado en el capítulo 1 de este documento, los cauces urbanos de estudio cuentan en algunos casos con cuencas naturales de aportación aguas arriba de los mismos. Para ello se ha desarrollado una metodología en la cual utilizando el modelo FLUBIDI, de flujo bidimensional, se generaron mallas de celdas de 25 m por 25 m, los cuales se presentan en los planos D04 y D05 A y B, en el Anexo 7.

En las figuras 3.9 a 3.14 se presentan los resultados relativos a la modelación matemática aplicando el modelo FLUBID del IIUNAM de llanuras de inundación para un periodo de retorno de 100 años, a partir de los hidrogramas estimados en el capítulo 1 y con la topografía procesada y descrita en el presente capítulo.

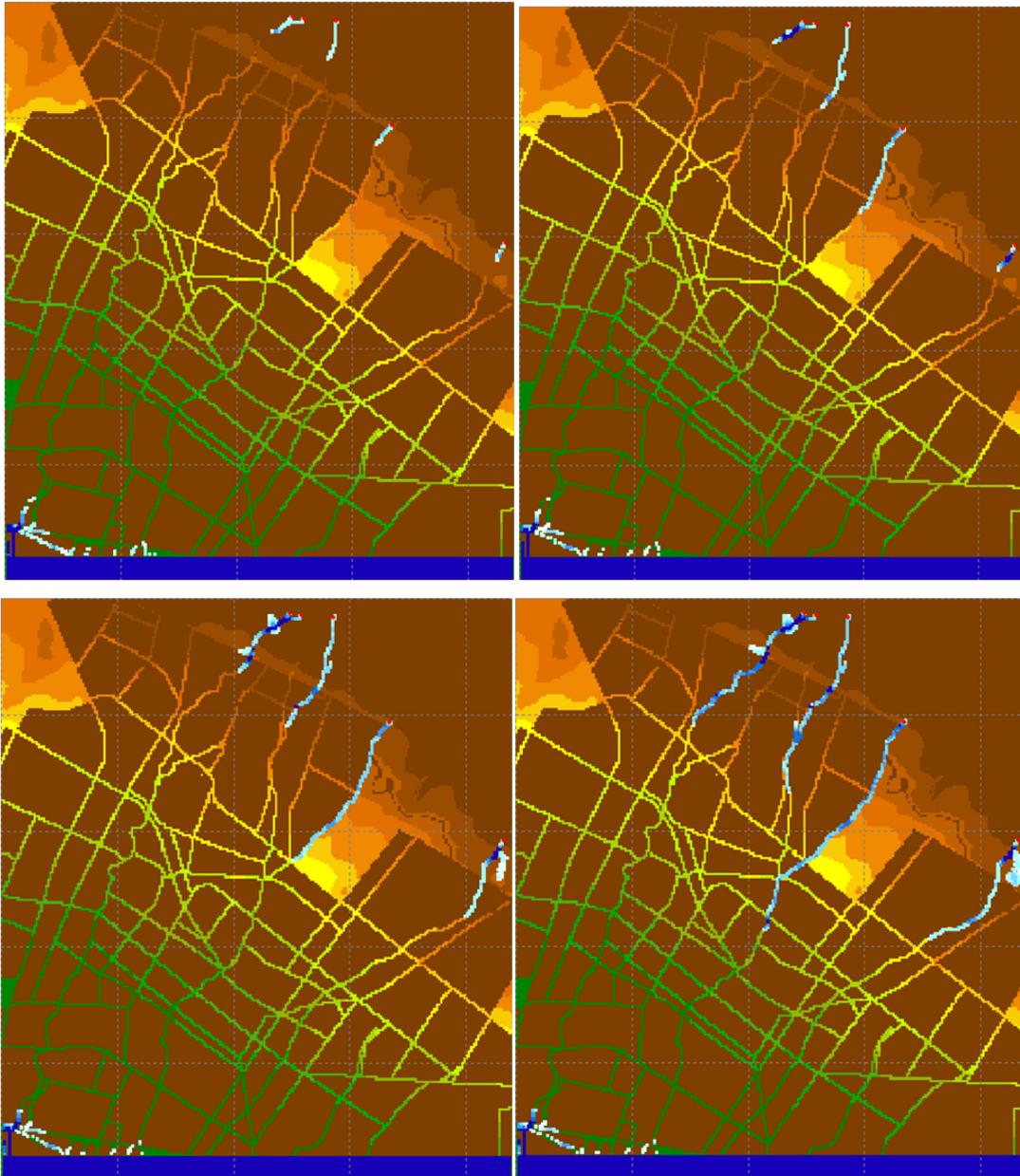


Figura 3.9 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 0 a 15 min

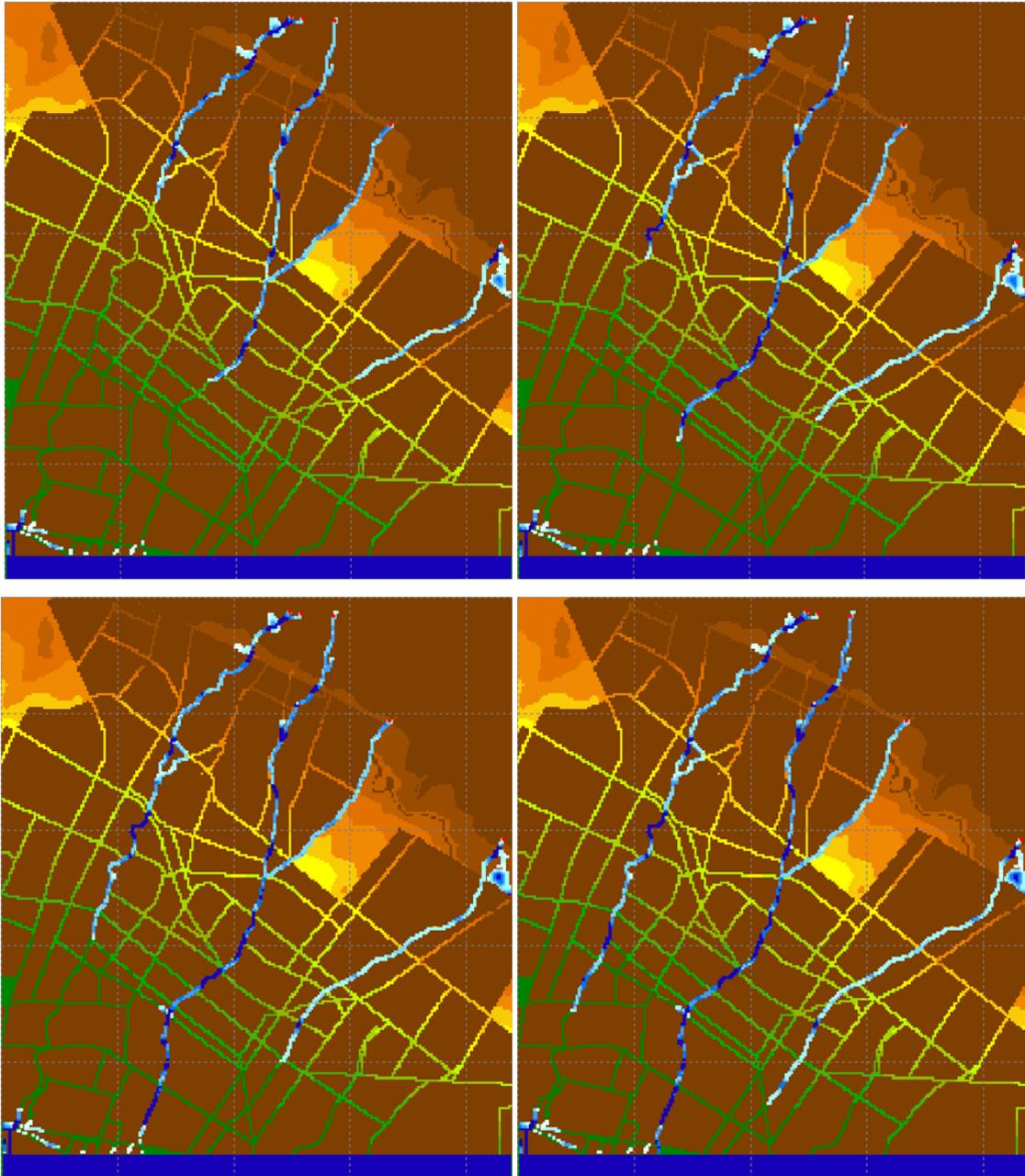


Figura 3.10 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 20 a 35 min

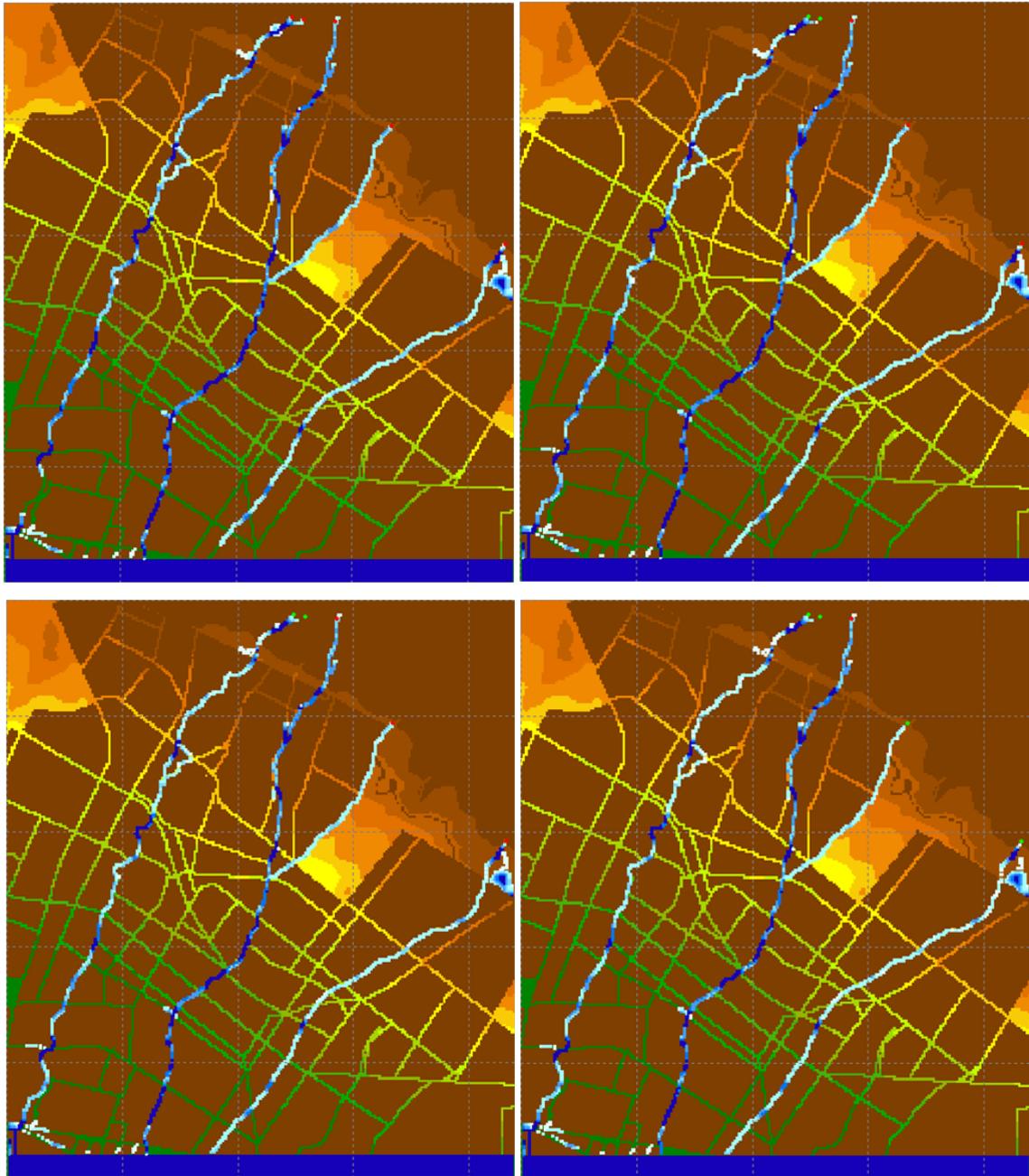


Figura 3.11 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 40 a 55 min

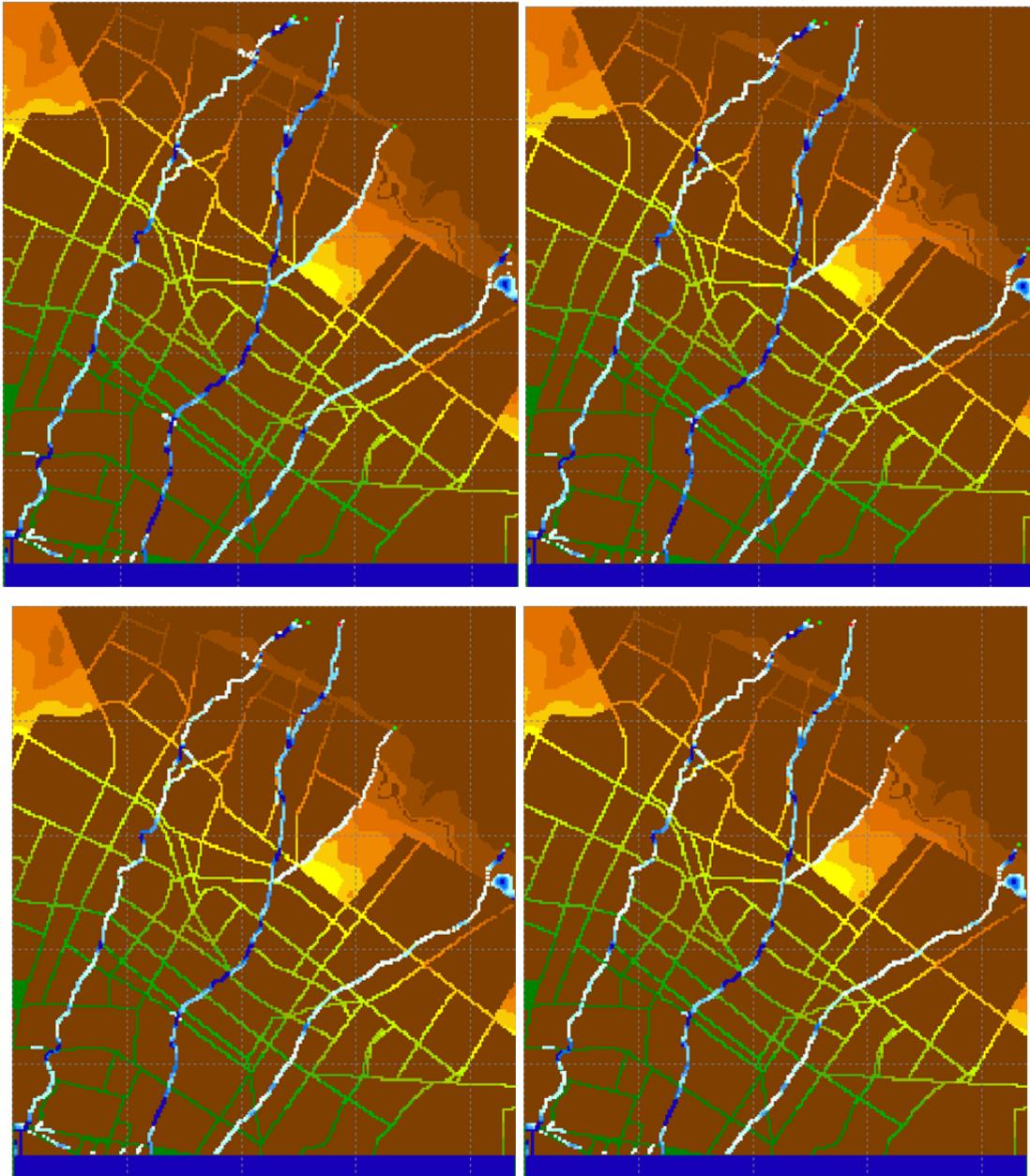


Figura 3.12 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 60 a 75 min

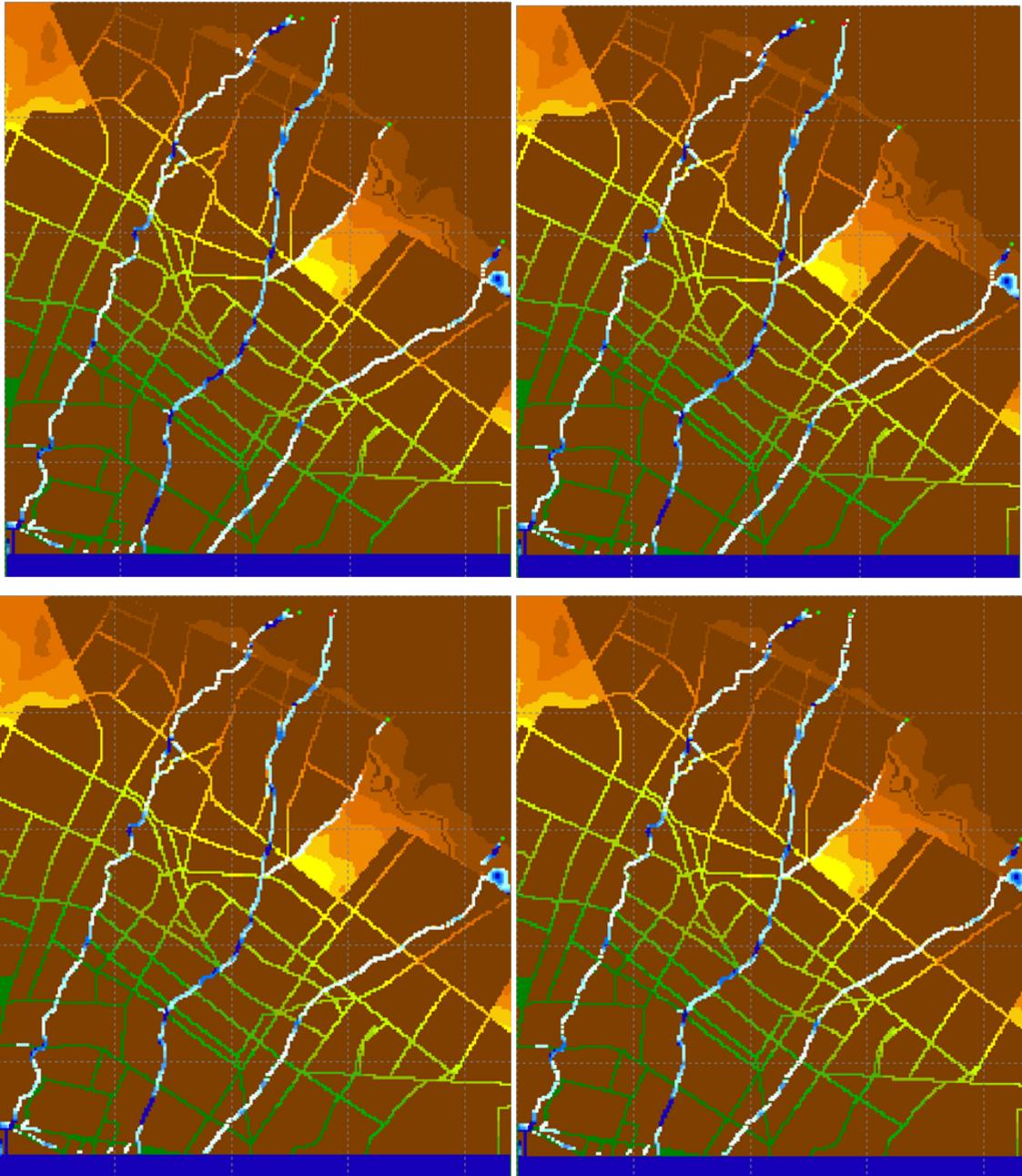


Figura 3.13 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 80 a 95 min

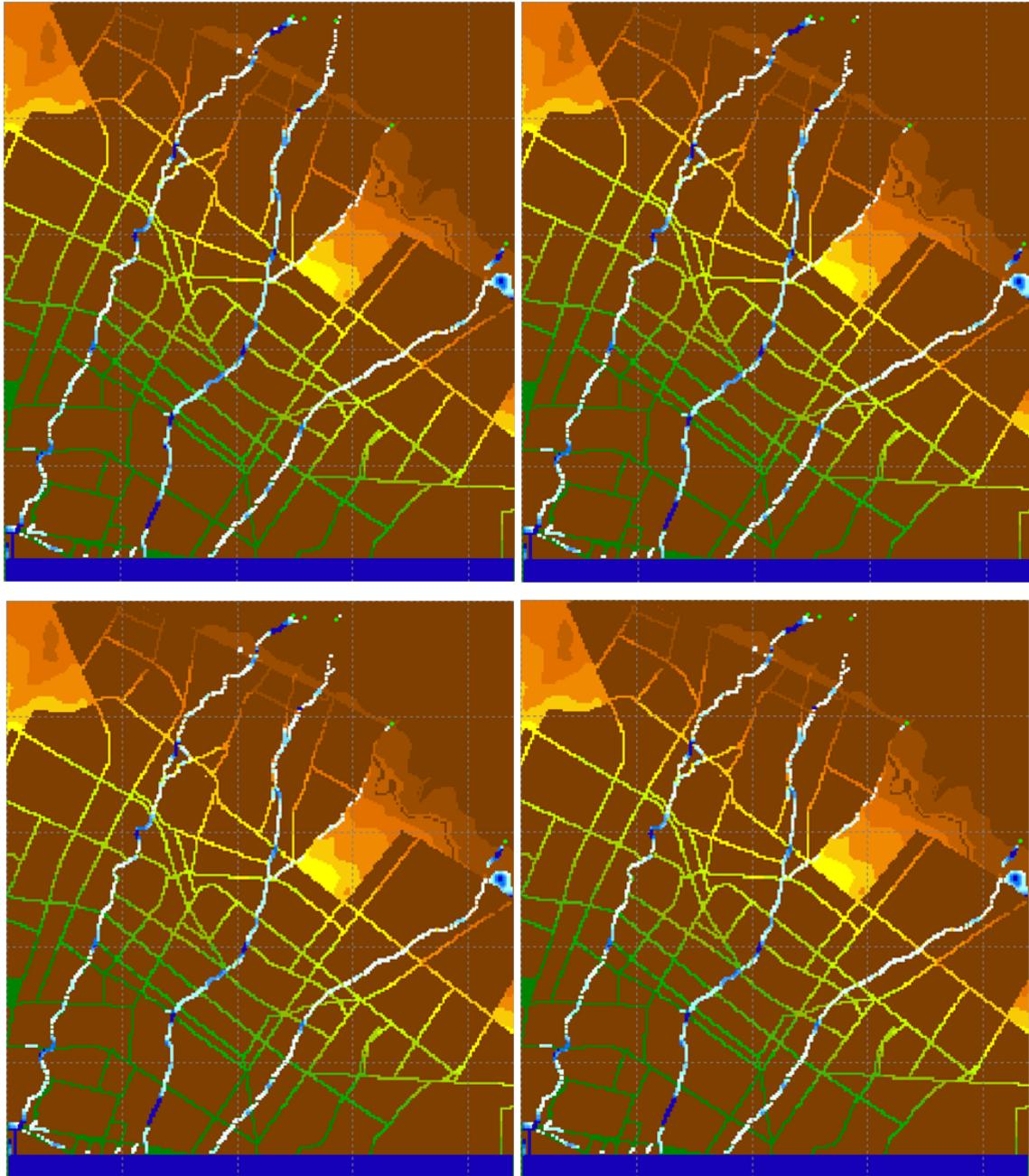


Figura 3.14 Simulación matemática de los cauces de la zona conurbada para un periodo de retorno de 100 años, Tiempos 100 a 115 min

De los resultados anteriores, se observa que para un T_r de 100 años, no se presenta un desbordamiento considerable en las corrientes urbanas de la zona conurbada considerando únicamente el ingreso de un hidrograma aguas arriba de los cauces urbanos.

Sin embargo, según el diagnóstico de infraestructura urbana, correspondiente al capítulo 2, prácticamente no existe una red de drenaje pluvial de tal forma que los escurrimientos pluviales urbanos descargan en los cauces de estudio. Por ello, se ha adecuado dicha condición al proceso de análisis hidráulico.

3.4.2 MODELACIÓN MATEMÁTICA A PARTIR DE HIDROGRAMAS Y LLUVIA EN CUENCA PROPIA

Se ha desarrollado una metodología de cálculo para incluir la precipitación al proceso de análisis de cálculo hidráulico en el modelo FLUBIDI. A manera esquemática, la metodología implica a los componentes de la figura 3.15.

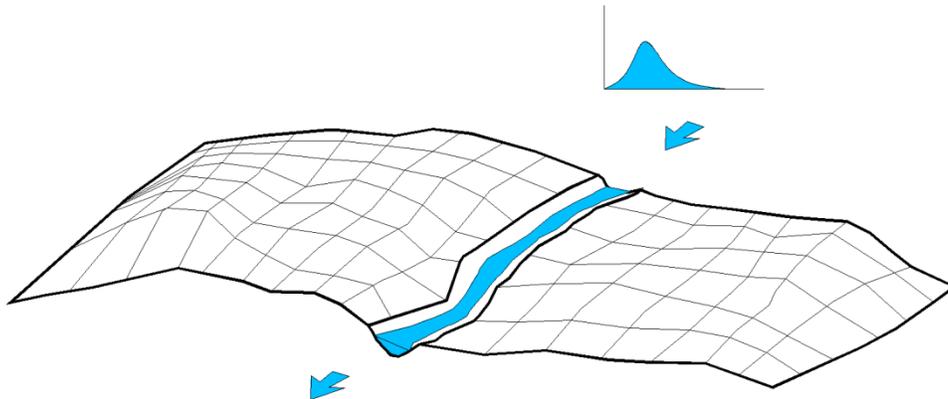


Figura 3.15 Esquema de modelación matemática de flujo bidimensional considerando solo hidrograma de entrada por cuenca natural aguas arriba

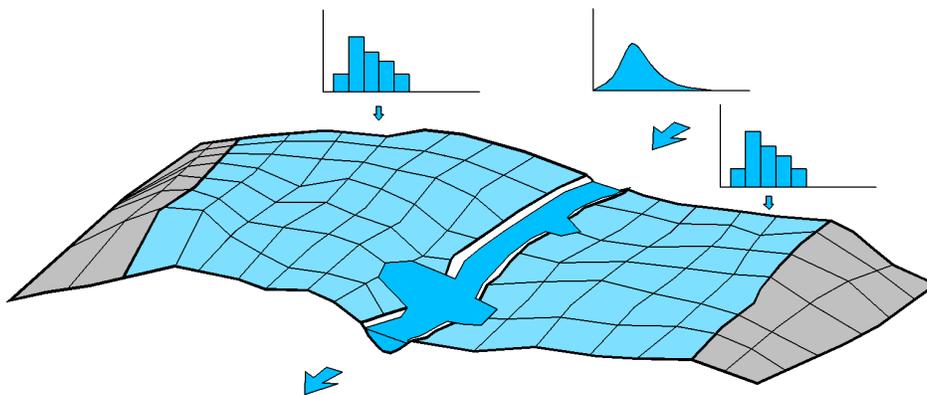


Figura 3.16 Esquema de modelación matemática modificada de flujo bidimensional, considerando hidrograma de entrada por cuenca natural aguas arriba y lluvia en cuenca propia

En las siguientes figuras se presentan los resultados del flujo bidimensional modificado, cuyos insumos son los hidrogramas de diseño y los hietogramas de lluvia.

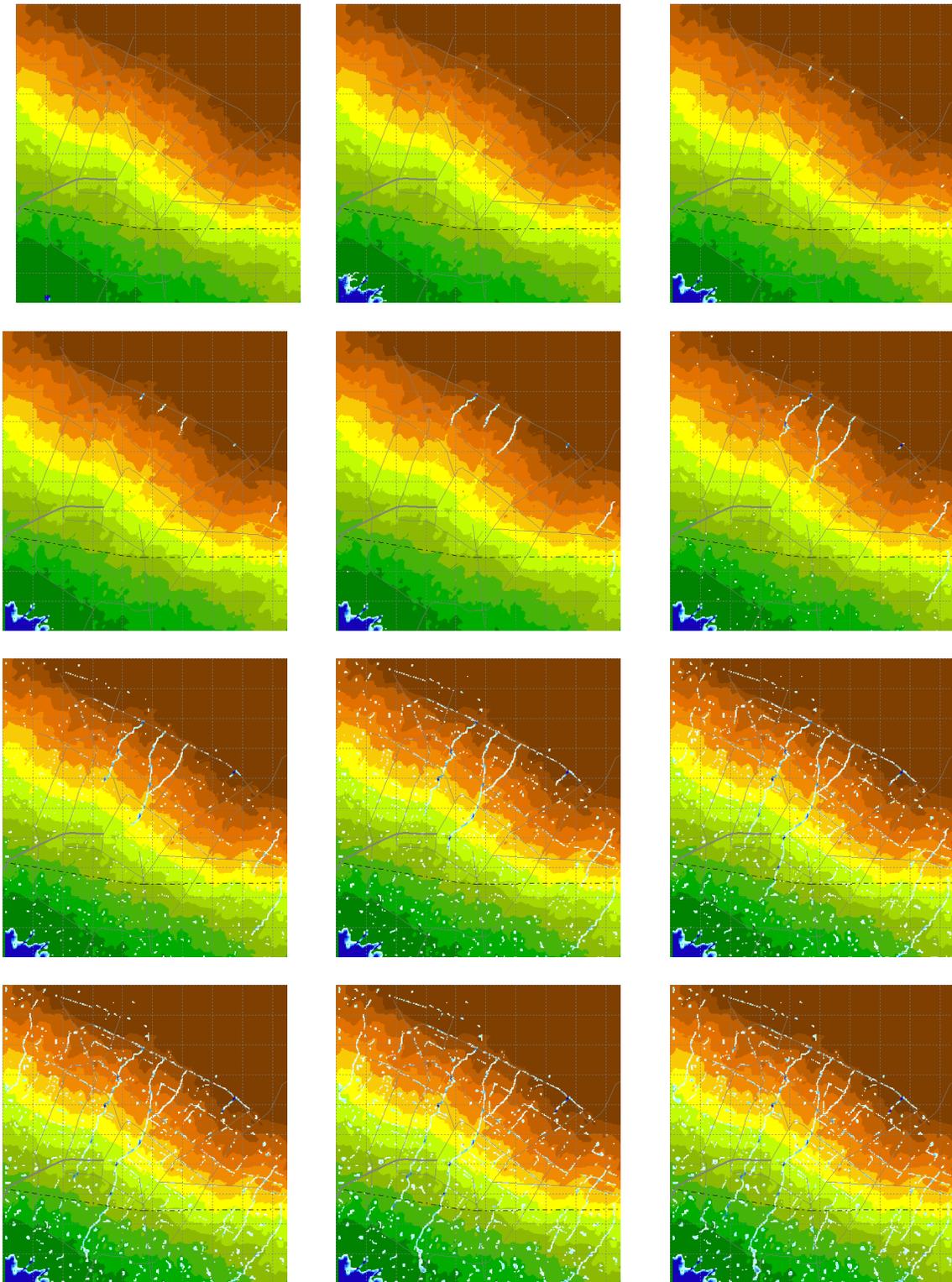


Figura 3.17 Resultados Zona Conurbada Tr 2 años. Primera parte

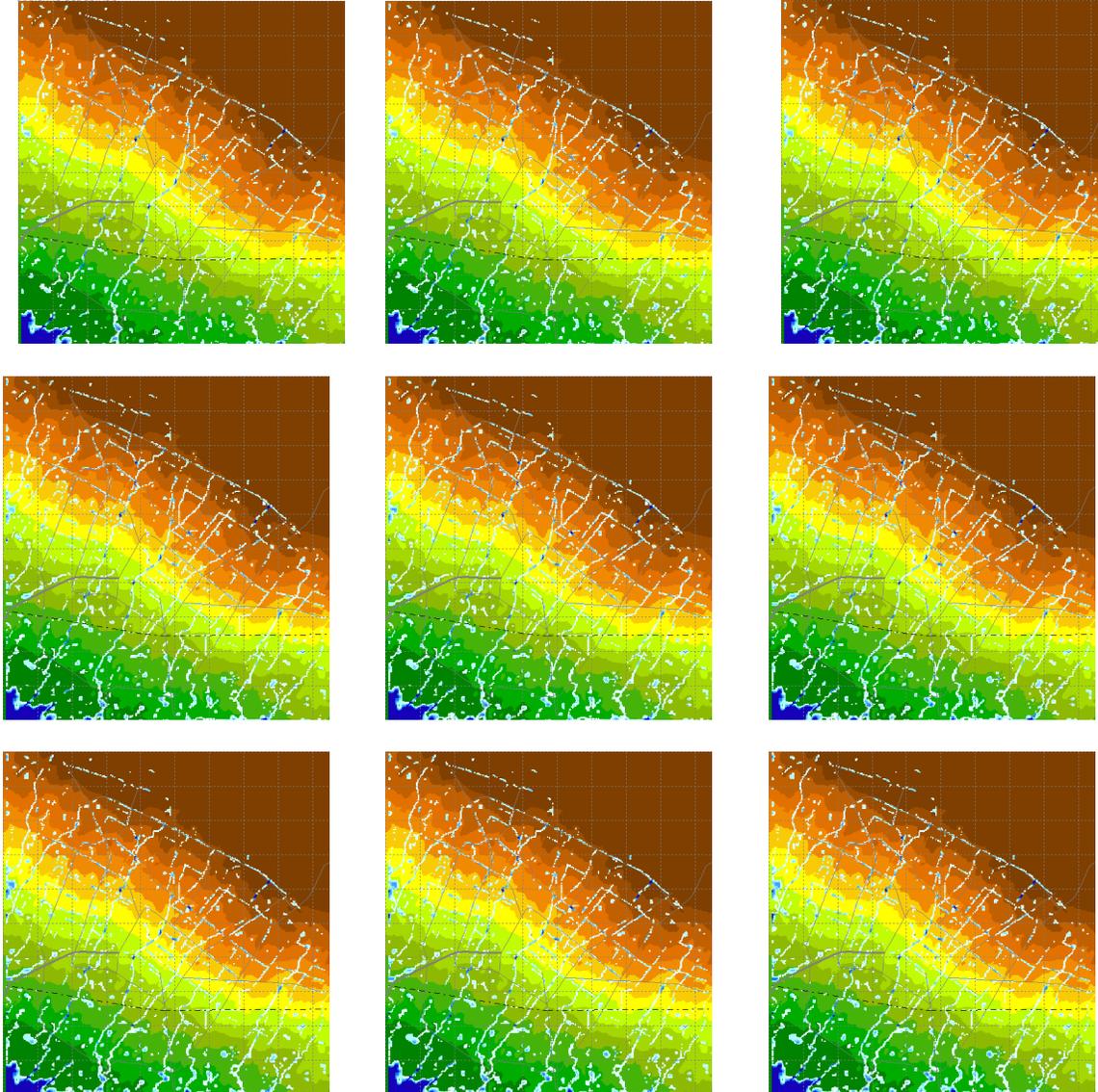


Figura 3.18 Resultados Zona Conurbada Tr 2 años. Segunda parte

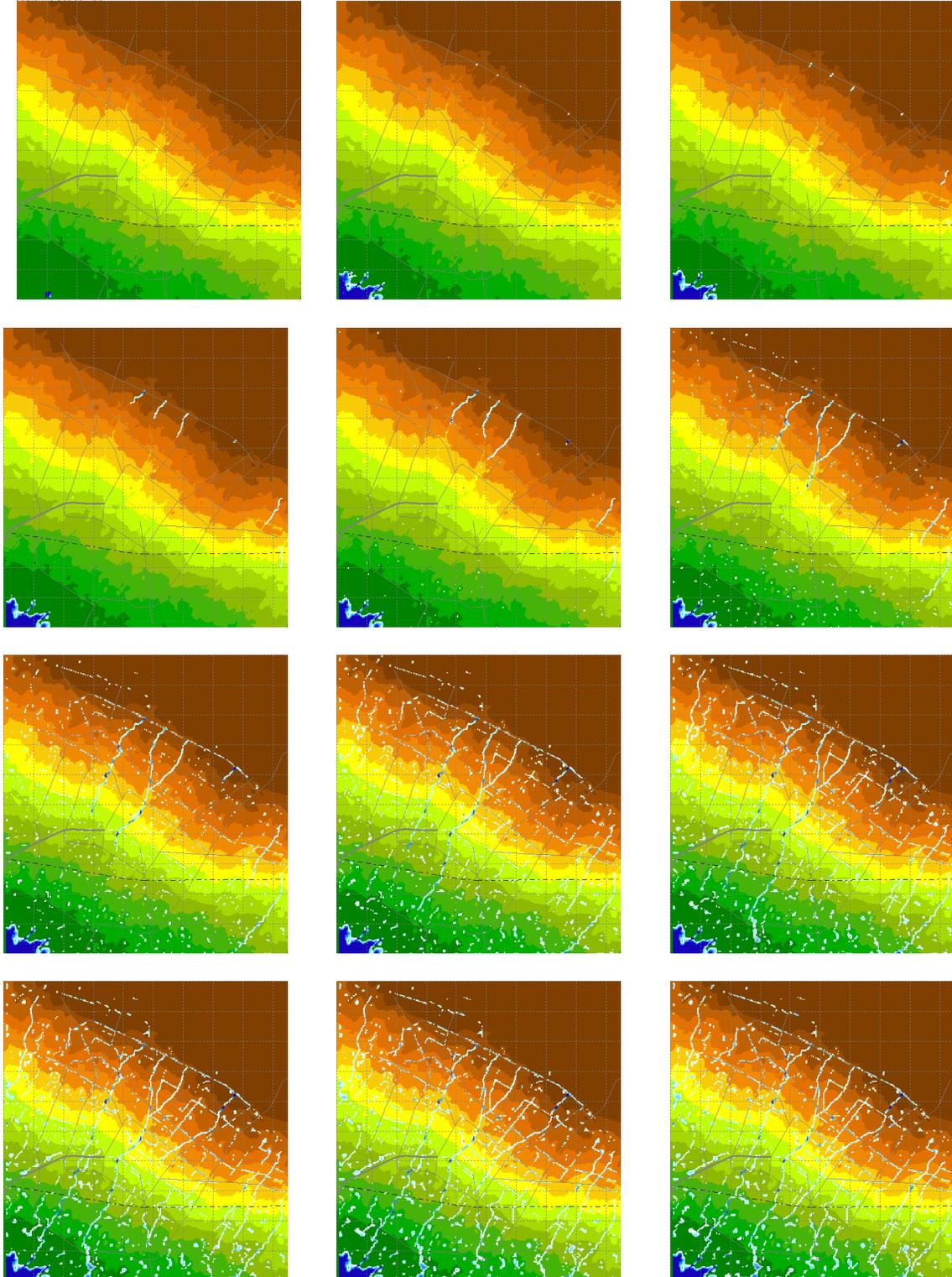


Figura 3.19 Resultados Zona Conurbada Tr 10 años. Primera parte

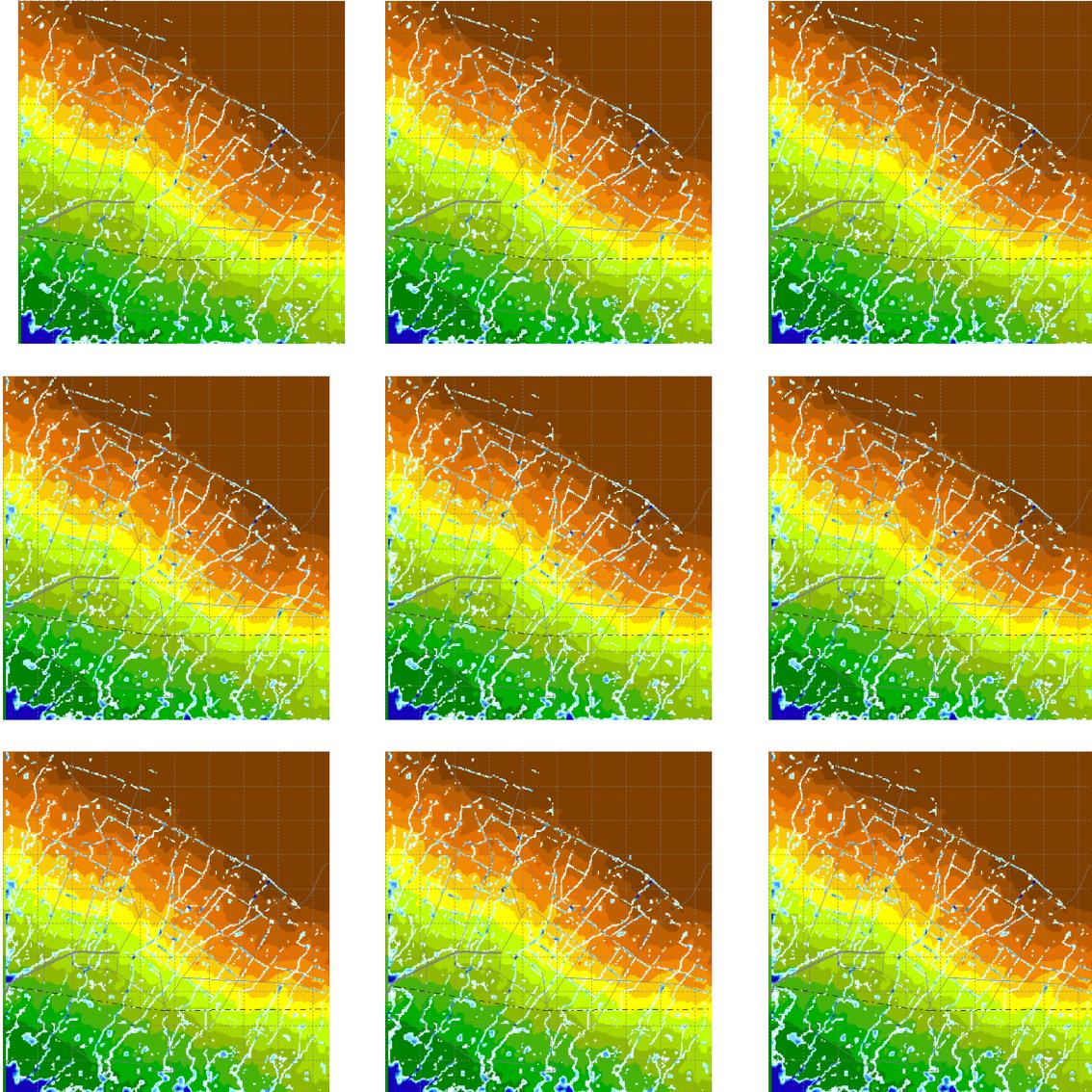


Figura 3.20 Resultados Zona Conurbada Tr 10 años. Segunda parte

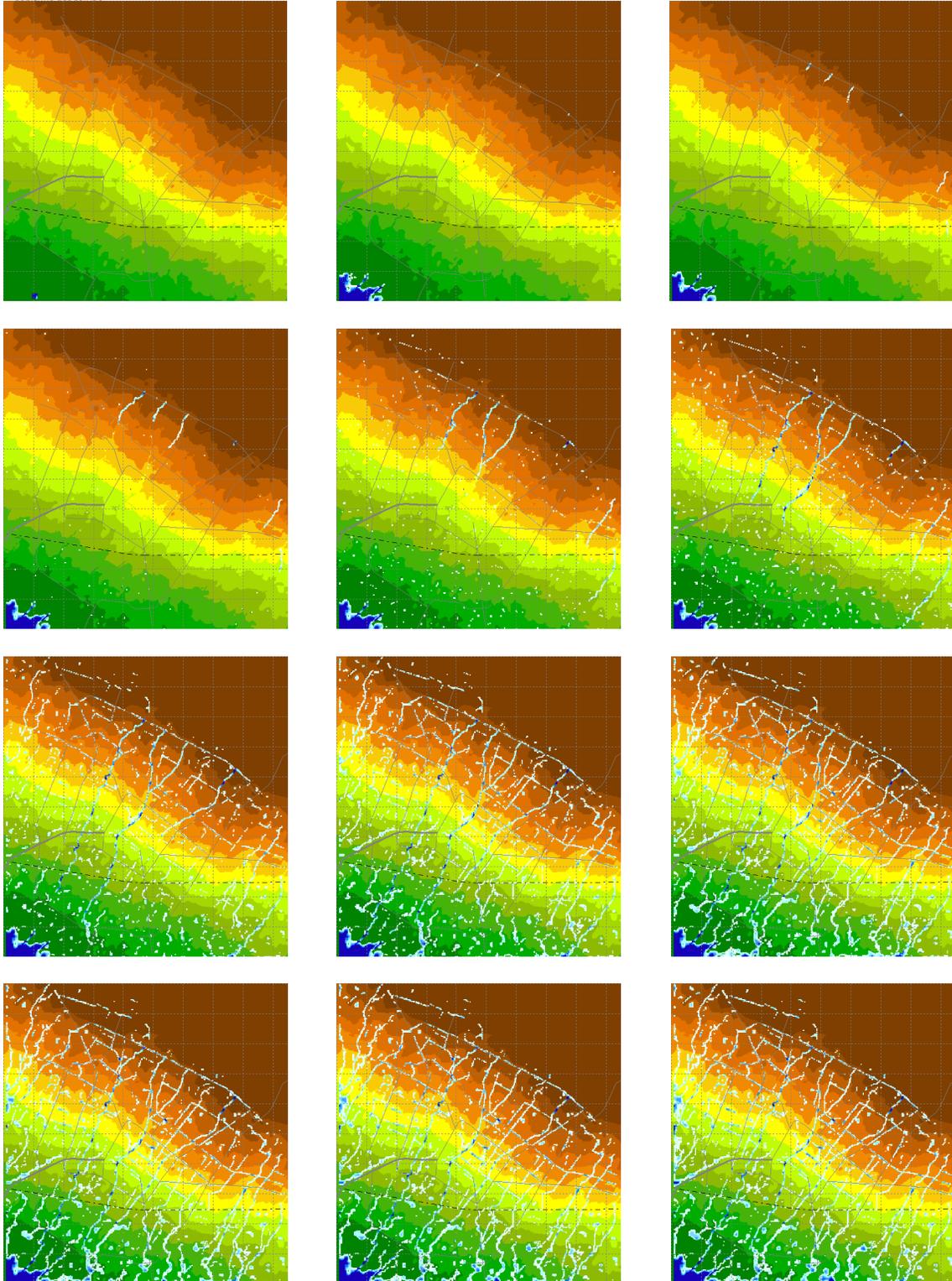


Figura 3.21 Resultados Zona Conurbada Tr 50 años. Primera parte

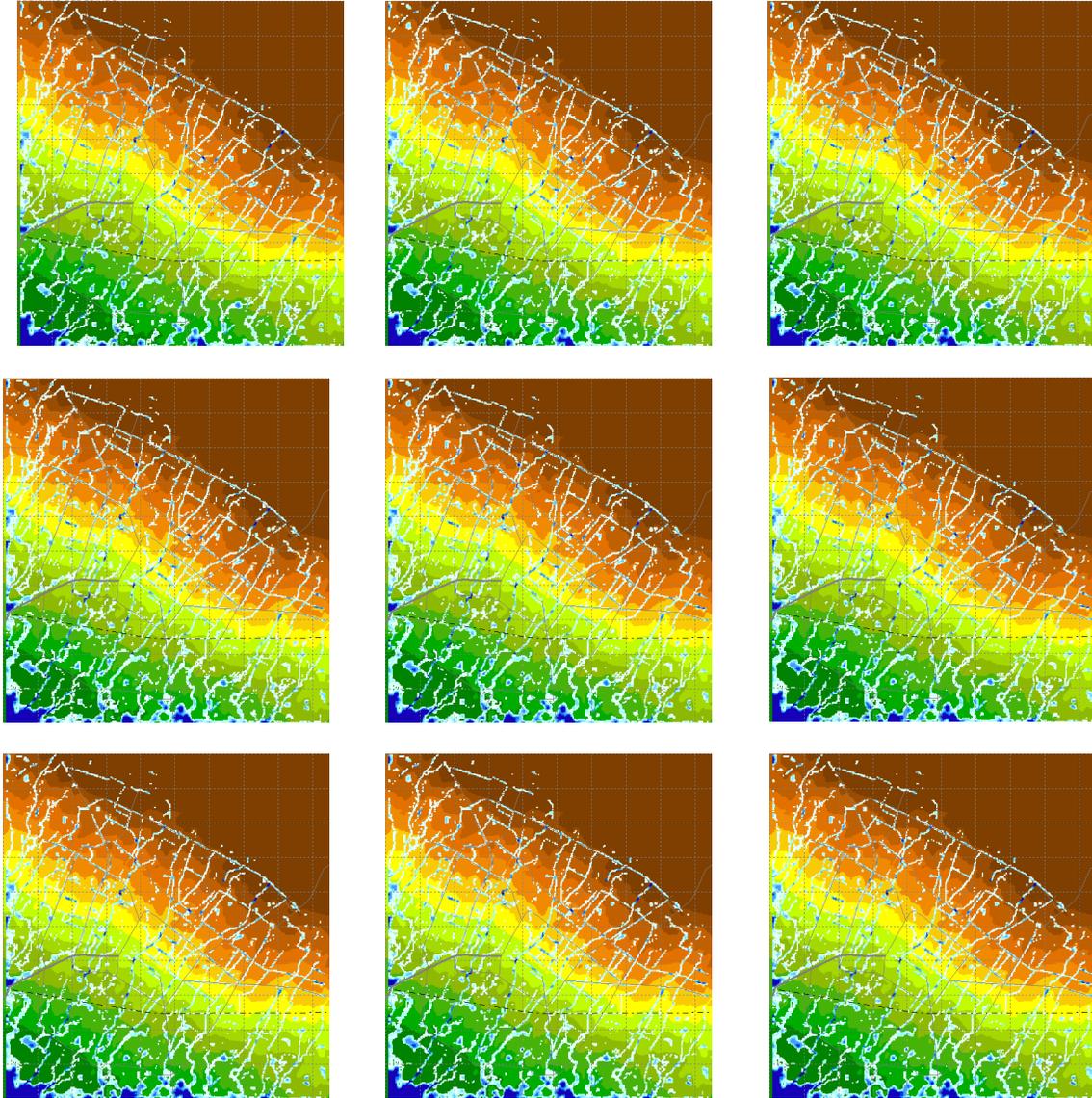


Figura 3.22 Resultados Zona Conurbada Tr 50 años. Segunda parte

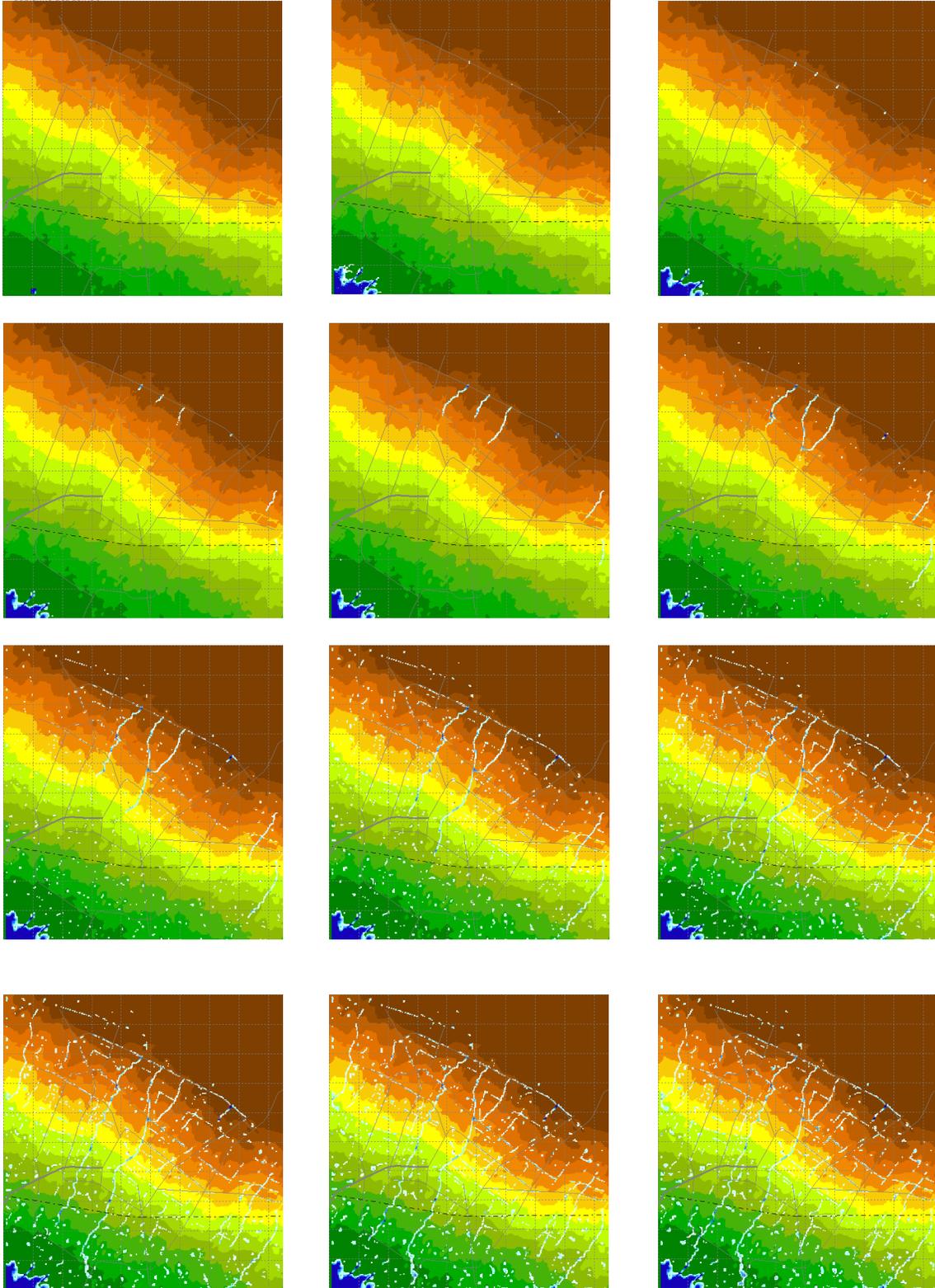


Figura 3.23 Resultados Zona Conurbada Tr 2 años. Modificaciones. Primera parte

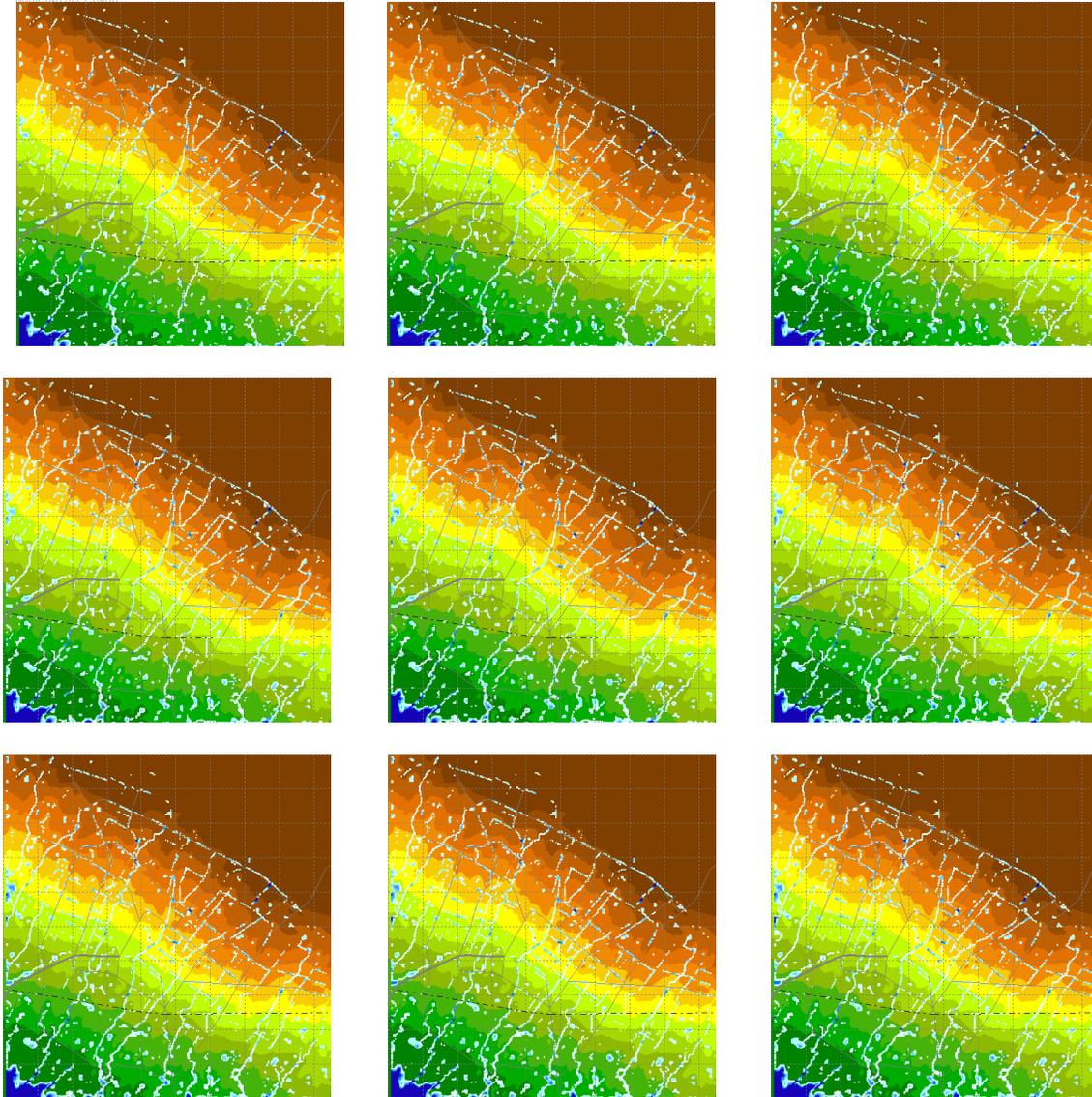


Figura 3.24 Resultados Zona Conurbada Tr 2 años. Modificaciones. Segunda parte

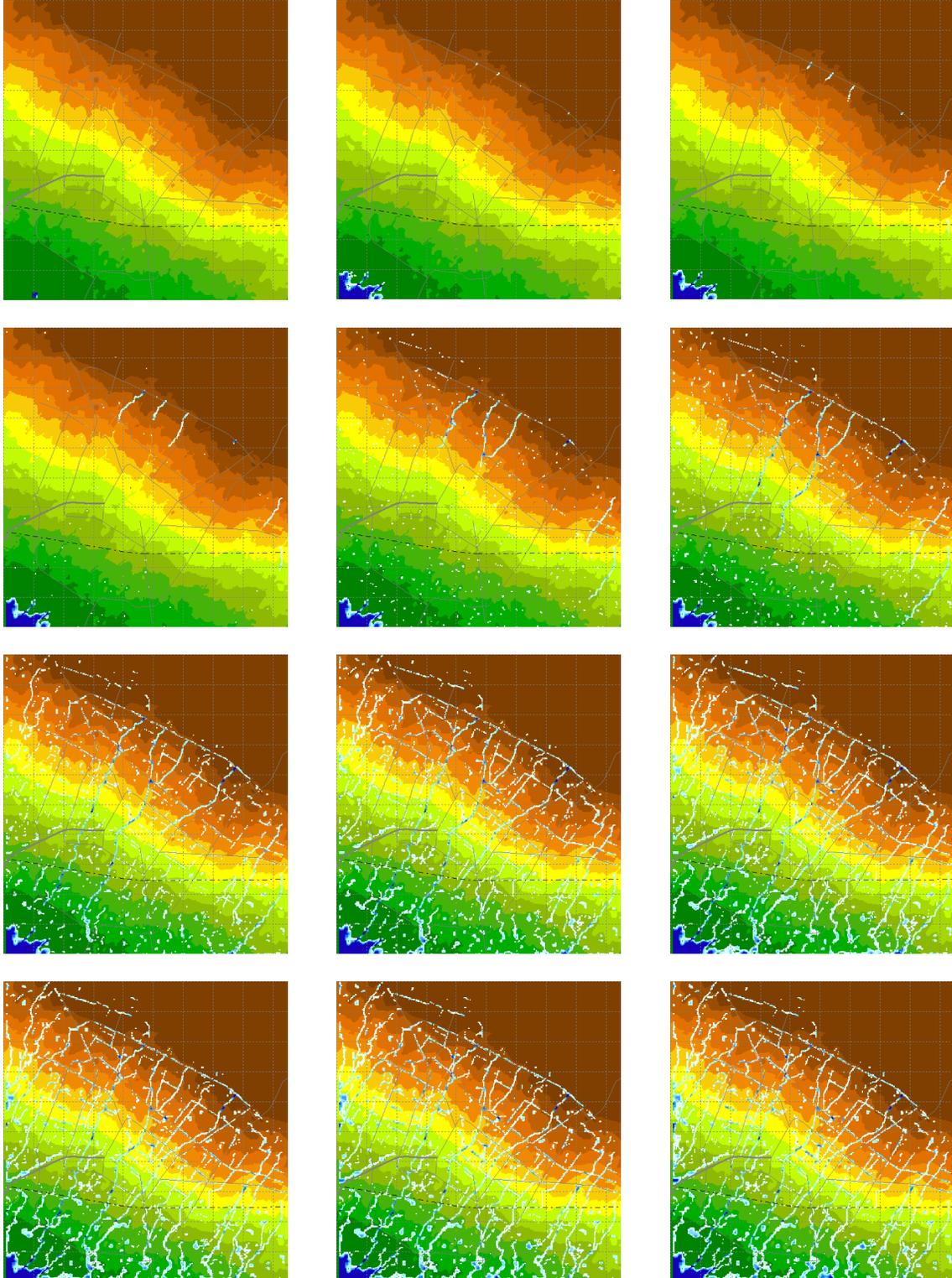


Figura 3.25 Resultados Zona Conurbada Tr 50 años. Modificaciones. Primera parte

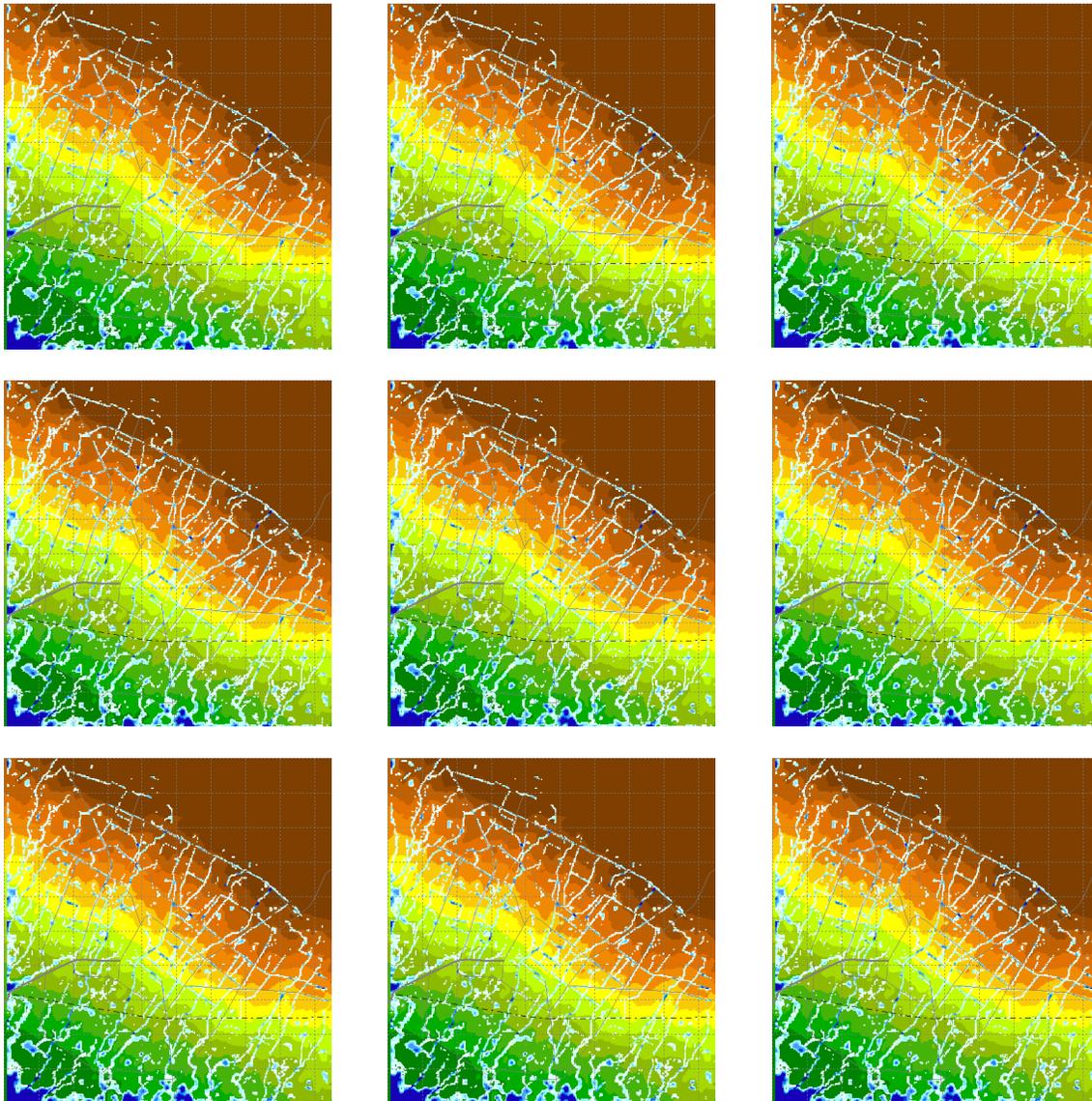


Figura 3.26 Resultados Zona Conurbada Tr 50 años. Modificaciones. Segunda parte

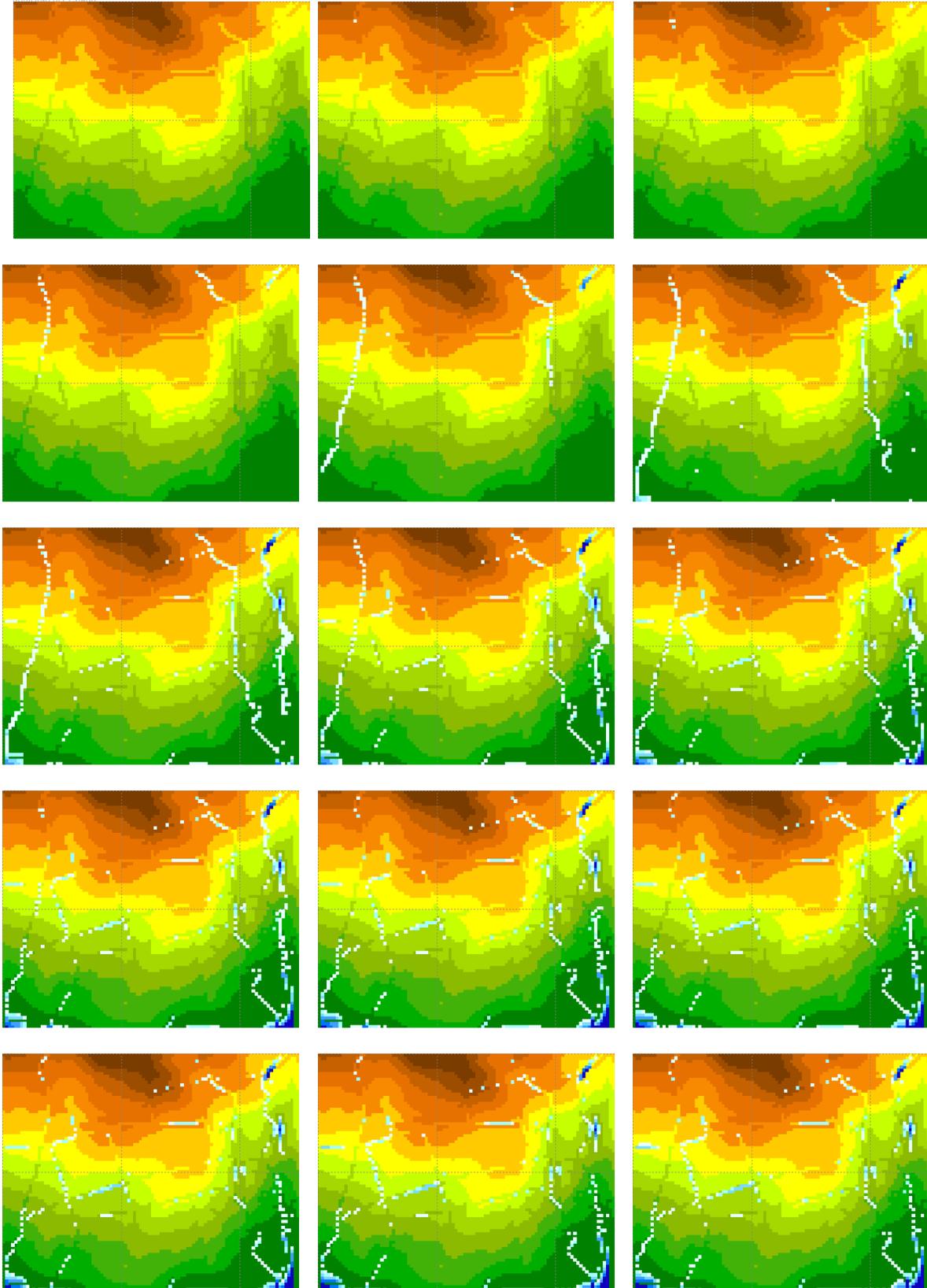


Figura 3.27 Resultados Cuauhtémoc Tr 2 años. Primera parte.

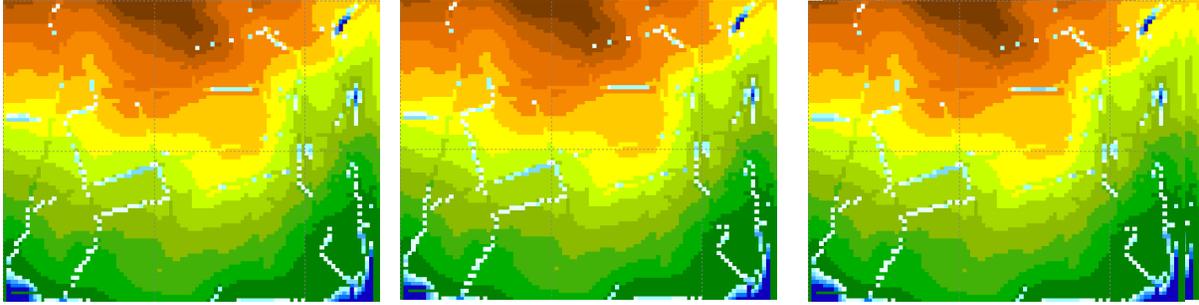


Figura 3.28 Resultados Cuauhtémoc Tr 2 años. Segunda parte.

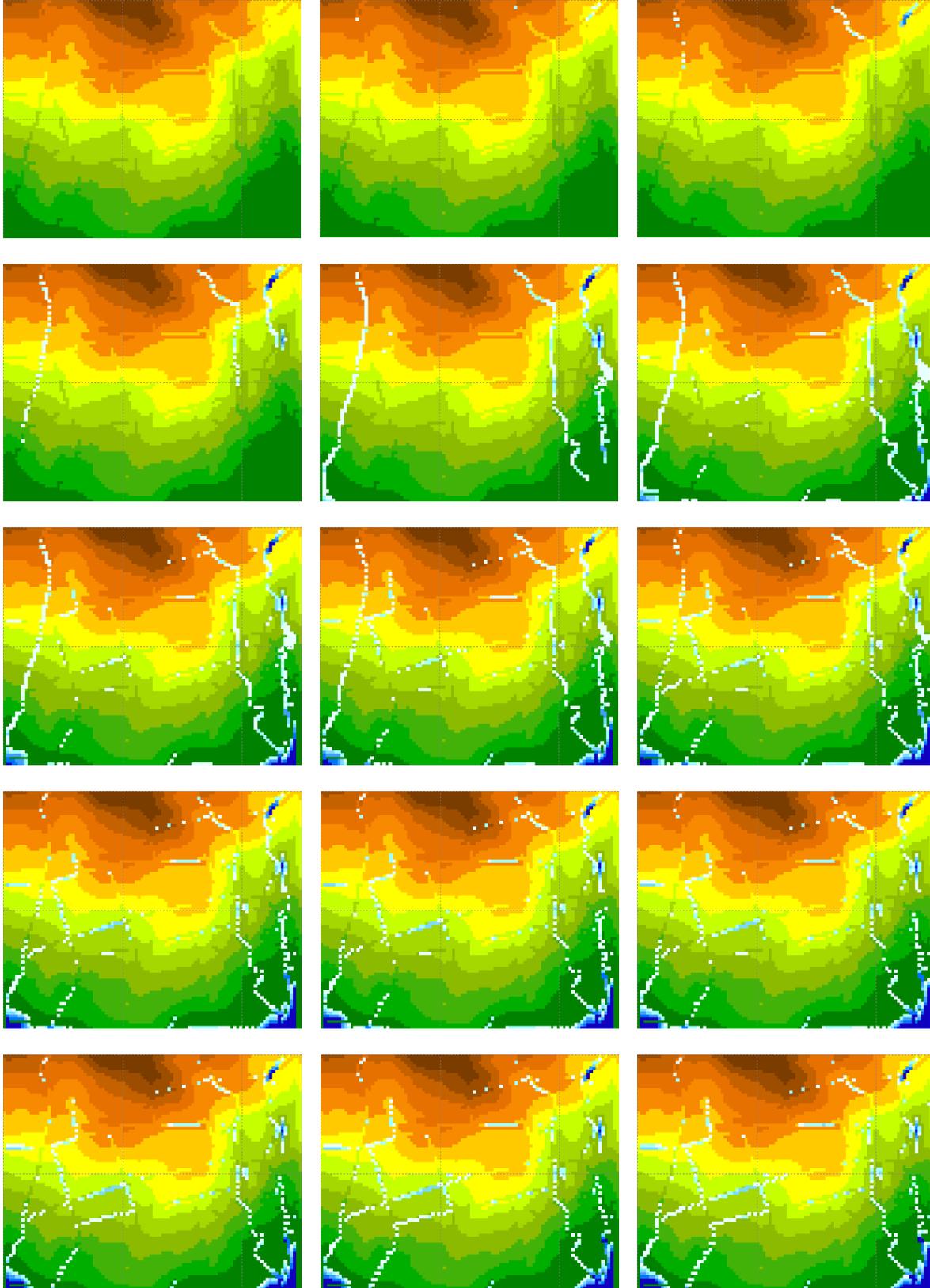


Figura 3.29 Resultados Cuauhtémoc Tr 10 años. Primera parte.

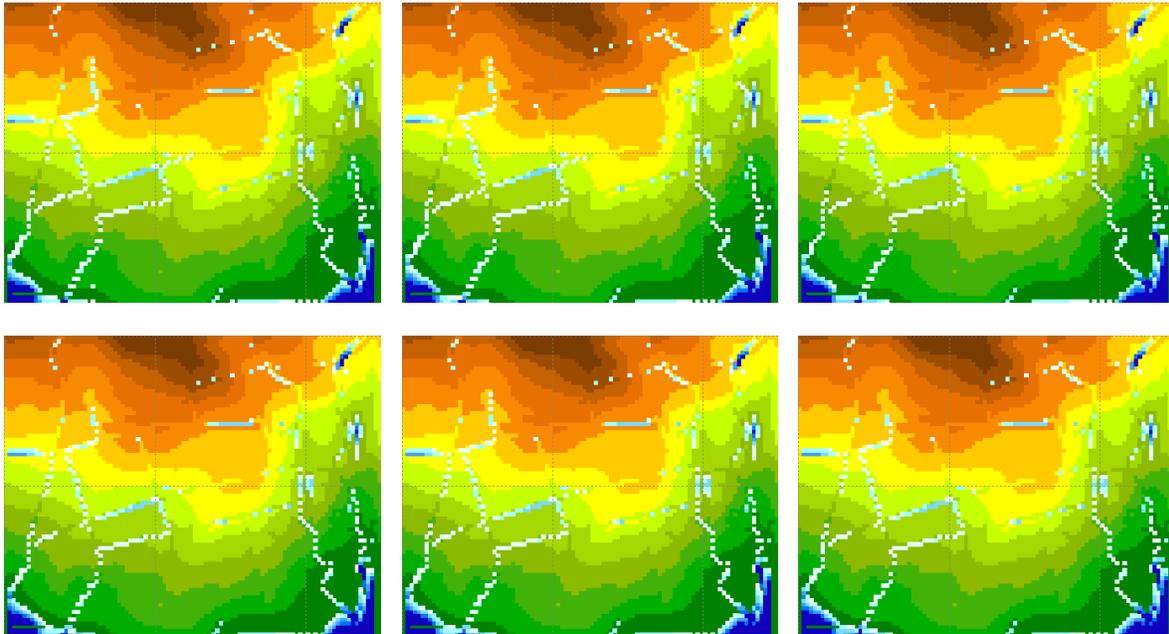
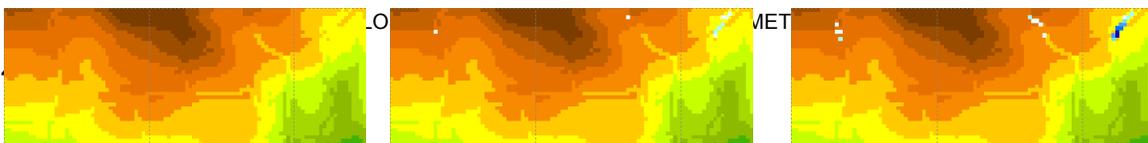


Figura 3.23 Resultados Cuauhtémoc Tr 10 años. Segunda parte



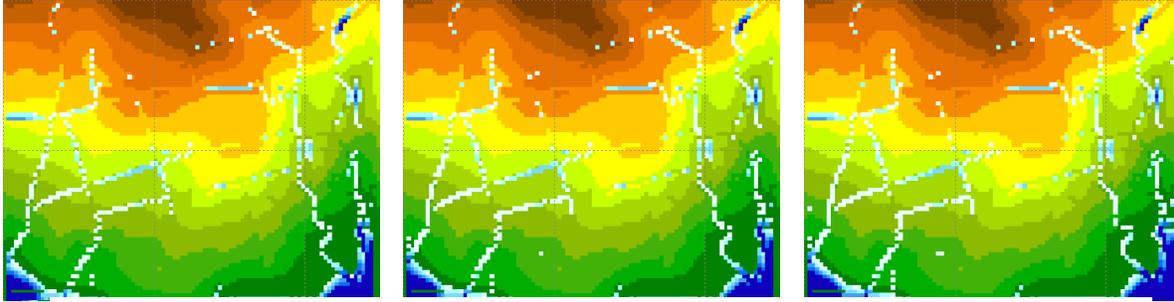
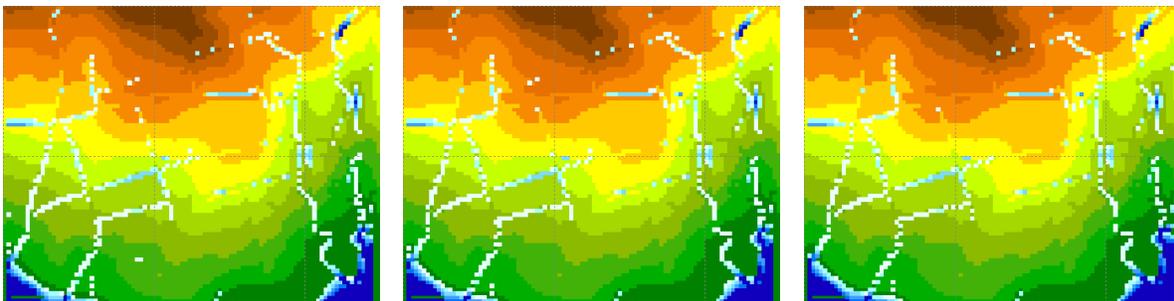


Figura 3.31 Resultados Cuauhtémoc Tr 50 años. Primera parte.



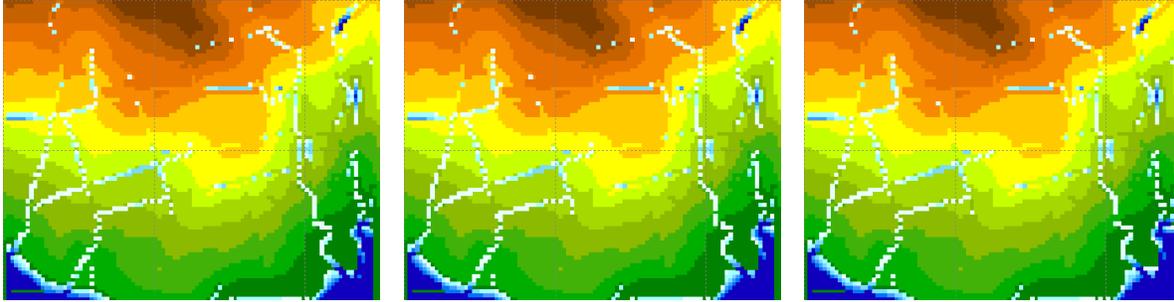


Figura 3.32 Resultados Cuauhtémoc Tr 50 años. Segunda parte.

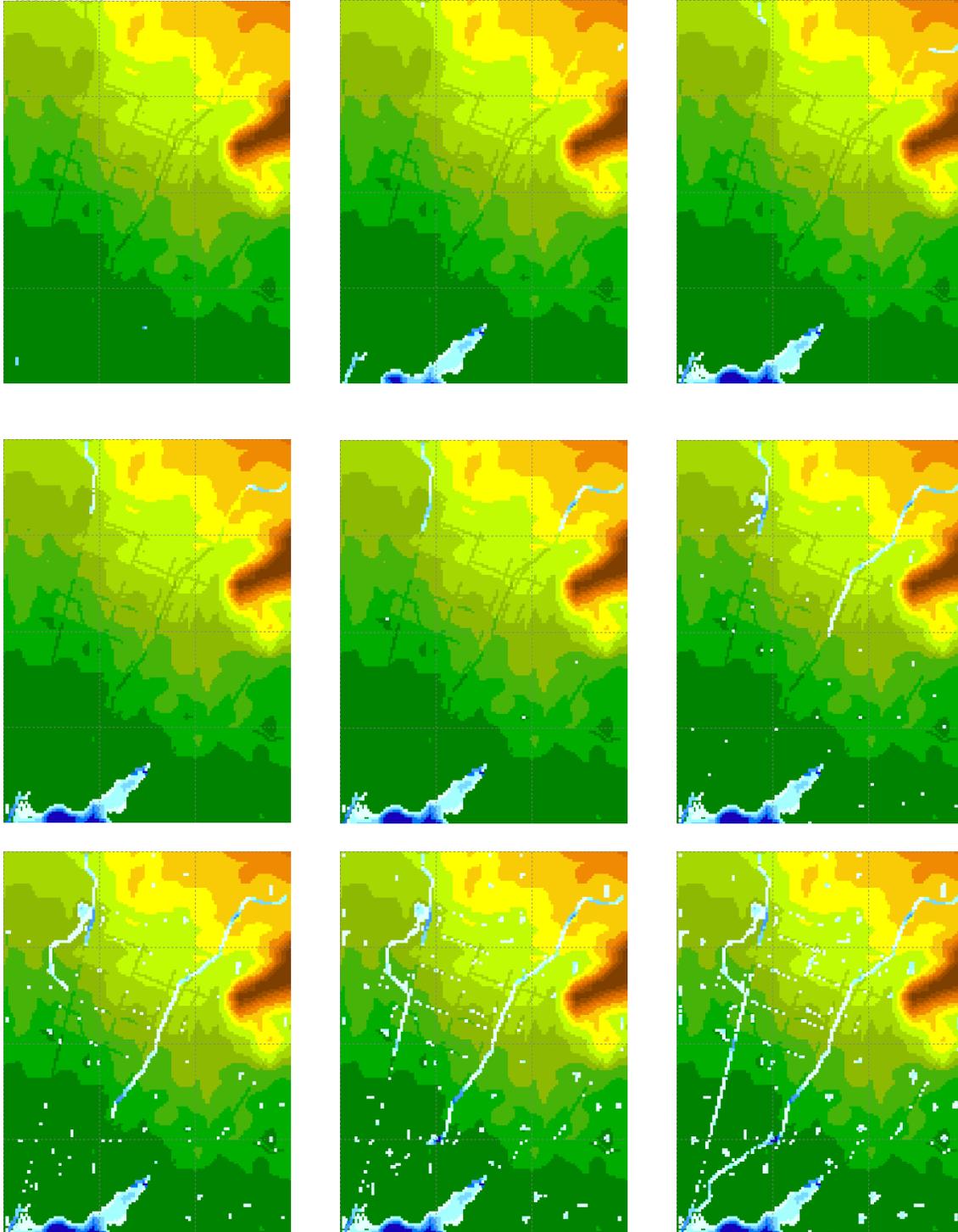


Figura 3.33 Resultados Coquimatlán Tr 2 años. Primera parte.

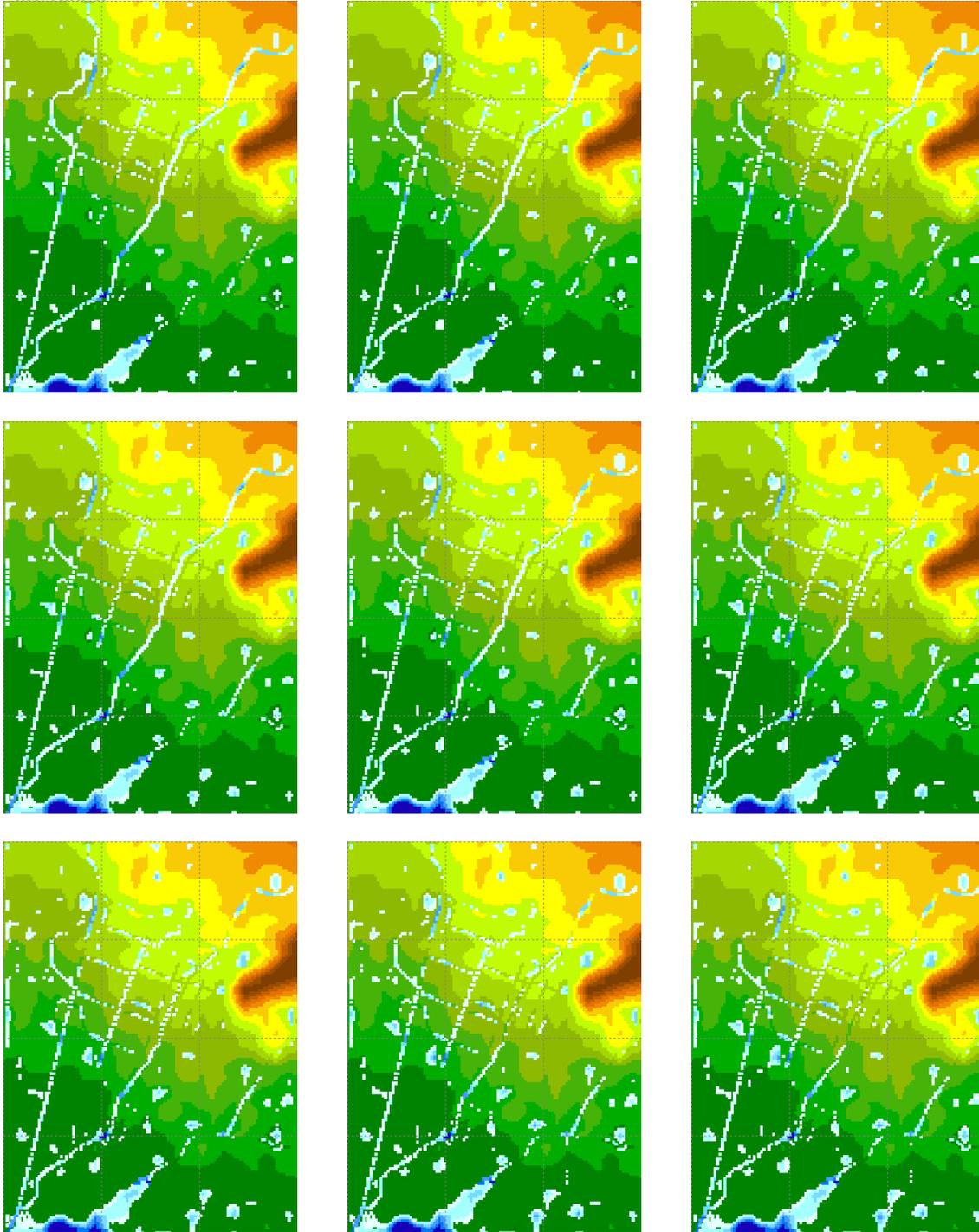


Figura 3.34 Resultados Coquimatlán Tr 2 años. Segunda parte.

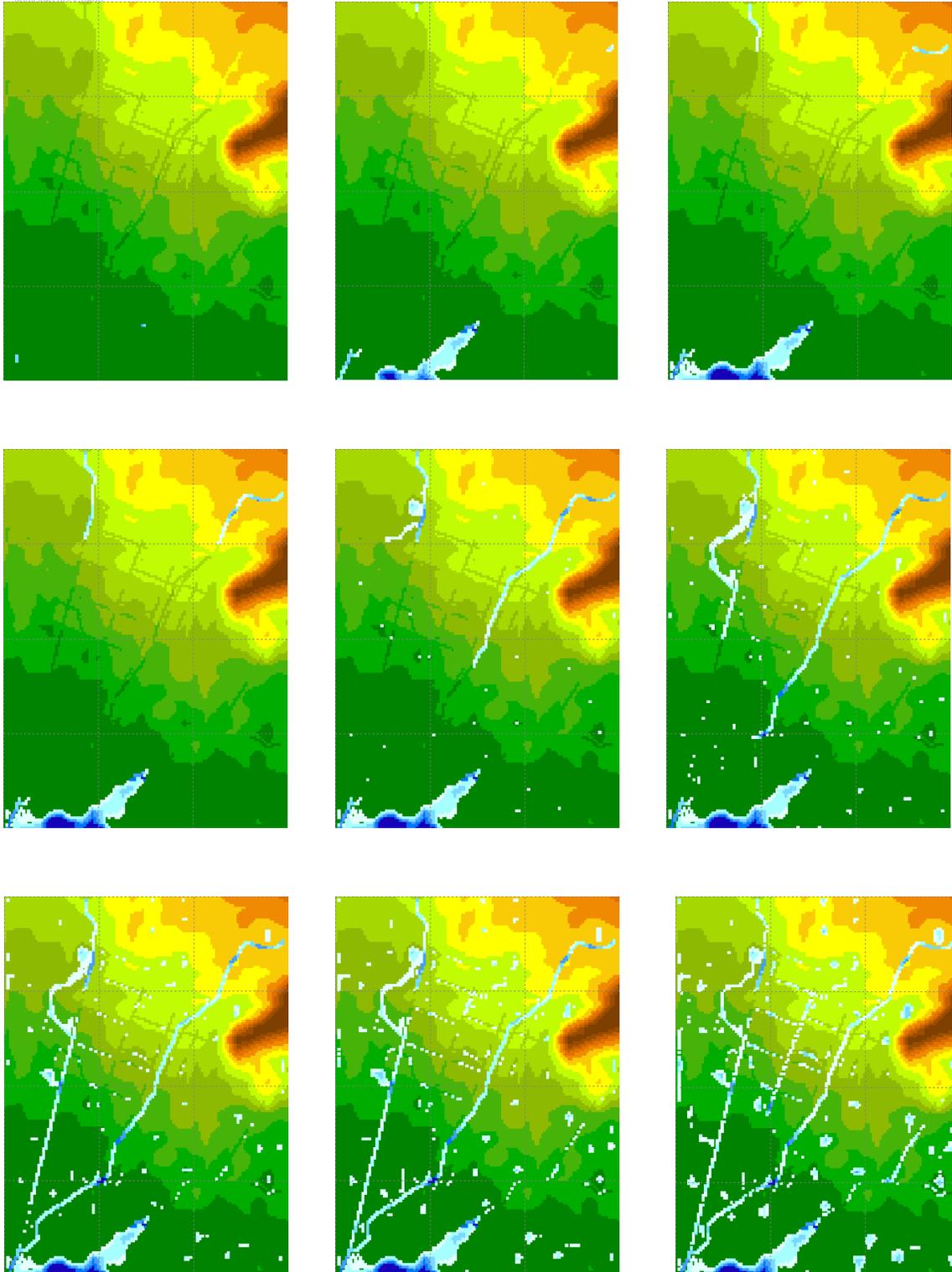


Figura 3.35 Resultados Coquimatlán Tr 10 años. Primera parte.

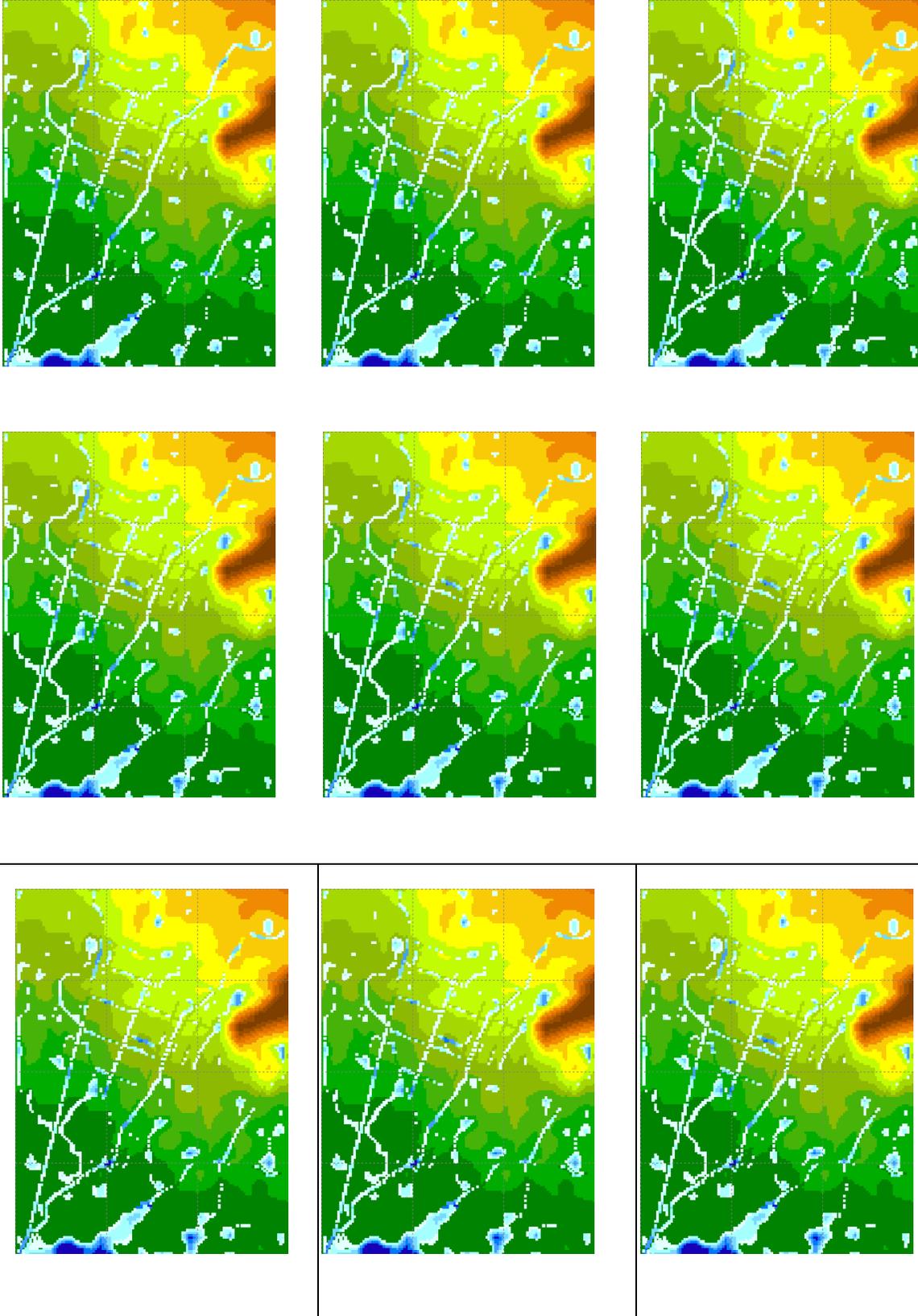


Figura 3.36 Resultados Coquimatlán Tr 10 años. Segunda parte.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

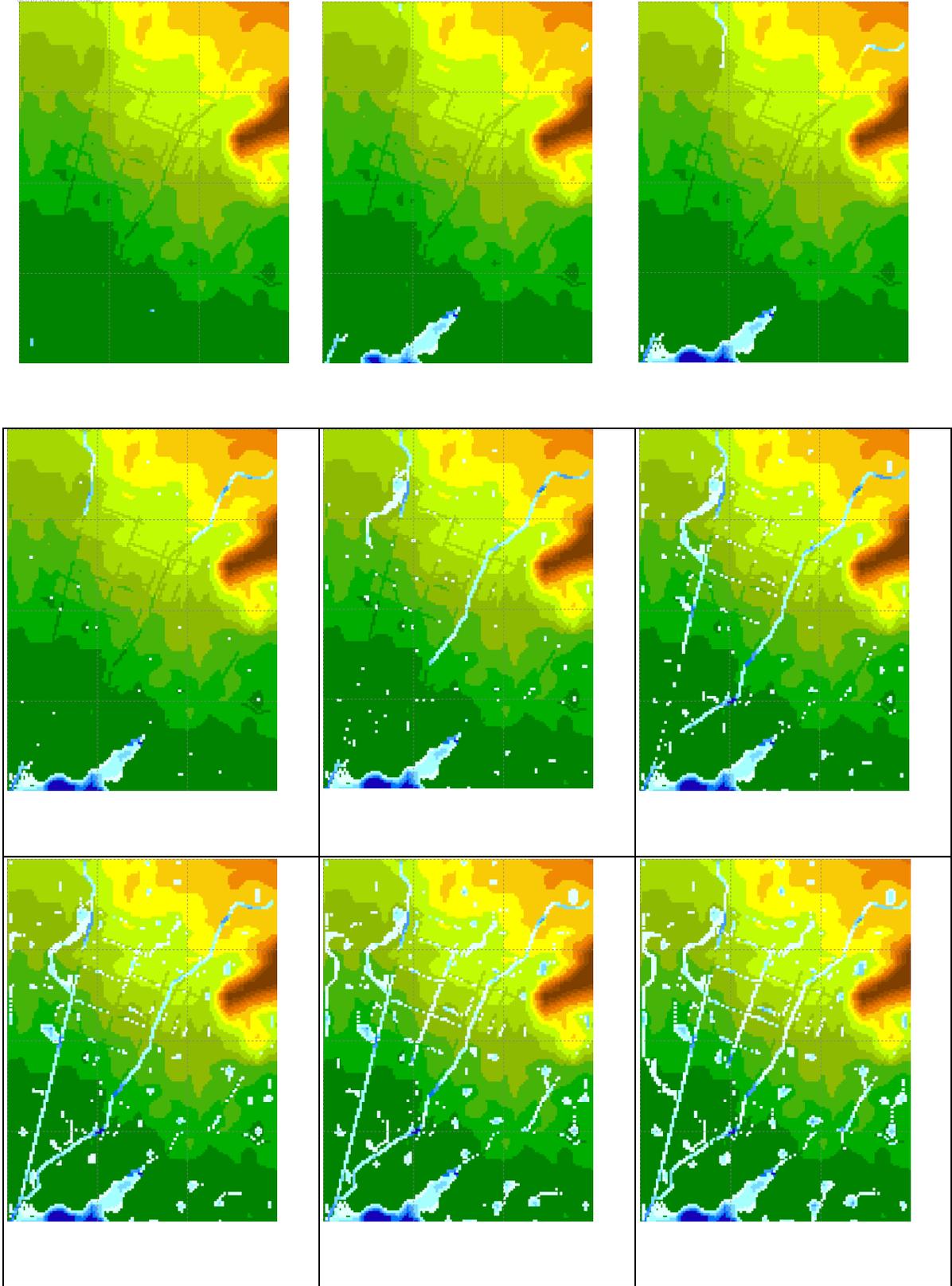


Figura 3.37 Resultados Coquimatlán Tr 50 años. Primera parte.

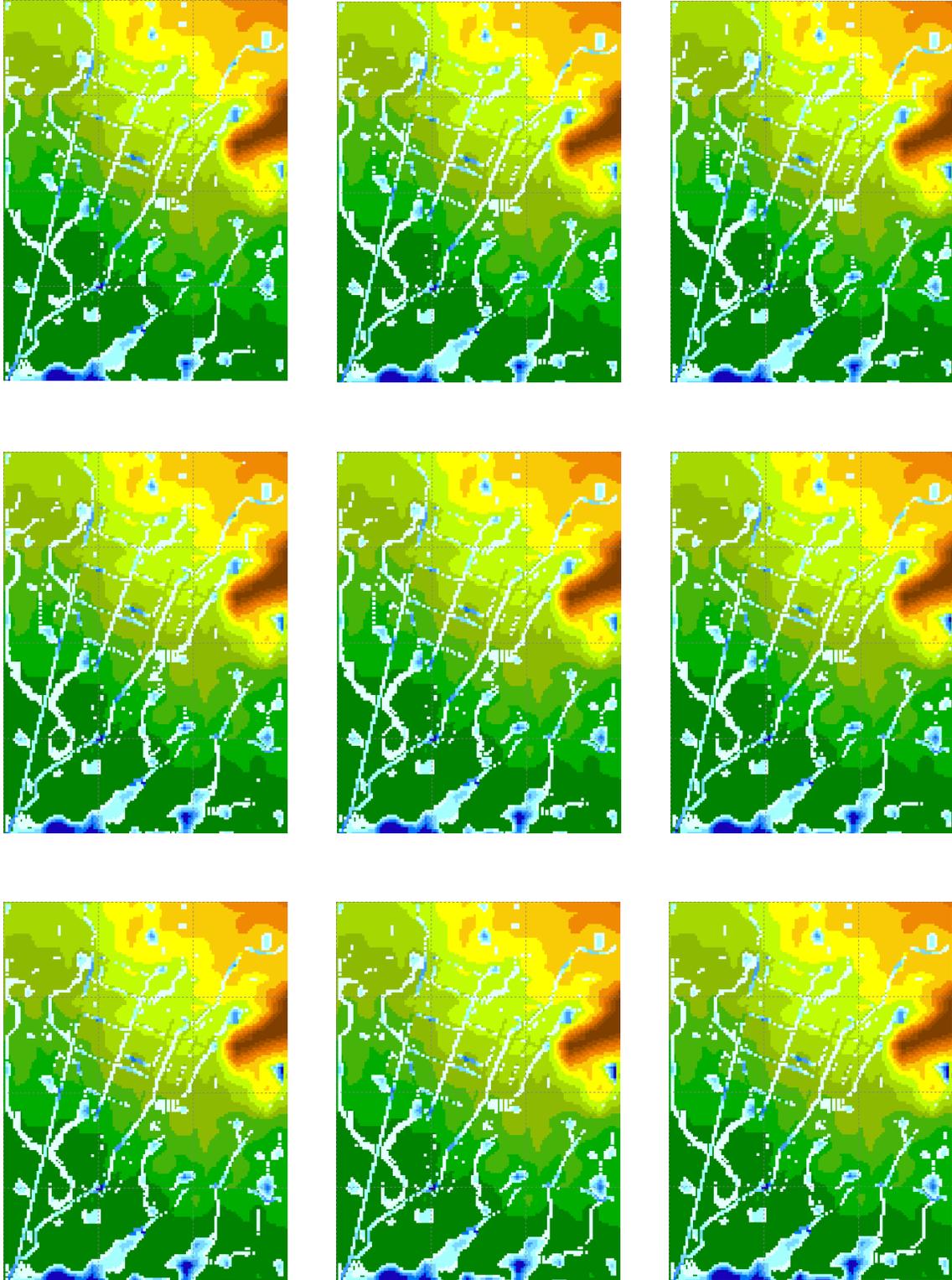


Figura 3.37 Resultados Coquimatlán Tr 50 años. Segunda parte.

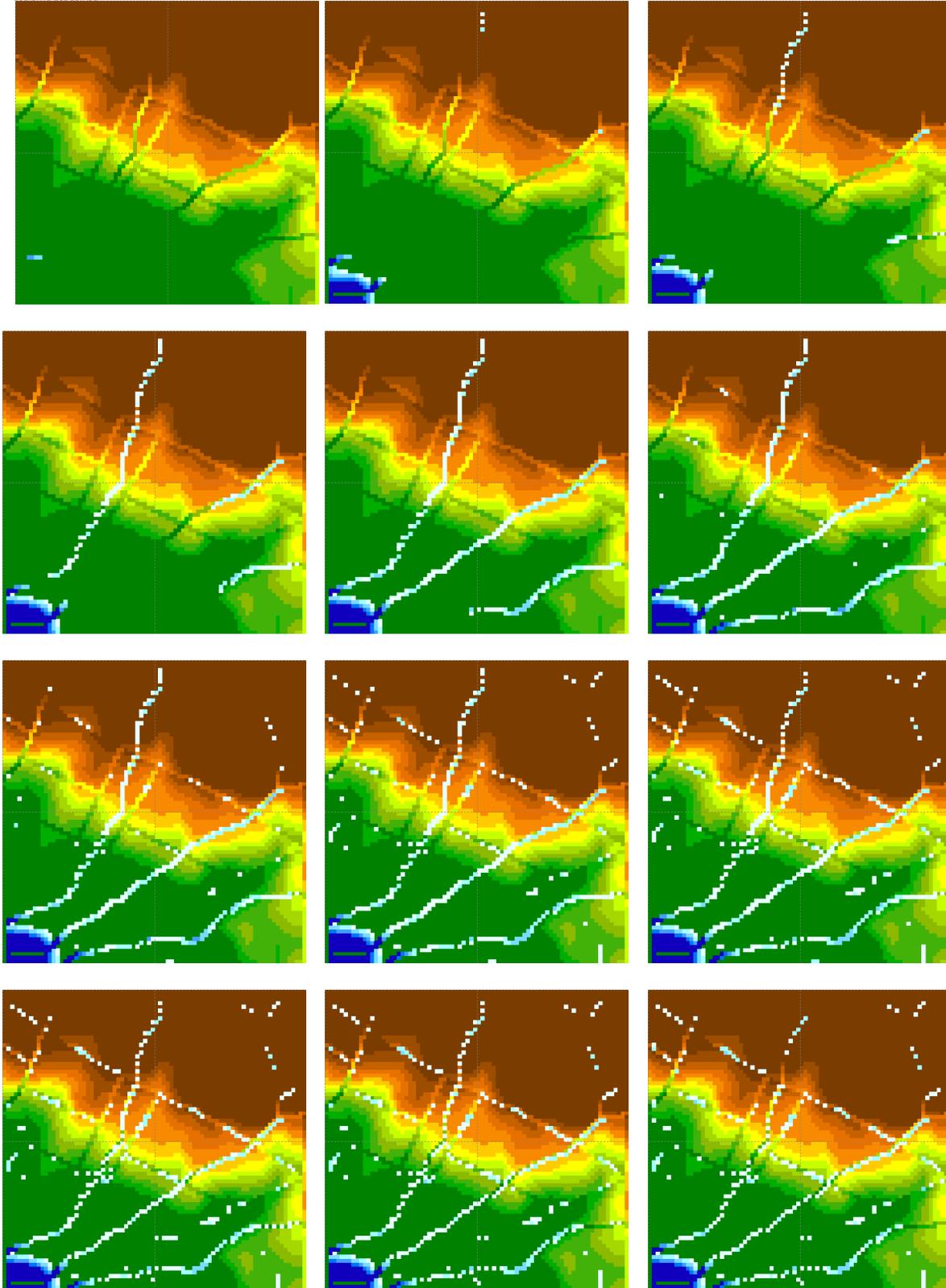


Figura 3.38 Resultados Comala. Tr 2 años. Primera parte.

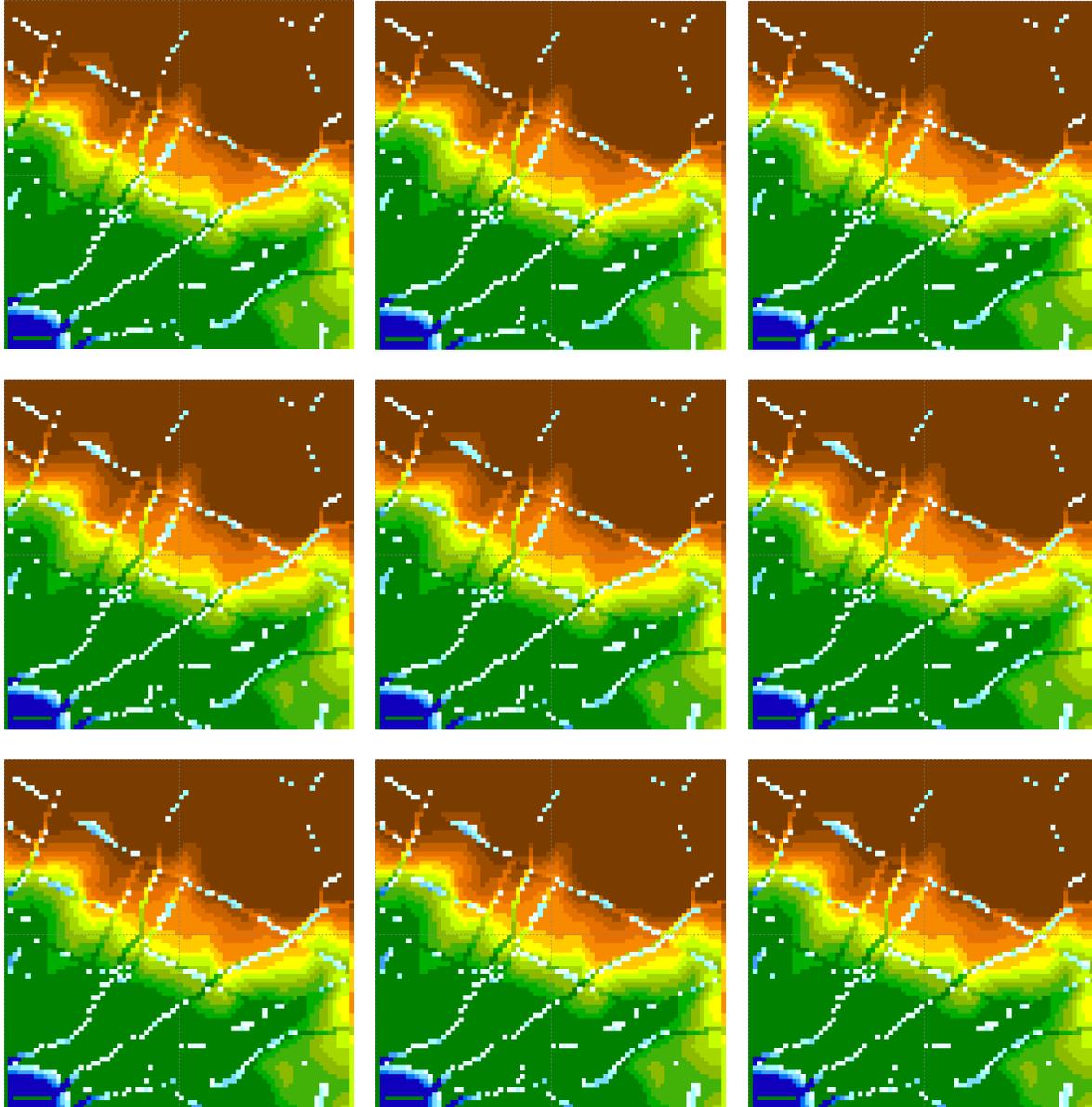


Figura 3.39 Resultados Comala. Tr 2 años. Segunda parte.

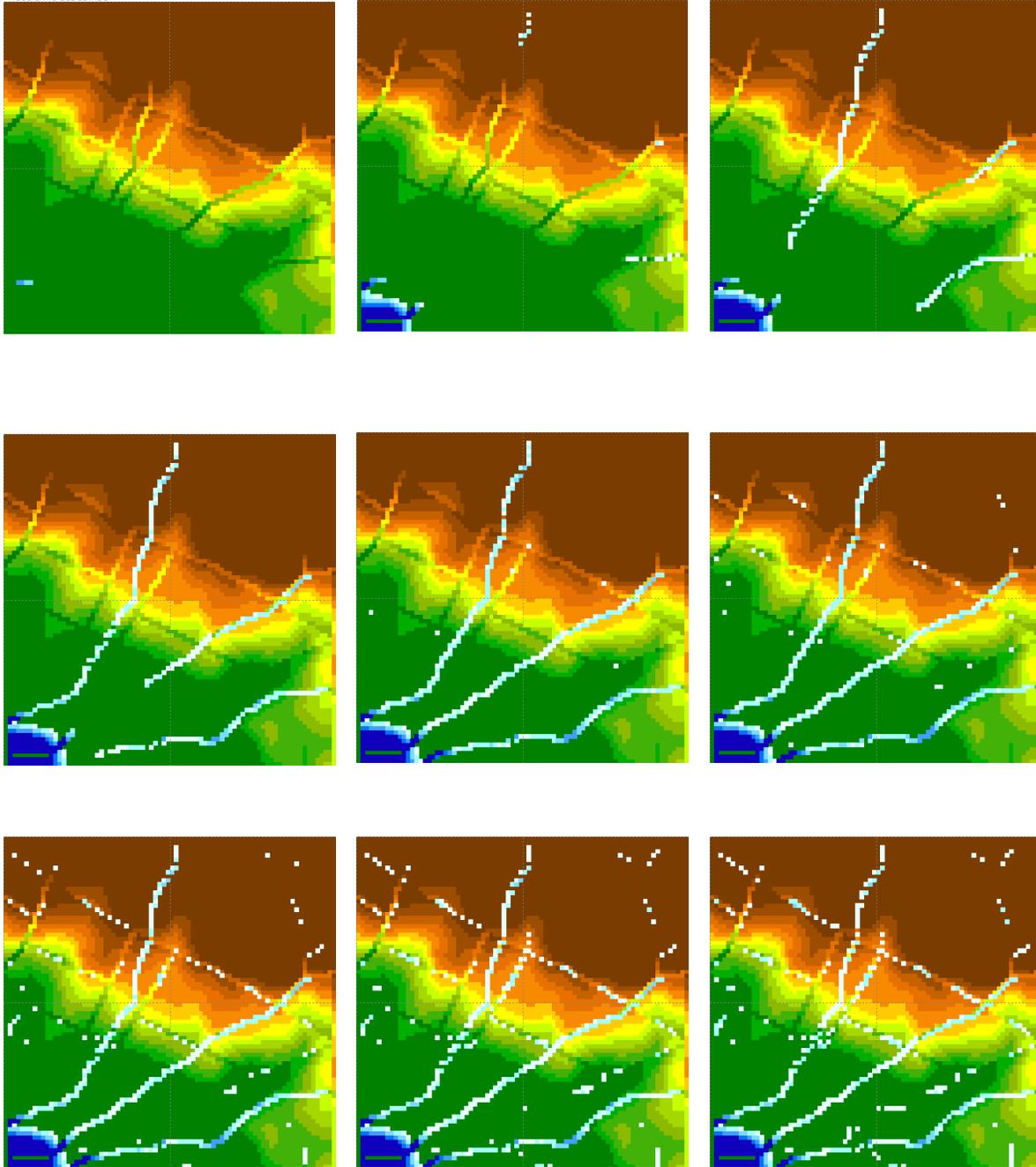


Figura 3.40 Resultados Comala. Tr 10 años. Primera parte.

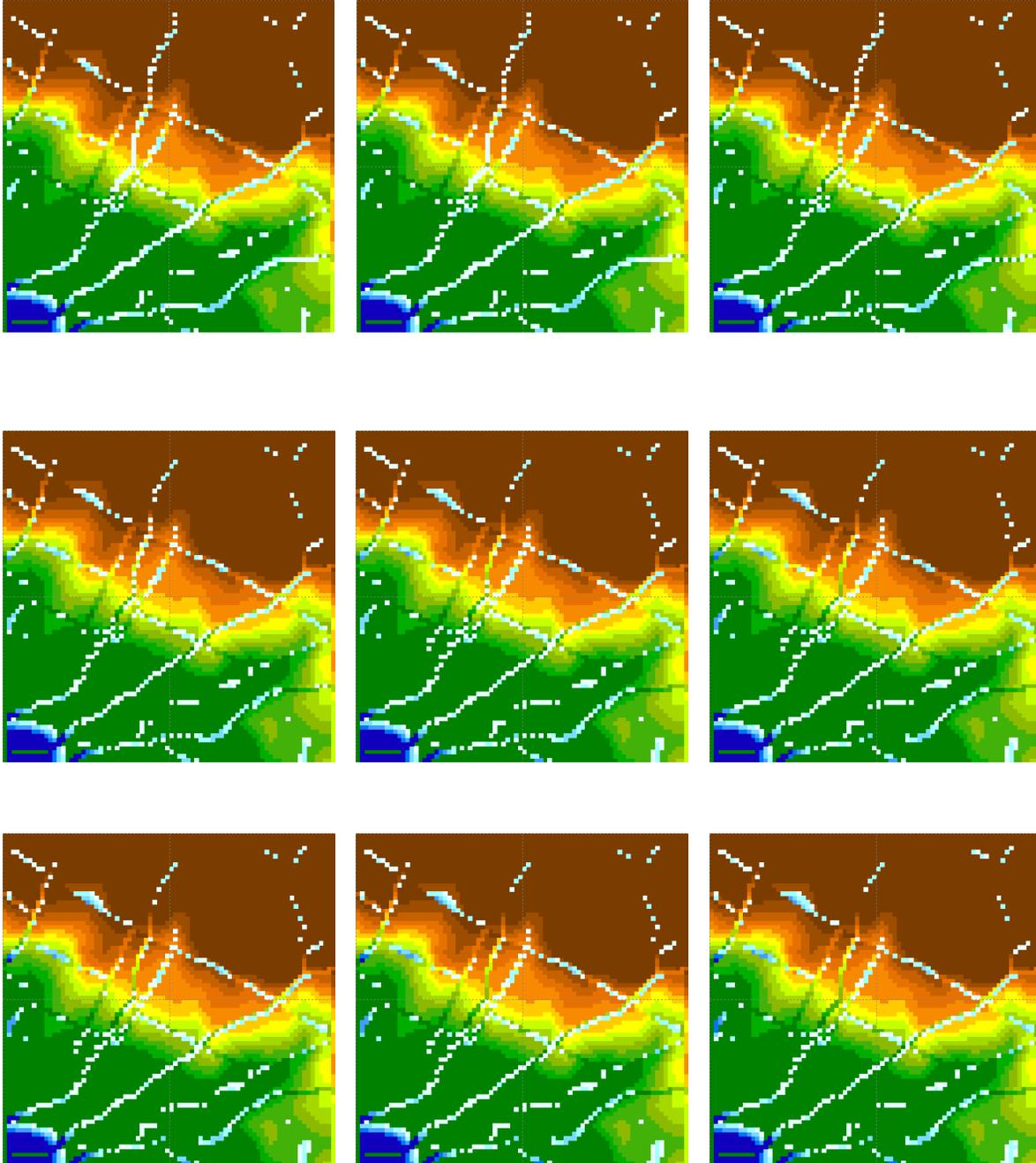


Figura 3.41 Resultados Comala. Tr 10 años. Segunda parte.

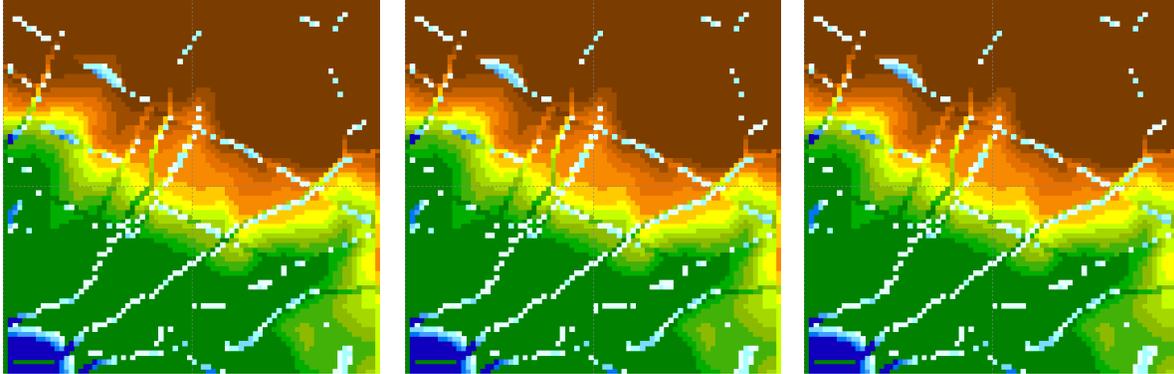


Figura 3.42 Resultados Comala. Tr 10 años. Tercera parte.

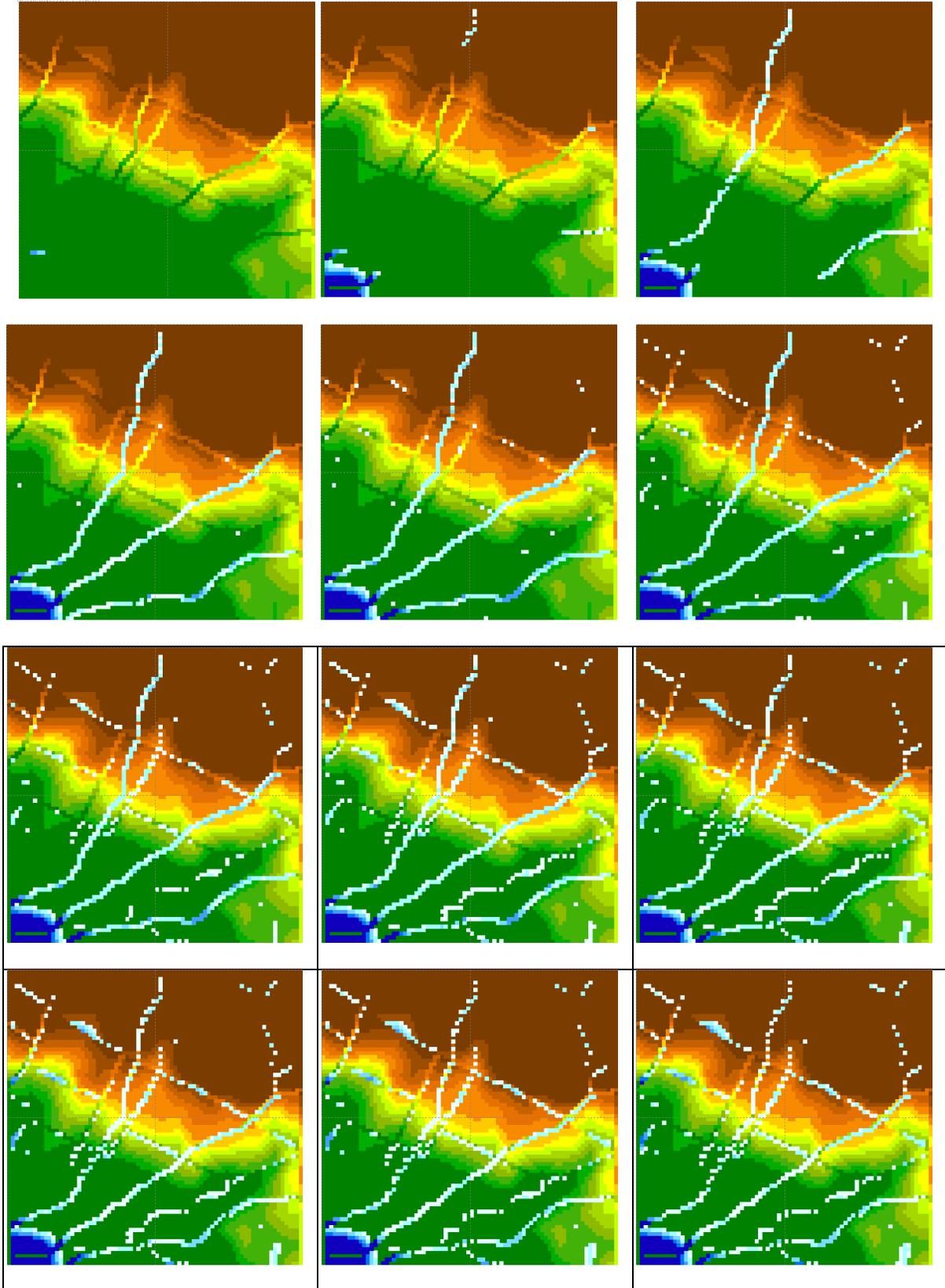


Figura 3.43 Resultados Comala. Tr 50 años. Primera parte.

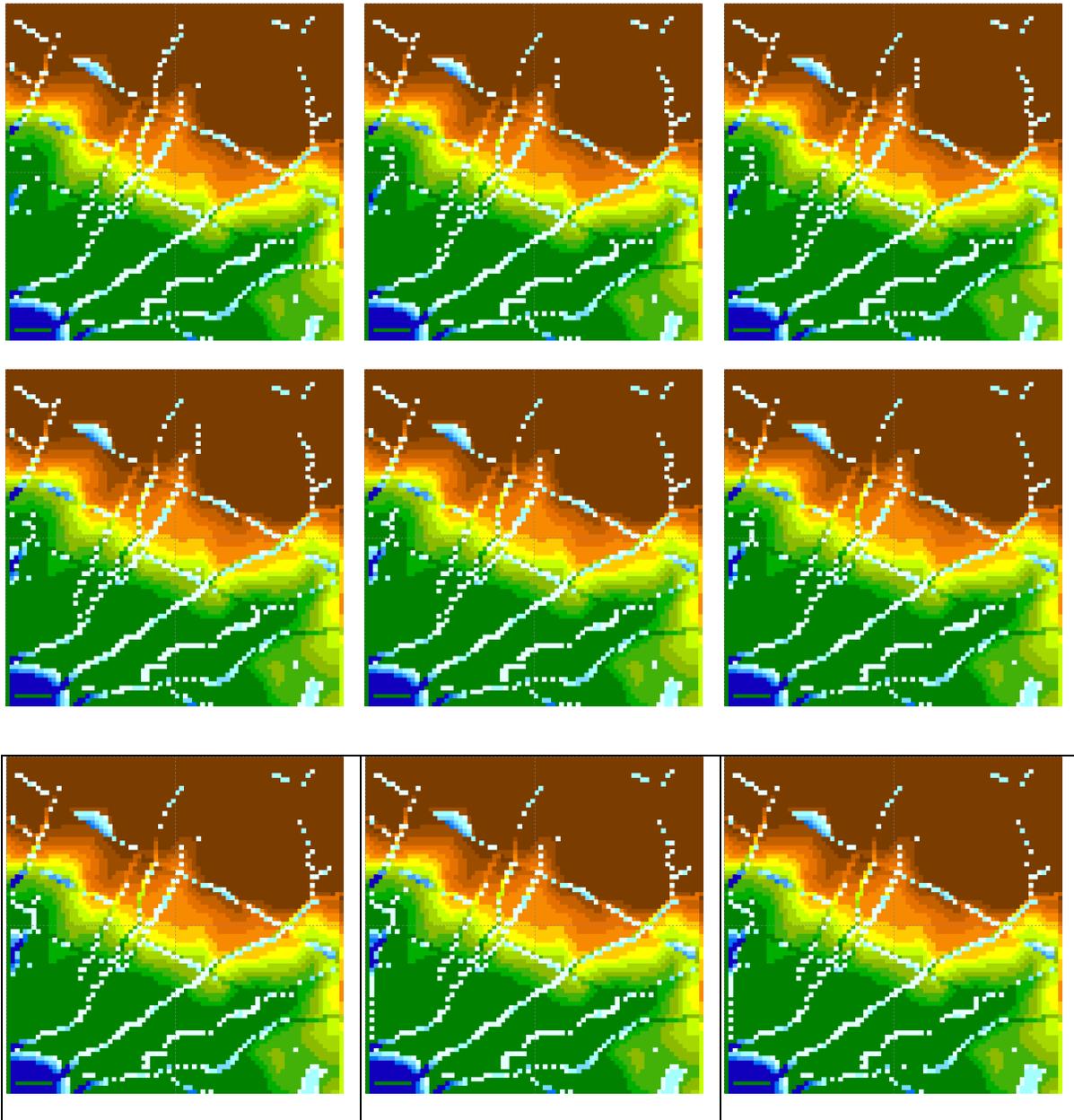


Figura 3.44 Resultados Comala. Tr 50 años. Segunda parte.

Dado que el evento de Jová es un evento extraordinario, asociado a un periodo de retorno de 50 años, este T_r fue el umbral en las modelaciones matemáticas. Con Estos resultados se determinan más adelante los polígonos de peligro de inundación para diferentes periodos de retorno. También se han inducido modificaciones en los cauces urbanos de la zona conurbada, que es la zona con relativamente más área de inundación.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 4. GENERACIÓN DE CRITERIOS PARA EL MANEJO DE AGUA DE LOS CAUCES

4.1 BALANCE HIDRÁULICO GENERAL

4.2 CRITERIOS PARA LA CONDUCCIÓN ADECUADA DE FLUJOS PARA DISMINUIR DESBORDAMIENTOS

4.3 CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ASOCIADAS A PELIGROS DE INUNDACIÓN

4.4 CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE IMAGEN URBANA

4.5 CRITERIOS PARA EL REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

4.6 CRITERIOS PARA LA COSECHA DE DE AGUA DE LLUVIA

4.7 ESQUEMA DE ACTUALIZACIÓN DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA DE RÍOS Y DE LLUVIA

CAPÍTULO 4. GENERACIÓN DE CRITERIOS PARA EL MANEJO DE AGUA DE LOS CAUCES

En este capítulo se presentan los criterios pertinentes para las acciones del presente plan de manejo. De forma inicial, se presenta el balance hidráulico general de la zona de estudio y continúan los demás criterios de las diferentes acciones, primero con una definición y posteriormente con las acciones planteadas en forma esquemática.

4.1 BALANCE HIDRÁULICO GENERAL

Según la tabla 1.4, en la zona de estudio se presenta una precipitación media anual de 1102 mm, históricamente se tiene registro de una precipitación media anual de 477 mm y una máxima histórica de 2171 mm. Según la tabla 1.3 las 15 cuencas naturales suman una superficie de 213.58 km², donde precipitan cerca de 235 Hm³ en condiciones medias, 101 Hm³ en condiciones históricas del año más seco y 462 Hm³ en condiciones históricas del año más húmedo. De este volumen, según la tabla 1.14, aproximadamente el 17% escurre en forma directa por el sistema de cauces urbanos, el 72% se evapotranspira considerando el promedio nacional, por lo que de manera general en condiciones medias el 11% recarga al acuífero local, volumen del orden de 25.85 Hm³, volumen equivalente a un caudal en de gasto base medio, en manantiales y cauces, del orden de 819 l/s. Puede notarse que dicho volumen es representativo del gasto base de los cauces de estudio, descontando las extracciones de agua por medio de los pozos ubicados en la zona urbana. Con este balance general, se observa que el carácter de la zona de estudio es la de una zona en equilibrio hidrológico, en donde los principales indicadores son la vegetación abundante en las cuencas, con selvas medias, y con gasto base en cerca del 50% de los cauces de estudio. A partir de este análisis, de los recorridos de campo y de los análisis hidráulico, se pueden definir los criterios de manejo de agua de los cauces de estudio.

4.2 CRITERIOS PARA LA CONDUCCIÓN ADECUADA DE FLUJOS PARA DISMINUIR DESBORDAMIENTOS

Dado que son pocas las zonas con desbordamiento en los cauces, se presentan a continuación los diferentes tipos de obras para la conducción adecuada de cauces.

En las figuras 4.1 a 4.4 se presentan los esquemas de los criterios para el control de taludes y de conformación de bordos en los cauces urbanos específicos para el caso de estudio de la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez, en cada tramo de estudio aplicarán diferentes características en función de su entorno urbano y de sus características hidrológico-ambientales.

Como acciones se propone: a) Reforestación con vegetación nativa para contención; b) Conservación de vegetación nativa para contención; c) Instalación de gaviones; d) Construcción de muro de contención en márgenes; e) construcción de muros de mampostería con lloraderos y zapata; f) construcción de muros de mampostería con lloraderos y g) construcción de muros de concreto armado y zapata. En los planos R04 a R08 del Anexo 7 se presentan el detalle de estas imágenes.

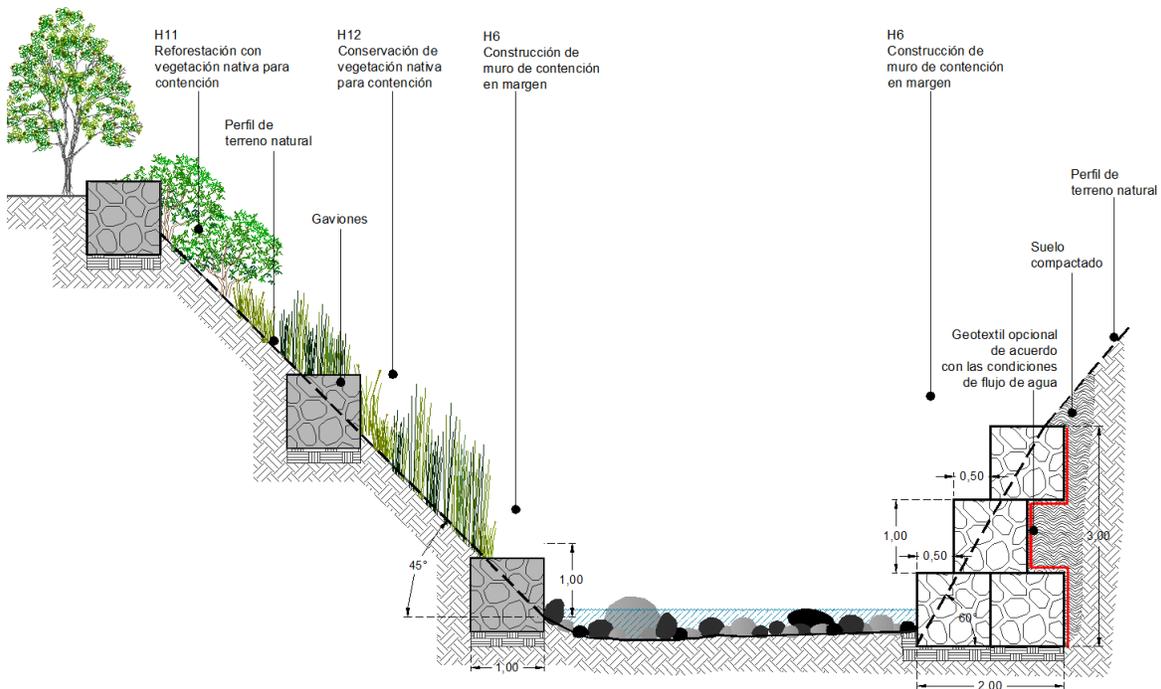


Figura 4.1 Criterio de taludes para ángulos de reposo de 45° y de 60°

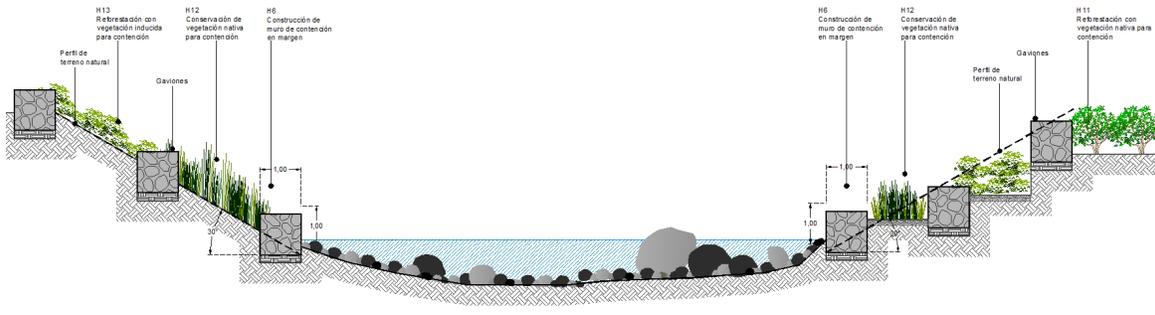


Figura 4.2 Criterio de taludes para ángulos de 30° en terrazas

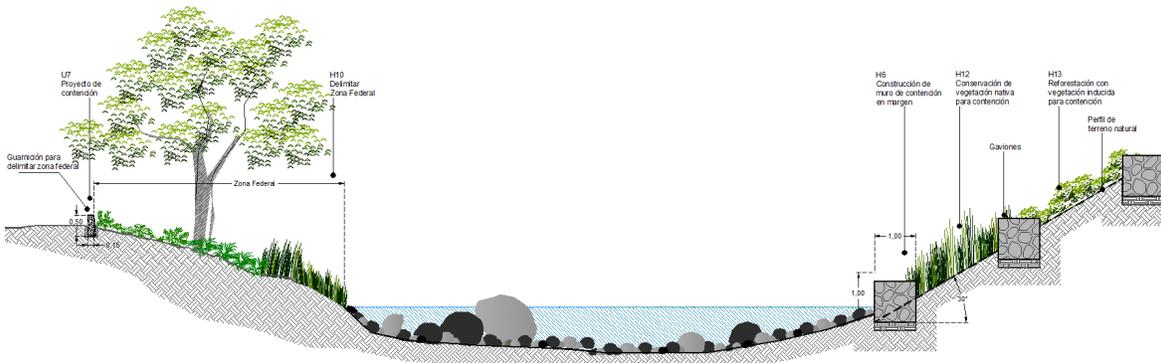


Figura 4.3 Criterio de taludes para ángulos de reposo de 30° y condición natural

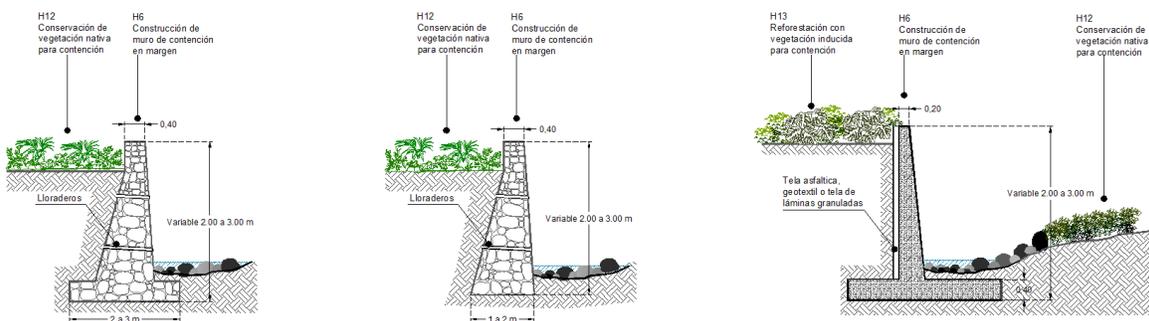


Figura 4.4 Criterio de taludes para ángulos rectos en tramos de sección estrecha

4.3 CRITERIOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ZONAS ASOCIADAS A PELIGROS DE INUNDACIÓN

En la siguiente figura se presentan los polígonos asociados a inundación para diferentes periodos de retorno, obtenidos a partir de las modelaciones matemáticas del capítulo 3. En los planos D06A y D06B del anexo 7 se presenta el detalle de estas figuras.

En estas imágenes se ha indicado con detalle los polígonos de inundación asociados a únicamente al desbordamiento de los cauces debido al ingreso de los hidrogramas de las cuencas externas aguas arriba y a la descarga de las aguas pluviales por cuencas propias urbanas.

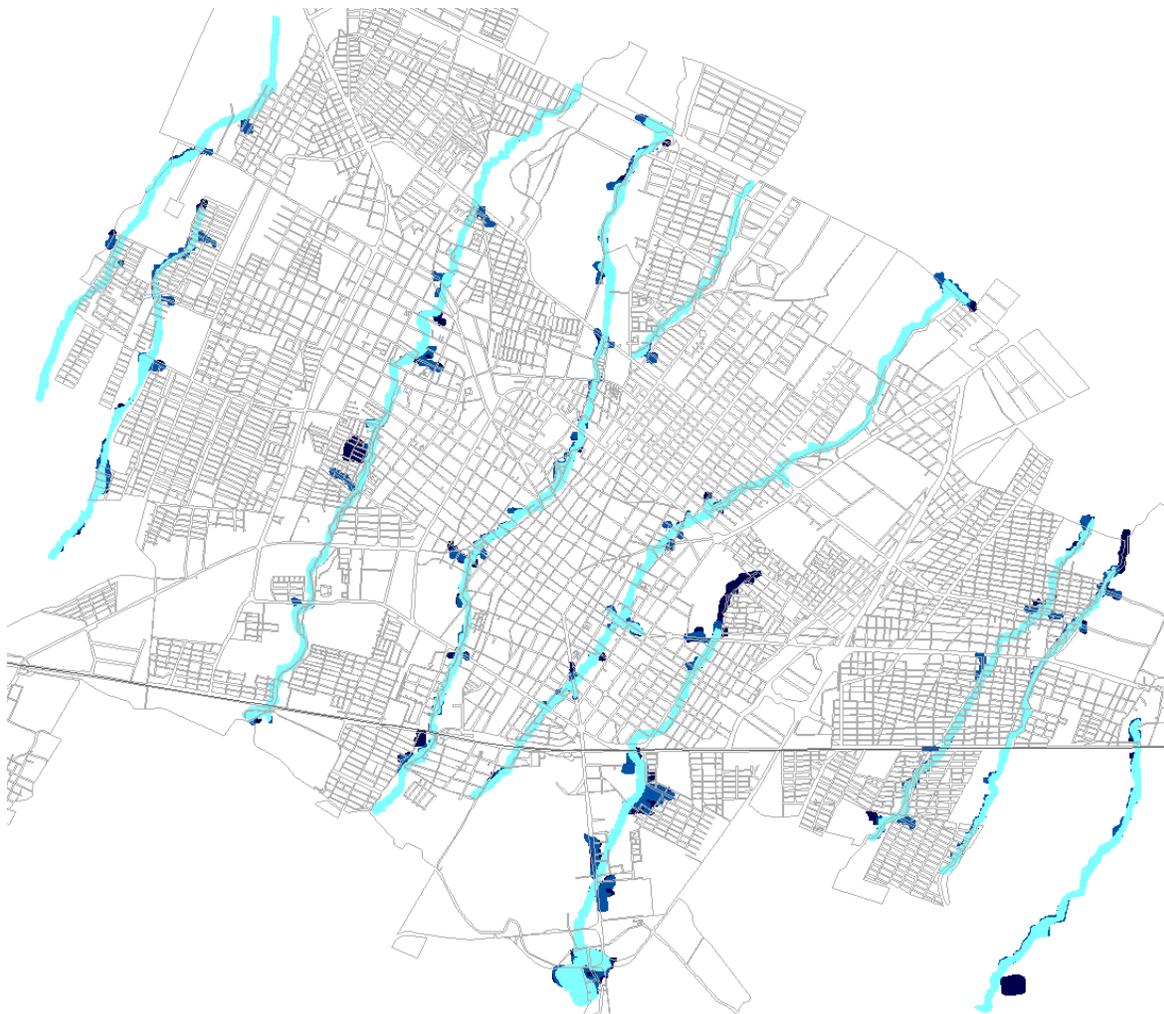


Figura 4.5 Definición de zonas asociadas a peligro de inundación. Zona conurbada Colima-Villa de Álvarez



Figura 4.6 Definición de zonas asociadas a peligro de inundación. Comala

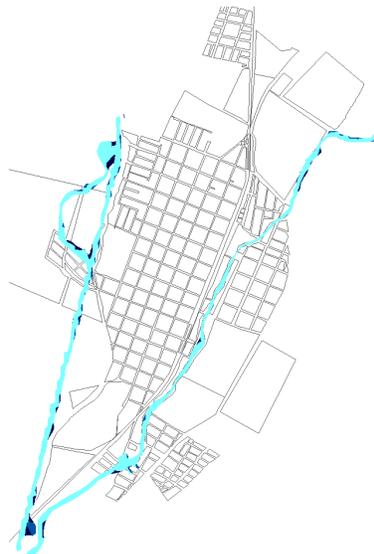


Figura 4.6 Definición de zonas asociadas a peligro de inundación. Coquimatlán

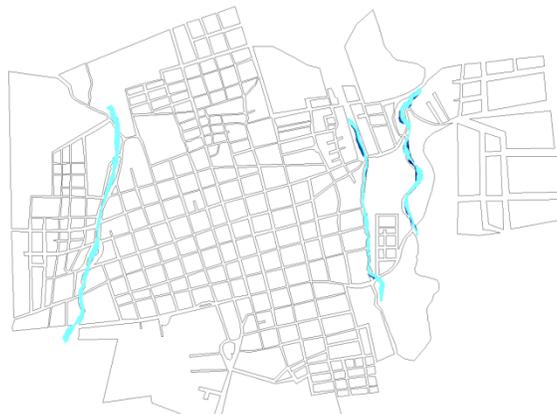


Figura 4.7 Definición de zonas asociadas a peligro de inundación. Cuauhtémoc

4.4 CRITERIOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE IMAGEN URBANA

Parte de los criterios para el manejo de las aguas son aquellos involucrados en las soluciones al tratamiento de la infraestructura hidráulica, como la ubicación los colectores marginales y sus pozos de visita, así como los criterios de los espacios residuales. En las siguientes figuras se presentan los criterios planteados. En los planos R04 a R08 del Anexo 7 se presentan el detalle de estas imágenes.

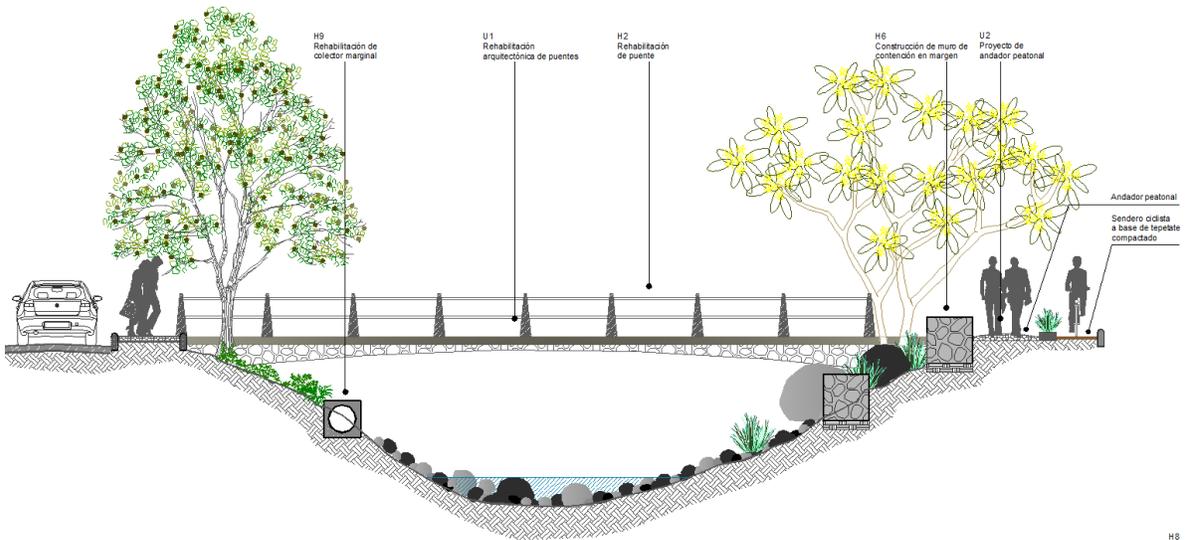


Figura 4.8 Ubicación de colectores marginales

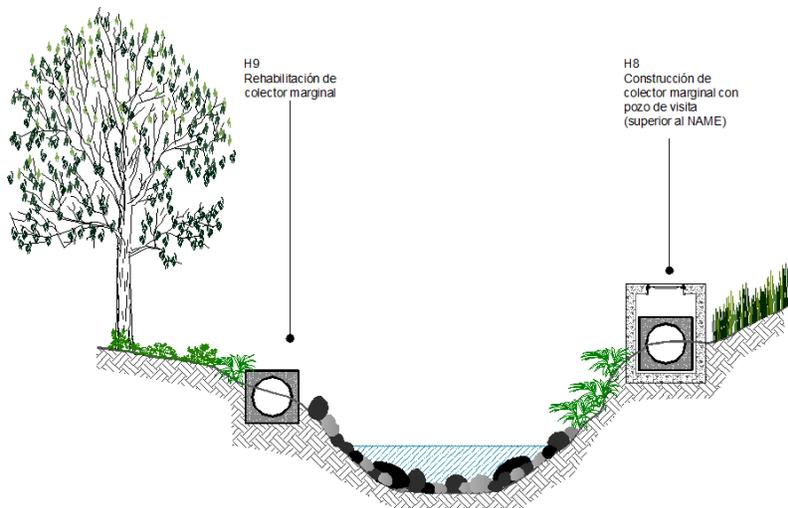


Figura 4.8 Ubicación de colectores marginales y pozos de visita

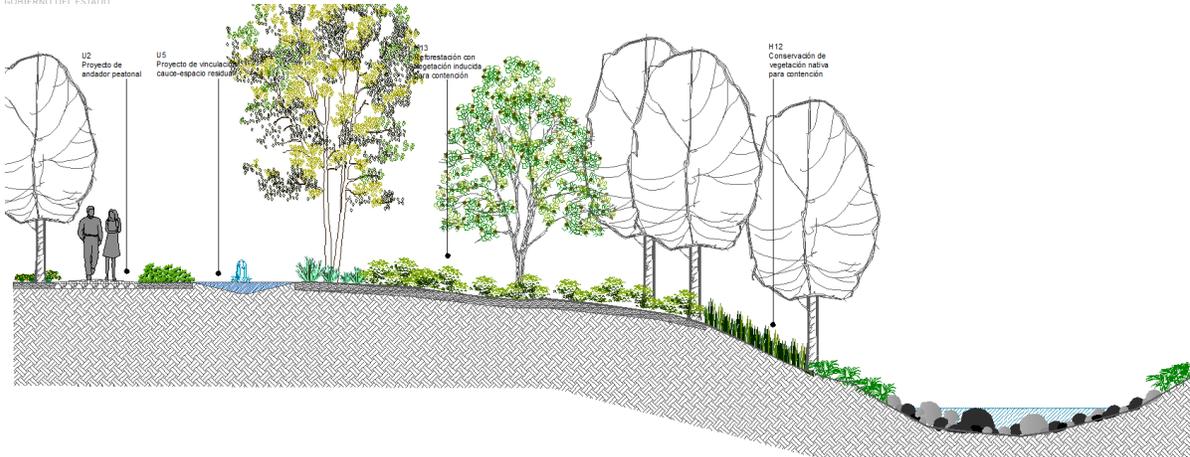


Figura 4.9 Tratamiento de espacios residuales en torno a los cauces

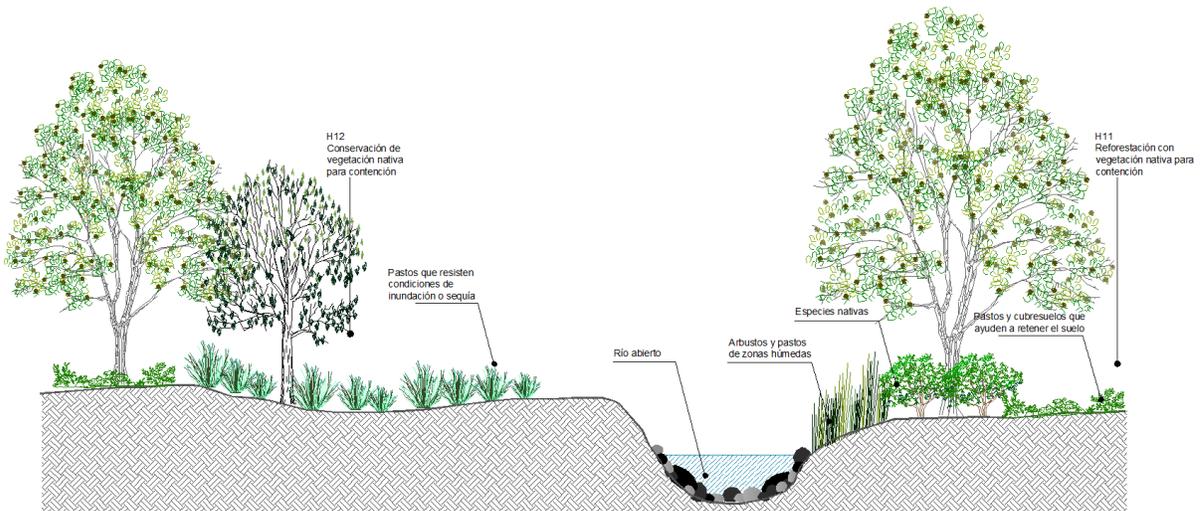


Figura 4.10 Tratamiento silvestre de espacios residuales en torno a los cauces

4.5 CRITERIOS PARA EL REUSO DE AGUA RESIDUAL TRATADA

El esquema actual de manejo del agua residual tratada (ART) en la Zona Metropolitana (ZM) es el adecuado, dadas las características geográficas y naturales de la zona de estudio. De manera general el esquema del manejo ART de la ZM es el que se muestra en la figura 4.11.

En la figura 4.11 se presenta un esquema en el cual las aguas, provenientes de las cuencas naturales es parcialmente aprovechada para entregarse en la ZMCVA, una vez utilizada el agua, se transforma en agua residual y es enviada por la red de alcantarillado a su correspondiente tratamiento, el único punto débil es la incorporación del agua de lluvia a la red de alcantarillado, misma que es enviada en forma mixta hacia la PTAR's. El agua de la lluvia propia en la ciudad

también es conducida a los cauces urbanos y tratada parcialmente cuando circulan por la parte baja del río Colima, en el caso de la zona conurbada. Estas aguas son utilizadas para el riego agrícola y otra parte vertidas directamente hacia las cuencas naturales y los cauces aguas abajo, en donde cumplen funciones ambientales. Es importante resaltar que dadas las condiciones de humedad en torno a los cauces urbanos, no es necesario incorporar las ART a dichos cauces, ya que ello implicaría un costo energético y económico importante, y tomando en consideración el diagnóstico de la infraestructura hidráulica, se podrán conservar los gastos ecológicos de las corrientes urbanas.

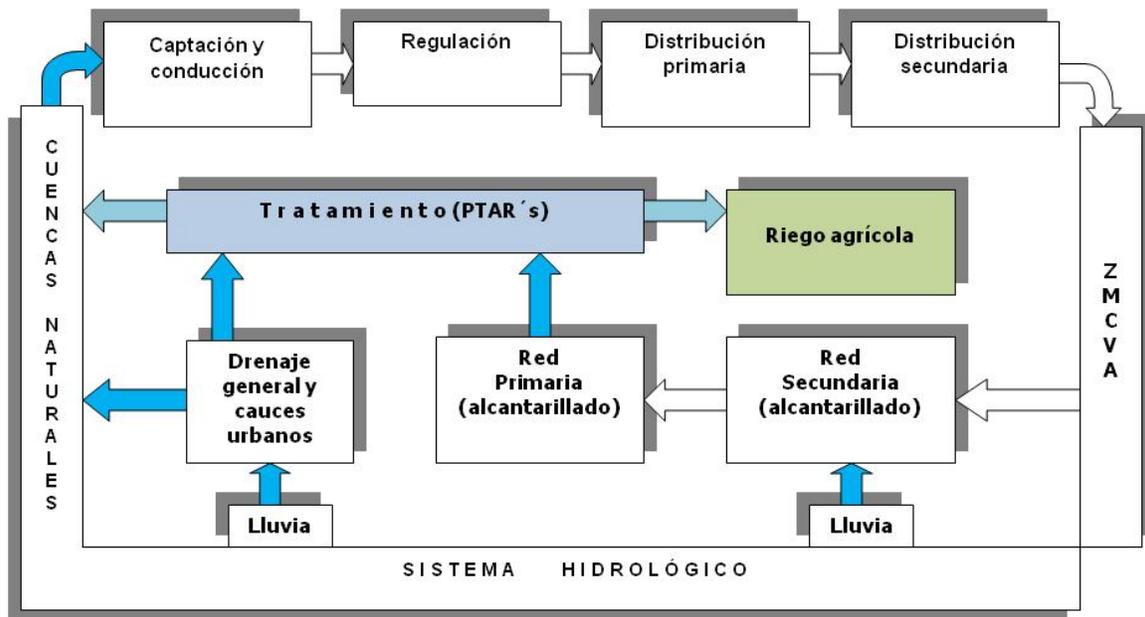


Figura 4.11 Esquema de re-uso de las ART en la ZMCVA

4.6 CRITERIOS PARA LA COSECHA DE DE AGUA DE LLUVIA

Dado que no existen zonas apropiadas para captar agua pluvial, debido a las características fisiográficas de la zona de estudio, con relativamente fuerte pendientes y escasas boquillas topográficas, además de que en este caso en particular, después de realizar el balance hidrológico local, se ha definido que a la fecha no es pertinente cosechar agua de lluvia en la ZMCVA, ya que el mejor modo de captar agua es mediante el cuidado del acuífero 0601 Colima, considerando las recomendaciones del diagnóstico de infraestructura hidráulica y los criterios del presente capítulo.

4.7 ACTUALIZACIÓN DE MANEJO INTEGRAL DEL AGUA DE RÍOS Y DE LLUVIA

Como se ha comentado en el esquema de la figura 4.11, de manera general el sistema hidráulico de la zona de estudio se encuentra en las condiciones adecuadas. A modo de propuesta de actualización, a) se observó la presencia de algunas descargas de aguas residuales en algunos cauces que requieren su manejo adecuado; b) se observó la presencia de procesos erosivos en algunos tramos de los cauces, para lo cual se propone el manejo adecuado de sus taludes; c) se observa el estrechamiento de algunos tramos de los cauces, para lo cual se propone ampliar la sección hidráulica de dichos tramos; d) se deberá identificar la zona federal en los tramos urbanos con que no se cuente dicha información; e) se debe resaltar mediante el tratamiento de propuestas de paisaje y de manejo de espacios residuales y arquitectónico de puentes, la identidad de los cauces urbanos para su mejor relación en la Zona Metropolitana.

En el siguiente capítulo se presenta el detalle de las acciones que componen a la propuesta del Plan de Manejo Integral de los Cauces Urbanos.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 5. PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

5.1 IMAGEN OBJETIVO DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

5.2 ANTEPROYECTO DEL PLAN DE MANEJO

5.3 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD SOCIAL

5.4 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

5.5 INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO

5. PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

Según De Barry, Rosgen ha desarrollado una clasificación de las corrientes más representativas utilizando una serie de nueve claves (Aa+, A, B, C, D, DA, E, F y G) basadas en las características morfodinámicas de los ríos, tales como: estrechamiento, pendiente, relación ancho/profundidad y sinuosidad, como se presenta en la figura 5.1. Cada una de las clasificaciones tiene asociada una gran cantidad de información que puede ser utilizada en la ingeniería, la planificación, en la biología, en la restauración de cauces, y puede encontrarse mayor detalle en la bibliografía Rosgen's book (1996).

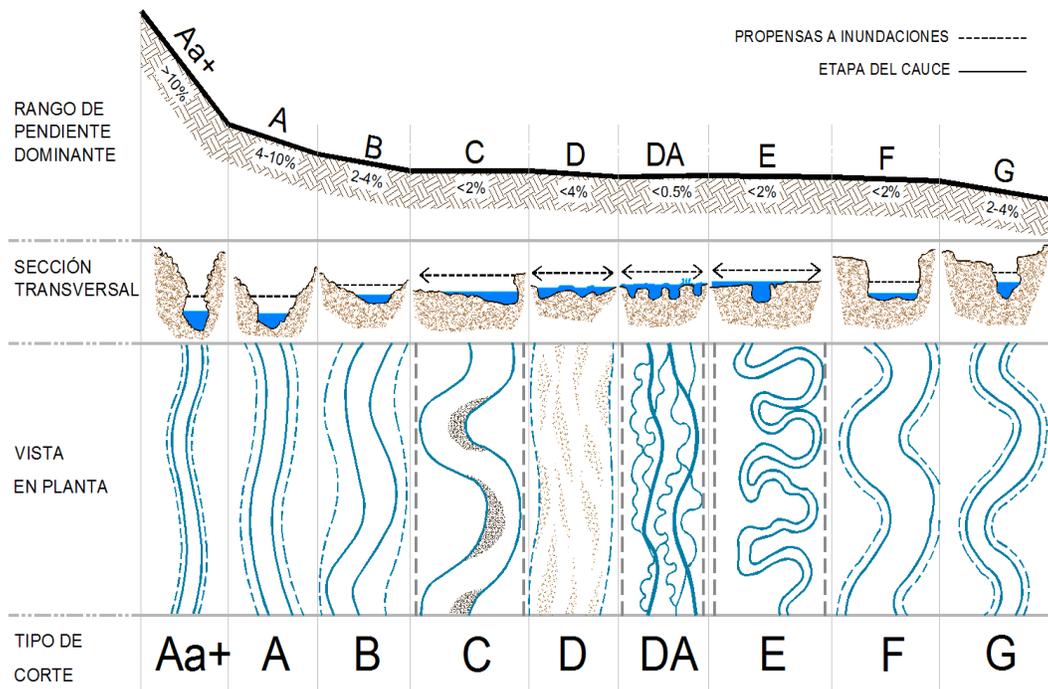


Figura 5.1. Sección longitudinal, transversal y vista en planta de corrientes según Rosgen

En los proyectos de intervención sobre cauces urbanos se aplican diferentes acciones y resultados esperados, tales como rescate, saneamiento, rehabilitación y restauración. De estos términos, se puede considerar que el rescate es el más abierto y ambiguo de ellos, ya que persigue convocar a diferentes grupos interesados en organizar una acción colectiva para frenar el deterioro ambiental de una corriente y recuperar su valor en el espacio urbano, sin embargo su uso no precisa en qué grado se efectuará la acción de rescate. El saneamiento tiene como finalidad limpiar el agua contaminada, es decir, que tiene su acción se reduce a frenar los efectos negativos presentes en una corriente: contaminación por agua residual y desechos sólidos que pueden generar enfermedades a la población. El término restauración se entiende como la realización de acciones para que se replique el ecosistema original en lo mayor posible, es decir, al escenario anterior al que los asentamientos humanos tuvieron efectos sobre la corriente y su entorno ambiental. La restauración tiene aplicación objetiva en sistemas ambientales poco intervenidos, caso contrario a los cauces urbanos, pues su contaminación por descargas residuales y de residuos sólidos, así como las intervenciones hidráulicas en su tramo urbanizado hacen muy complicado llevar a cabo una restauración. En estos ríos urbanos, a dicha restauración también se le ha considerado como rehabilitación, que incluye a la recuperación factible de elementos del ecosistema, así como a la incorporación de los cuerpos de agua al paisaje urbano. En general se puede asociar el término restaurar a la zona natural, y rehabilitar a la zona urbana consolidada.

La metodología propuesta para plantear la restauración de cauces urbanos tiene objetivo plantear una intervención de múltiples propósitos con visión integral, para lo cual se deben desarrollar las siguientes etapas: a) diagnóstico del estado actual; b) valoración de aptitudes de cada corriente por zonas; c) participación social e intergubernamental; d) planificación; y e) desarrollo de proyectos e instrumentos en torno a los cauces. En este documento se incluyen únicamente las dos primeras etapas de la metodología para llevar a cabo la restauración.

El diagnóstico no se limita únicamente al cauce en su tramo urbano, sino que tiene como área de estudio a la cuenca, que implica una frontera fisiográfica de carácter ambiental. La caracterización morfológica se realizará utilizando la clasificación de Rosgen. Para el análisis hidráulico se han aplicado los modelos numéricos de flujo bidimensional, en función de la información topográfica disponible. Posteriormente se determina la relación, en espacio y tiempo, entre el cauce y la ciudad, lo cual permitirá asociar algunas causas históricas que han propiciado el estado actual de la corriente. Debe resaltarse que en este punto no aplica la delimitación política de más de dos municipios por los que cruce una corriente. Para la zonificación se realizaron recorridos sobre los cauces para identificar dichas zonas con diferentes características de carácter ambiental y urbano.

La identificación de aptitudes del cauces por tramo, considerará a las siguientes variables del medio físico-ambiental: pendiente, asoleamiento, vegetación, presencia de gasto base, fauna, presencia de azolves y barreras visuales naturales; mientras que del medio urbano al uso de suelo, presencia de puentes, tipos de vialidad, transporte público, densidad de población, presencia de hitos y barreras visuales artificiales. La valoración de estas variables y su correspondiente combinación arroja tres grandes aptitudes del tramo de cauce en estudio: conservación, rehabilitación e intervención para aprovechamiento y sus correspondientes combinaciones. Se desarrolló para tal fin una matriz de valoración de cada una de estas variables para identificar la tendencia de vocación y se definió así la aptitud de cada corriente.

Los cauces de estudio tienen en promedio una pendiente media del 2.5%, por lo que se asocia la clasificación B de Rosgen, lo cual se puede verificar con los trazos de sus plantas presentados en las figuras 5.2 a 5.18. Este tipo de cauces de clasificación B, según Rosgen, tienen un atrincheramiento moderado de sección transversal, gradiente medio, son canales de flujo rápido, con cuerpos de agua no frecuentes y espaciados, en planta y con secciones estables. A partir de esta clasificación se realizaron recorridos de campo para verificar las características de la corriente y se documentó su paleta vegetal, mismo que se encuentra en el Anexo 6.

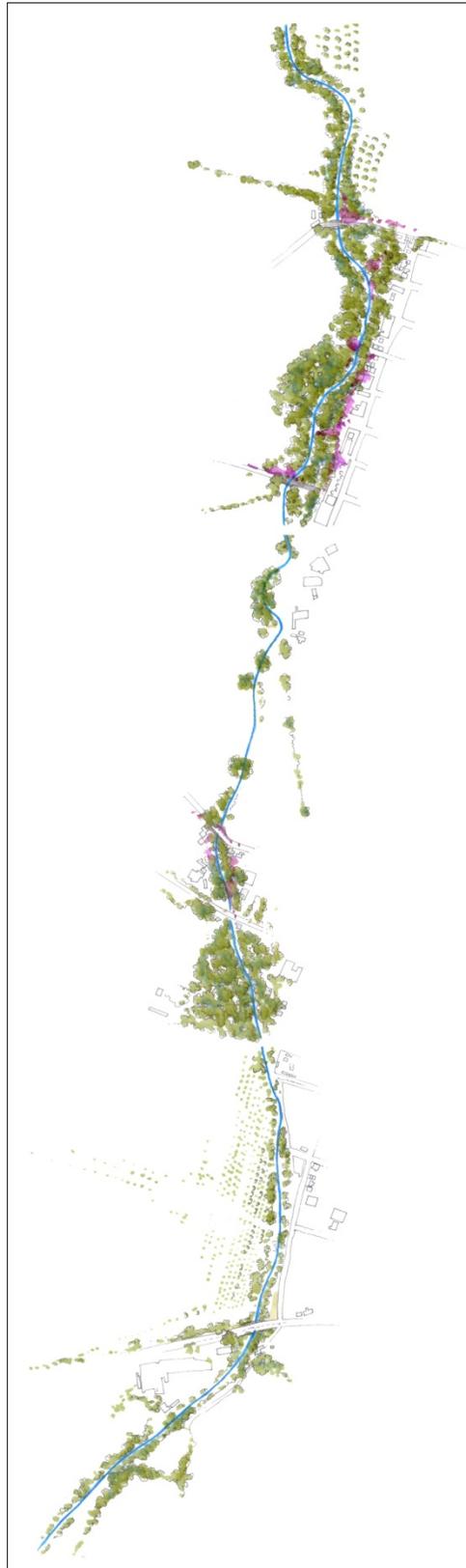
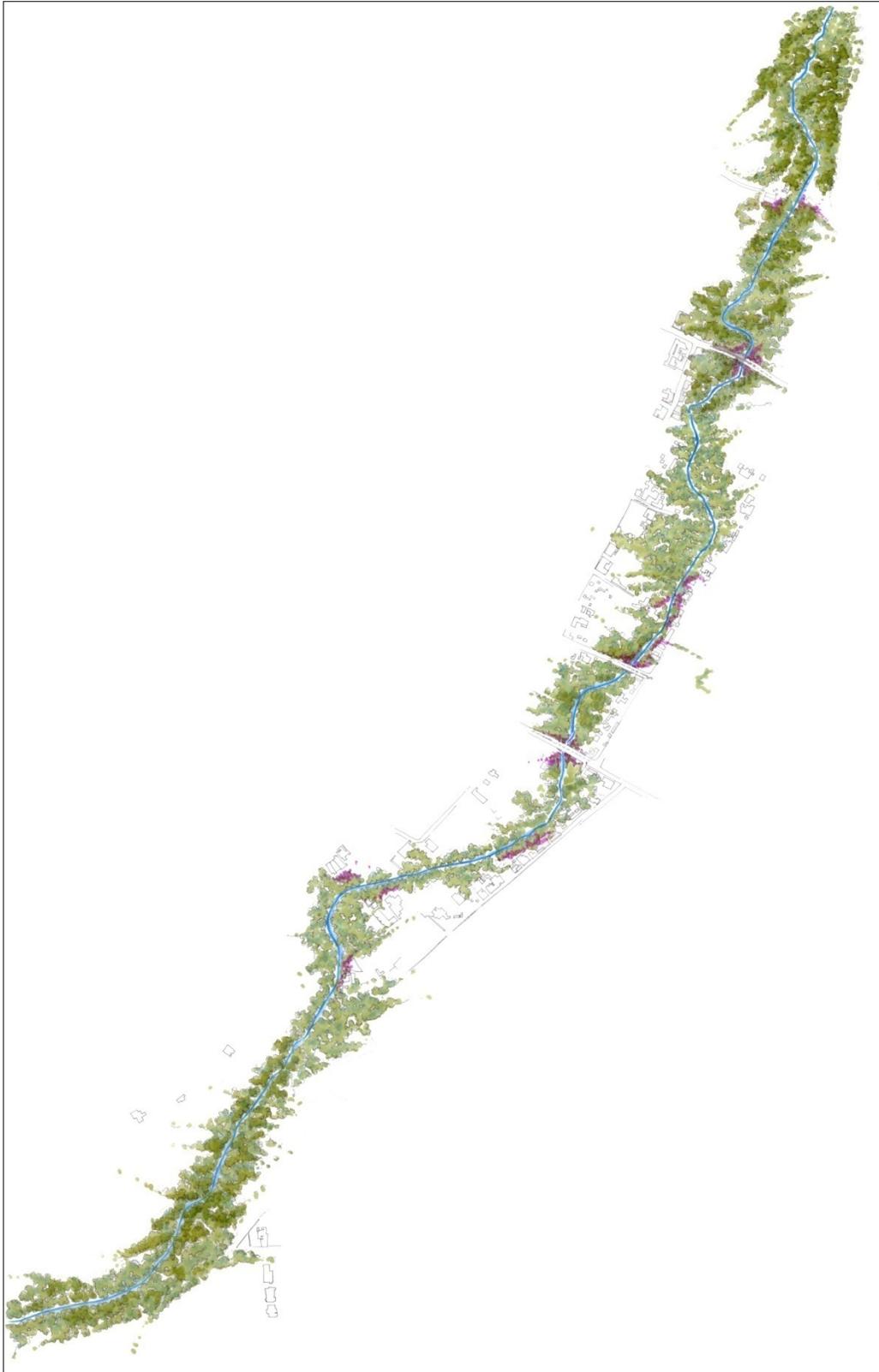


Figura 5.2 Planta general del cauce CE01 Arroyo Seco, Coquimatlán



Figura 5.3 Planta general del cauce CE02 Arroyo Los Limones, Coquimatlán



PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA DE COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

Figura 5.4 Planta general del cauce CE03 Arroyo San Juan, Comala

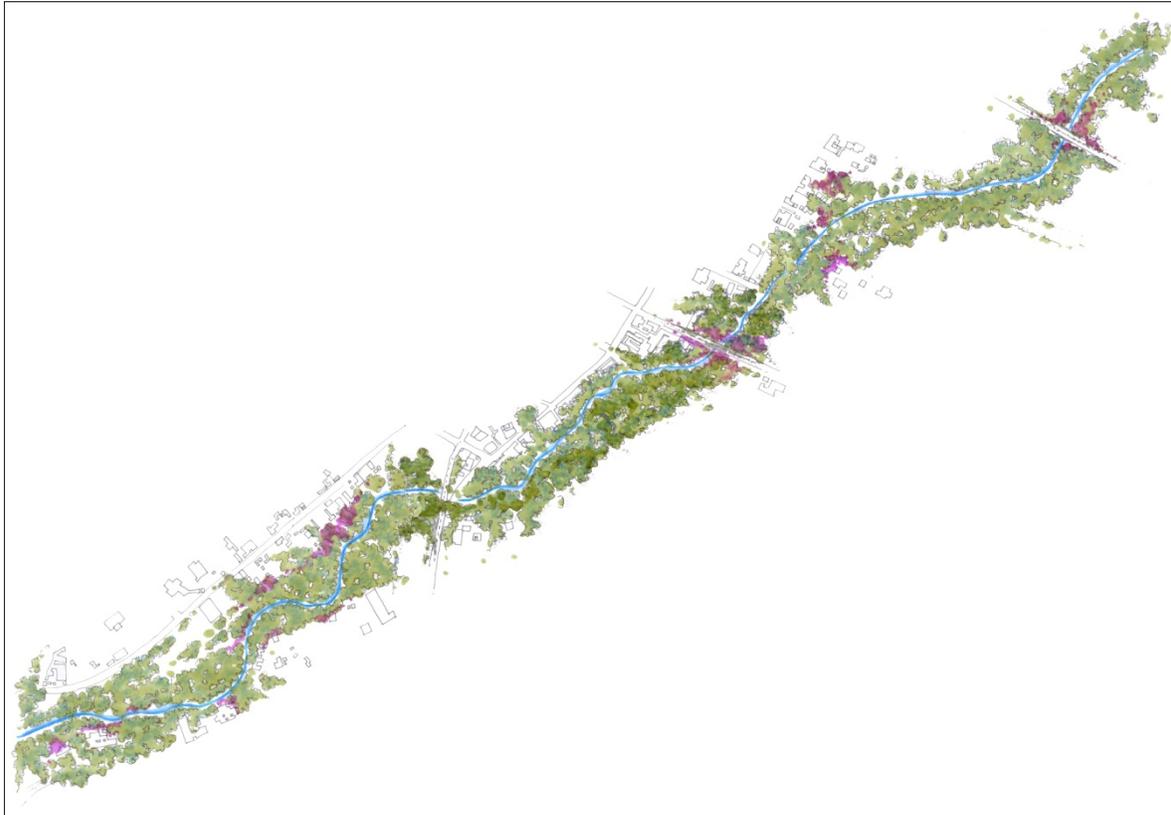


Figura 5.5 Planta general del cauce CE04 Arroyo Suchitlán, Comala

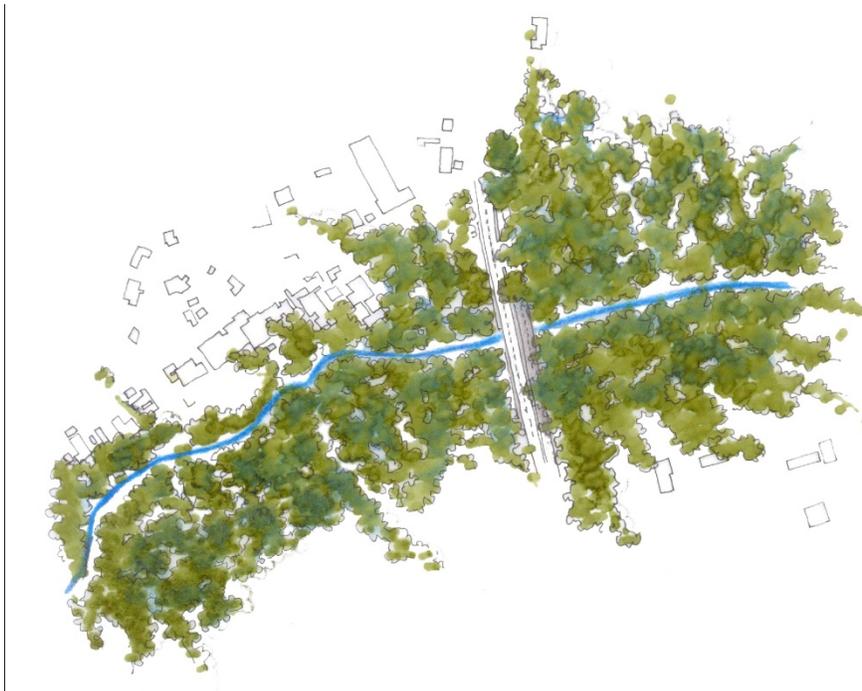


Figura 5.6 Planta general del cauce CE05 Arroyo Tía Barragana, Comala



Figura 5.7 Planta general del cauce CE06 Arroyo Poniente, Villa de Álvarez



Figura 5.8 Planta general del cauce CE07 Arroyo El Trejo, Villa de Álvarez

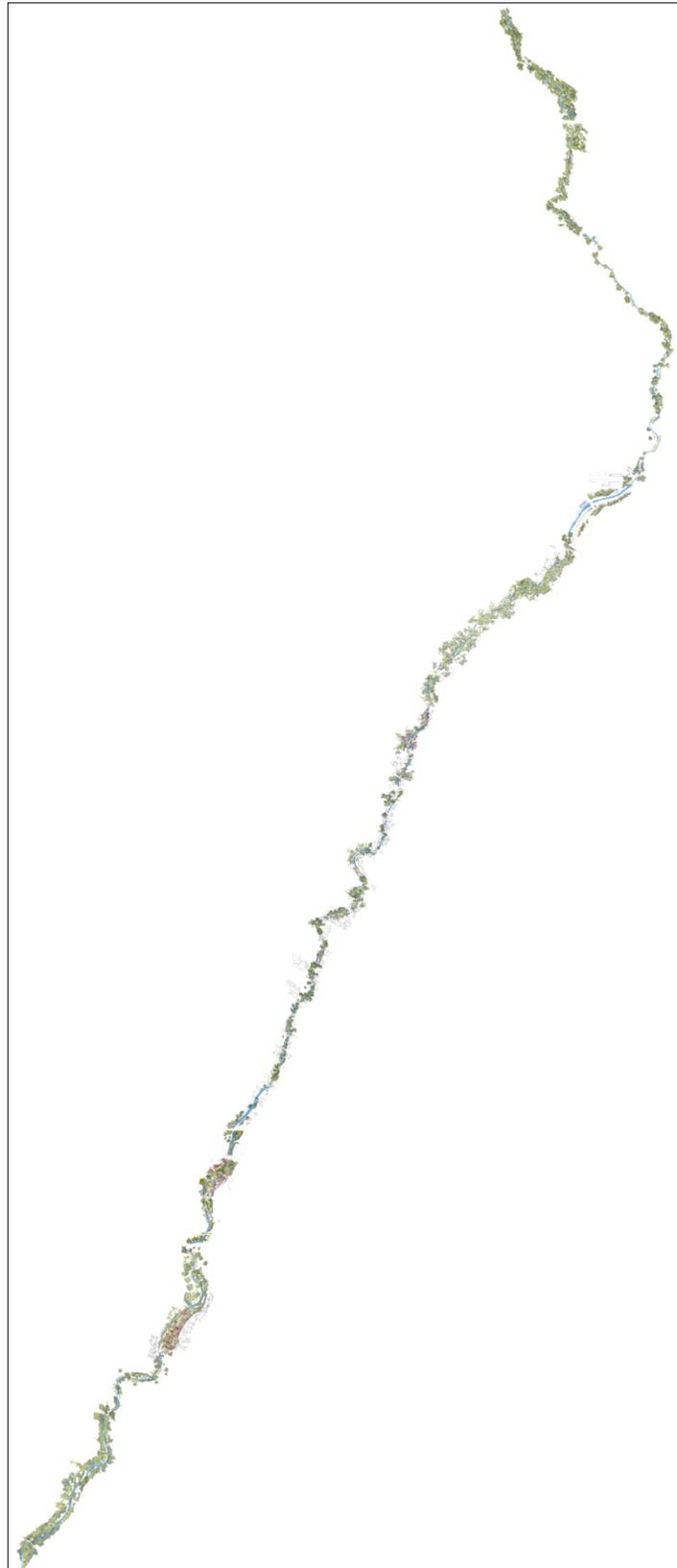


Figura 5.9 Planta general del cauce CE08 Arroyo Pereyra, Zona Conurbada



Figura 5.10 Planta general del cauce CE09 Río Colima, Colima

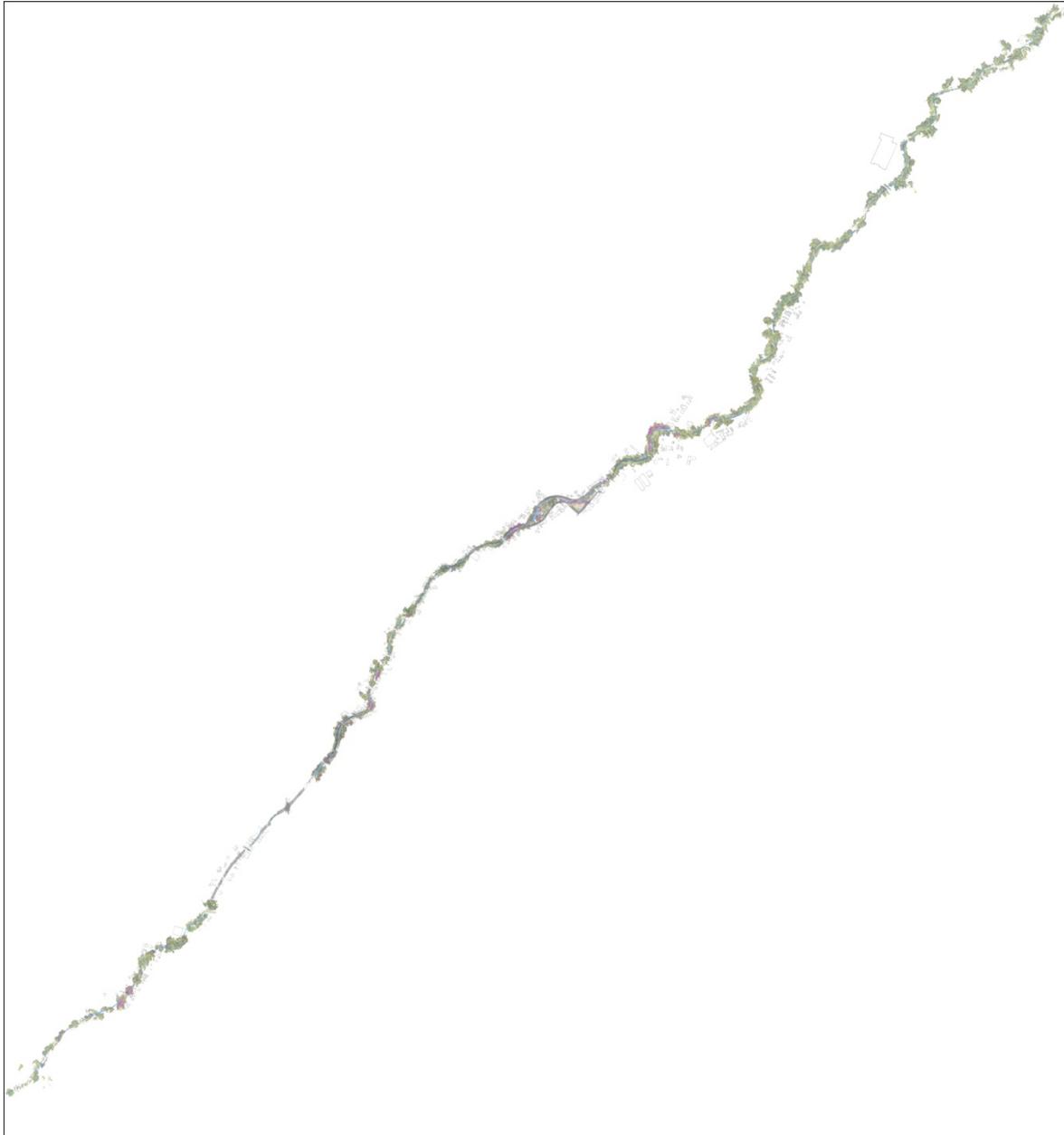


Figura 5.11 Planta general del cauce CE10 Arroyo Manrique, Colima



Figura 5.12 Planta general del cauce CE11 Arroyo El Tecoltero, Colima



Figura 5.13 Planta general del cauce CE12 Arroyo Los Volcanes, Colima



Figura 5.14 Planta general del cauce CE13 Arroyo El Jazmín, Colima



Figura 5.15 Planta general del cauce CE14 Arroyo Las Grullas, Colima



Figura 5.16 Planta general del cauce CE15 Arroyo Los Canelos, Cuauhtémoc

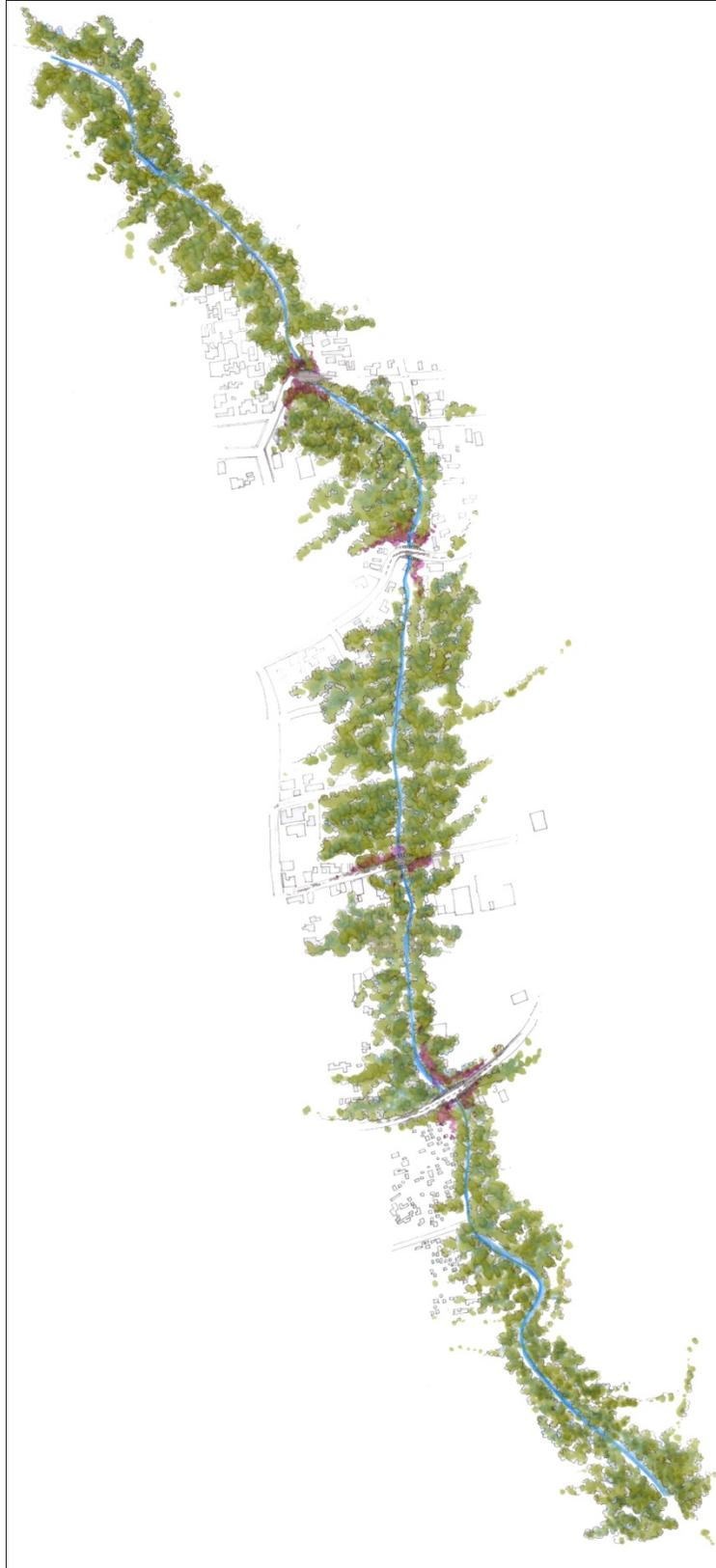


Figura 5.17 Planta general del cauce CE16 Arroyo Gumersinda, Cuauhtémoc



Figura 5.18 Planta general del cauce CE17 Arroyo La Primavera, Cuauhtémoc



Figura 5.19 Planta general del tributario del CE09 Campos



Figura 5.20 Planta general del tributario del CE08 El Diablo



Figura 5.21 Planta general del tributario del CE08 El Trastes

A partir de esta información, se ha propuesto una matriz de valoración de las variables descritas en la metodología, mismas que se han valorado con la información de campo y en gabinete. Cada una de las zonas se ha asociado a tres aptitudes: conservación, rehabilitación e intervención. A partir de la moda se asociará la aptitud general de cada zona del tramo en estudio. En las figura 5.19 a 5.36 se presenta el resultado de la aplicación de la matriz a cada uno de los cauces de estudio.

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO EL SECO							
Polígonos de Zonificación							
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3	4
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0	0		
		2.5 al 5.0%			0		
		0 al 2.5%				0	
	Asoleamiento	Bajo		0			
		Medio			0	0	0
		Alto					0
	Vegetación	Silvestre		0	0		
		Producción					
		Sin Vegetación			0	0	
	Cauce	Introducida Ornamental					
		(C) Base y Rumor					
		Intermitente Rugoso			0	0	0
	Fauna	Intermitente y No Rugoso					0
		(G) Base y Suave					
		Natural		0			
	Transporte Sedimentación	Introducida			0	0	0
		Sin Fauna					
	Barrera Visual Vegetal	Erosión			0	0	0
		Sedimentación					0
	MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Si		0		
No					0	0	
Industrial y/o Agrícola Pecuano					0	0	
Número de Puentes		Habitacional				0	0
		Equipamiento-Comercial- Recreativo					
		No hay					
Acceso Puentes		Bajo número de puentes			0	0	0
		Alto número de puentes					0
		Sin Acceso					
Vialidades		Difícil Acceso			0	0	0
		Fácil Acceso					0
		No Aplica					
Transporte Público		Local			0	0	0
		Secundaria					
		Primaria					
Densidad de Población por AGEB		Bajo-Local			0	0	0
		Masivo					
		Densidad menor a la media con mayoría de Adultos			0	0	
Hitos, Equipamiento y Comercial		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos					0
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes					
	Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes					0	
Barrera Visual	Lejano o Nulo			0	0	0	
	Regular						
	Radio de interacción /Cercano						
Simbología polígono	Si			0			
	No			0	0	0	
Definición Polígono			Conservación	Rehabilitación	Intervención Local	Rehabilitación	

Figura 5.22 Matriz de aptitudes del cauce CE01 Arroyo Seco, Coquimatlán

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO LOS LIMONES							
Polígonos de Zonificación							
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3 4	
MEDIO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0	0	0	
		2.5 al 5.0%					
		0 al 2.5%				0	
	Asoleamiento	Bajo		0	0	0	
		Medio				0	
		Alto					
	Vegetación	Silvestre		0	0	0	
		Producción				0	
		Sin Vegetación					
		Introducida Ornamental					
	Cauce	(Q) Base y Rumor		0	0		
		Intermitente Rugoso					
		Intermitente y No Rugoso					
		(Q) Base y Suave				0 0	
	Fauna	Natural		0	0		
		Introducida					
		Sin Fauna				0 0	
	Transporte Sedimentación	Erosión		0	0	0	
		Sedimentación				0	
	Barrera Visual Vegetal	Si		0	0		
		No				0 0	
	MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/a Agrícola Pecuario		0	0	0
			Habitacional				0
			Equipamiento -Comercial- Recreativo				0
Número de Puentes		No hay		0			
		Bajo número de puentes				0 0 0	
		Alto número de puentes				0	
Acceso Puentes		Sin Acceso					
		Difícil Acceso				0 0 0	
		Fácil Acceso					
		No Aplica				0	
Vialidades		Local		0	0	0 0	
		Secundaria					
		Primaria					
Transporte Público		Bajo-Local		0	0	0 0	
		Masivo					
Densidad de Población por AGEB		Densidad menor a la media con mayoría de Adultos					
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos		0	0	0	
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes				0	
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes					
Hitos, Equipamiento y Comercial		Lejano o Nulo				0	
		Regular					
Barrera Visual		Radio de Interacción / Cercano		0	0	0	
		Si				0	
		No				0 0 0	
Simbología polígono							
Definición Polígono			Conservación	Conservación-Rehabilitación	Rehabilitación	Conservación	

Figura 5.23 Matriz de aptitudes del cauce CE02 Arroyo Los Limones, Coquimatlán

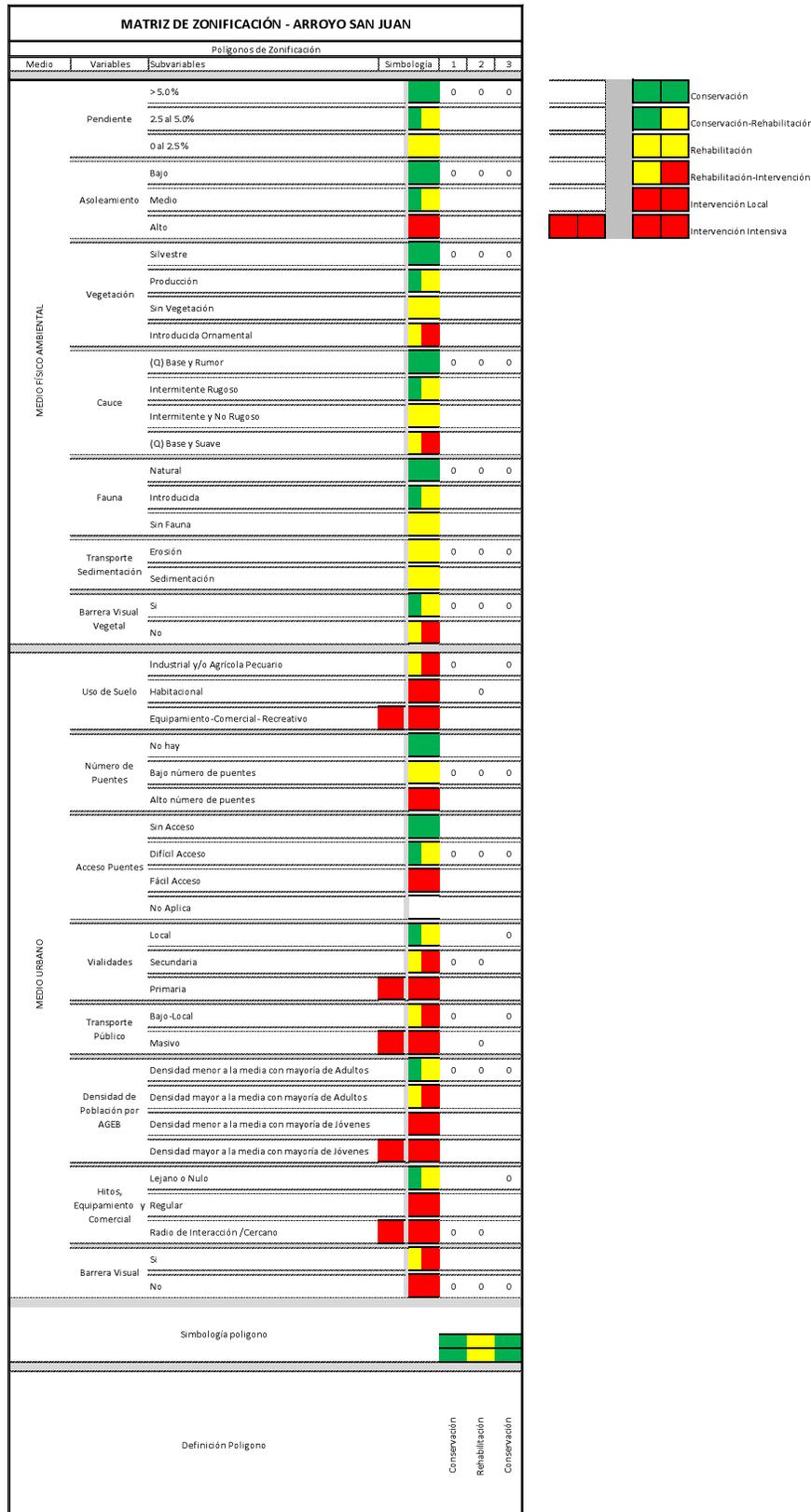


Figura 5.24 Matriz de aptitudes del cauce CE03 Arroyo San Juan, Comala

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO SUCHITLAN				
Polígonos de Zonificación				
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0
		2.5 al 5.0%		
		0 al 2.5%		
	Asoleamiento	Baja		0
		Medio		
		Alto		
	Vegetación	Silvestre		0
		Producción		
		Sin Vegetación		
		Introducida Ornamental		
	Cauce	(Q) Base y Rumor		0
		Intermitente Rugoso		
		Intermitente y No Rugoso		
		(Q) Base y Suave		
	Fauna	Natural		0
		Introducida		
		Sin Fauna		
	Transporte Sedimentación	Erosión		0
		sedimentación		
	Barrera Visual Vegetal	Si		0
No				
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario		0
		Habitacional		
		Equipamiento-Comercial- Recreativo		
	Número de Puentes	No hay		
		Bajo número de puentes		0
		Alto número de puentes		
	Acceso Puentes	Sin Acceso		
		Difícil Acceso		0
		Fácil Acceso		
		No Aplica		
	Vialidades	Local		
		Secundaria		
		Primaria		0
	Transporte Público	Bajo-Local		
		Masivo		0
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos		0
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos		
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes		
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes		
	Hitos, Equipamiento Comercial y Regular	Lejano o Nulo		0
Radio de Interacción/Cercano				
Radio de Interacción/Cercano				
Barrera Visual	Si			
	No		0	
Simbología polígono				
Definición Polígono				Conservación

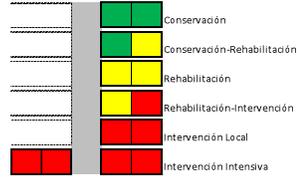


Figura 5.25 Matriz de aptitudes del cauce CE04 Arroyo Suchitlán, Comala

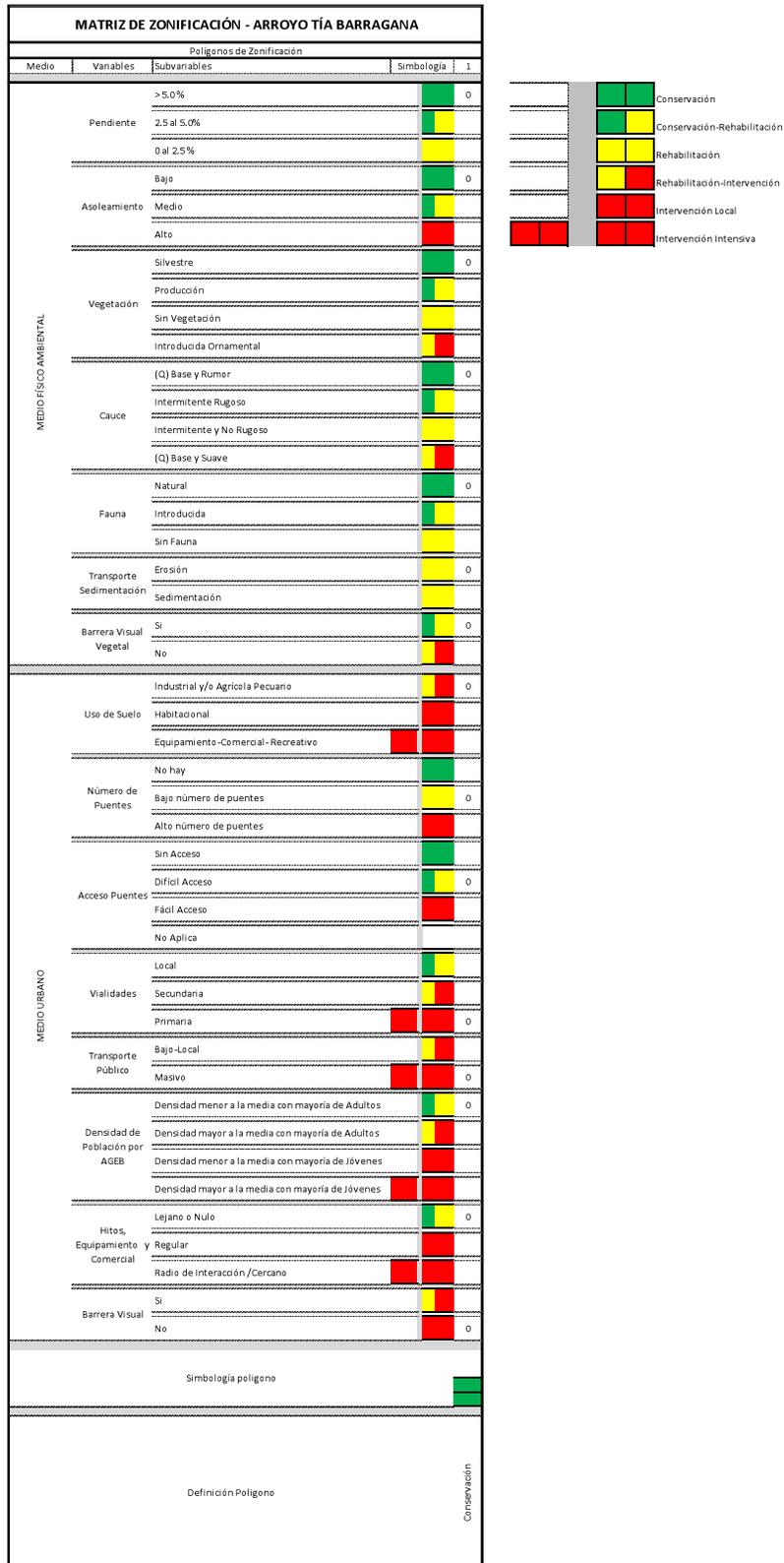


Figura 5.26 Matriz de aptitudes del cauce CE05 Arroyo Tía Barragana, Comala

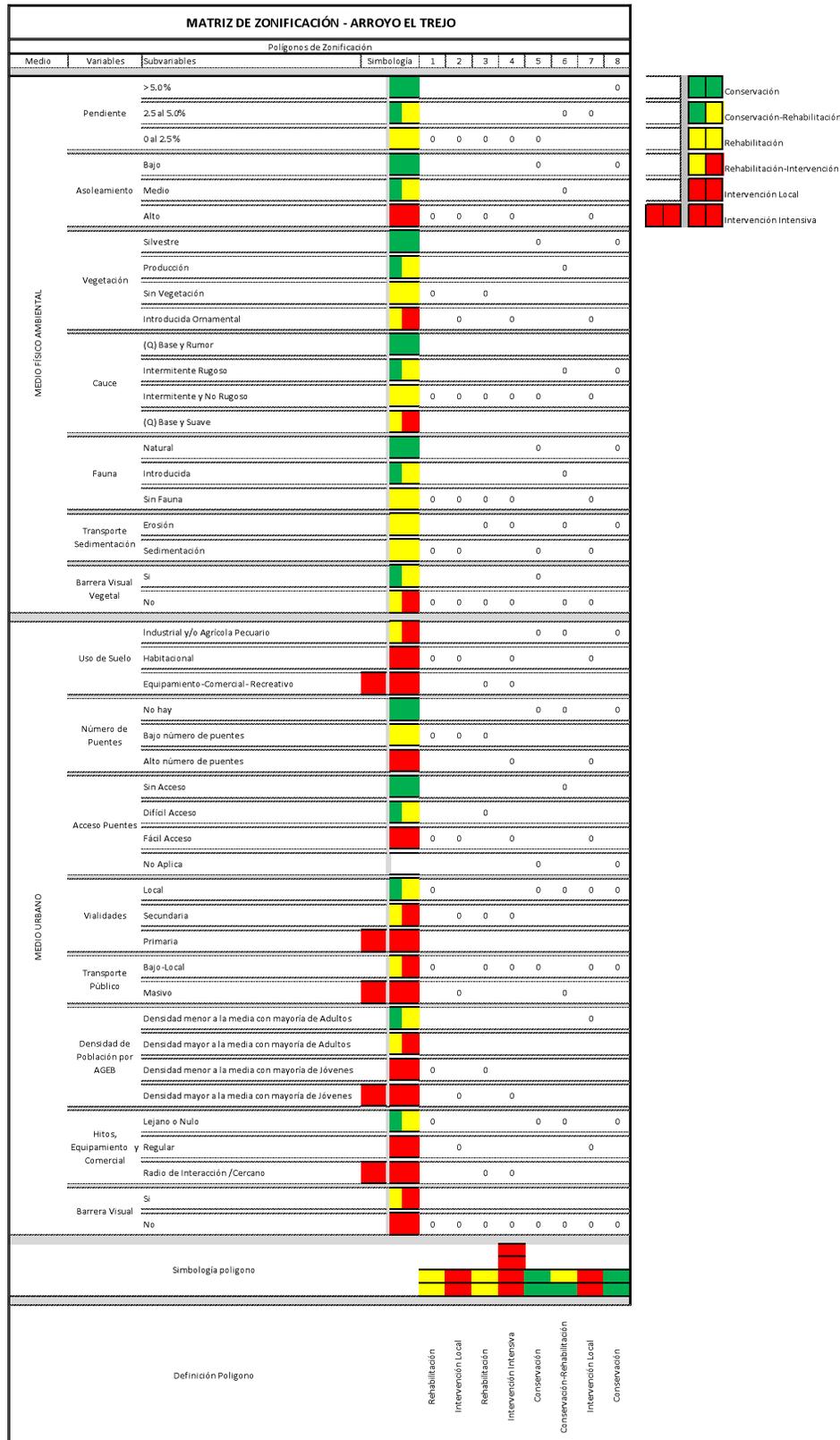


Figura 5.27 Matriz de aptitudes del cauce CE07 Arroyo El Trejo, Villa de Álvarez

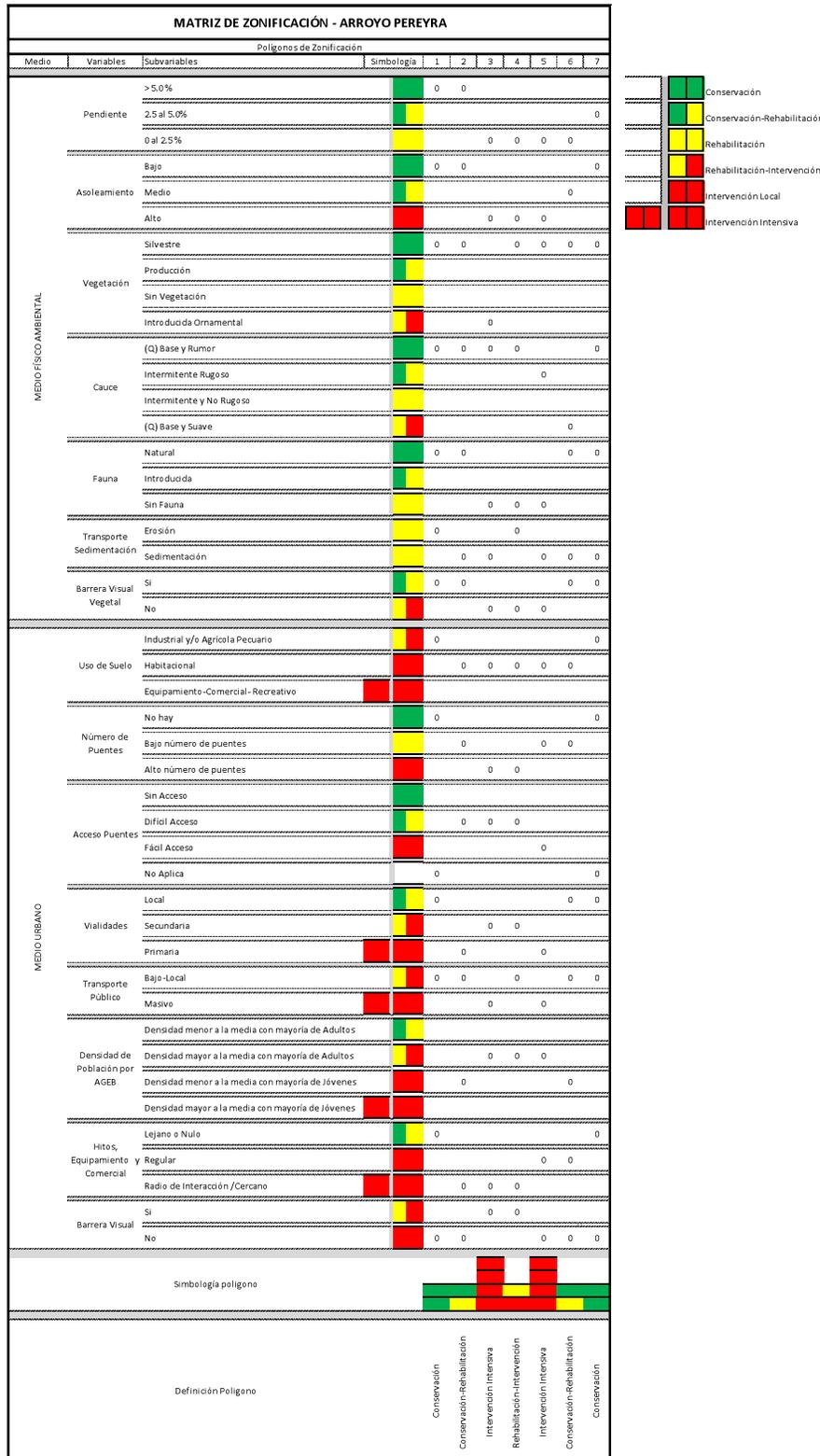


Figura 5.28 Matriz de aptitudes del cauce CE08 Arroyo Pereyra, Zona Conurbada

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - RÍO COLIMA																	
Medio	Variables	Subvariables	Polígonos de Zonificación														
			Simbología	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0	0												
		2.5 al 5.0%		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0 al 2.5%														0	
	Asoleamiento	Bajo		0	0	0										0	0
		Medio					0	0	0						0	0	
		Alto								0	0						
	Vegetación	Silvestre		0	0						0					0	0
		Producción				0	0										
		Sin Vegetación															
		Introducida Ornamental								0	0				0	0	0
		(Q) Base y Rumor			0	0											
	Cauce	Intermitente Rugoso															
		Intermitente y No Rugoso															
		(Q) Base y Suave				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Natural		0	0						0					0	0
	Fauna	Introducida			0	0											
		Sin Fauna									0	0	0	0	0	0	0
		Transporte Sedimentación				0	0	0	0								
	Barrera Visual Vegetal	Si		0	0	0										0	0
		No					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario			0	0	0										
		Habitacional					0	0	0							0	0
		Equipamiento-Comercial- Recreativo									0	0	0	0			
	Número de Puentes	No hay		0	0												
		Bajo número de puentes					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Alto número de puentes							0		0						
	Acceso Puentes	Sin Acceso															0
		Difícil Acceso							0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Fácil Acceso					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		No Aplica		0	0												
	Vialidades	Local			0	0					0					0	0
		Secundaria							0	0					0		
		Primaria					0	0			0	0	0	0			
	Transporte Público	Bajo-Local			0	0					0	0	0	0	0	0	0
		Masivo					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos					0				0	0	0	0	0	0	0
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos									0	0					
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes									0						0
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes															0
	Hitos, Equipamiento y Comercial	Lejano o Nulo			0	0										0	0
Regular						0											
Radio de Interacción / Cercano								0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Barrera Visual	Si					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	No					0	0			0				0	0	0	
Simbología polígono																	
Definición Polígono			Conservación	Conservación-Rehabilitación	Rehabilitación	Rehabilitación-intervención	Intervención Local	Rehabilitación-intervención	Intervención Local	Intervención Intensiva	Rehabilitación-intervención	Intervención Local	Conservación-Rehabilitación	Conservación			

Figura 5.29 Matriz de aptitudes del cauce CE09 Río Colima, Colima

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO MANRIQUE																			
Medio	Variables	Subvariables	Polígonos de Zonificación																
			Simbología	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%	Conservación	0	0	0													
		2.5 al 5.0%	Conservación-Rehabilitación			0		0											
		0 al 2.5%	Rehabilitación								0	0	0	0					
	Asoleamiento	Bajo	Conservación	0	0														
		Medio	Conservación-Rehabilitación			0		0											
		Alto	Rehabilitación-Intervención					0		0	0								
	Vegetación	Silvestre	Conservación	0	0													0	
		Producción	Conservación-Rehabilitación															0	
		Sin Vegetación	Rehabilitación															0	
		Introducida Ornamental	Rehabilitación-Intervención					0	0		0	0							
	Cauce	(Q) Base y Rumor	Conservación	0	0	0	0	0	0										
		Intermitente Rugoso	Conservación-Rehabilitación																
		Intermitente y No Rugoso	Rehabilitación															0	
		(Q) Base y Suave	Rehabilitación-Intervención					0										0	
	Fauna	Natural	Conservación	0	0													0	
		Introducida	Conservación-Rehabilitación								0								
		Sin Fauna	Rehabilitación									0	0	0	0				
	Transporte Sedimentación	Erosión	Rehabilitación			0	0	0				0							
		Sedimentación	Rehabilitación-Intervención					0			0			0	0	0	0		
	Barrera Visual Vegetal	Si	Conservación-Rehabilitación			0	0											0	
No		Rehabilitación-Intervención					0	0		0	0		0	0			0		
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario	Rehabilitación-Intervención														0	0	
		Habitacional	Rehabilitación-Intervención					0	0	0		0							
		Equipamiento-Comercial- Recreativo	Intervención Local										0		0				
	Número de Puentes	No hay	Conservación	0															
		Bajo número de puentes	Conservación-Rehabilitación					0	0									0	
		Alto número de puentes	Rehabilitación-Intervención							0	0	0	0						
	Acceso Puentes	Sin Acceso	Conservación									0		0				0	
		Difícil Acceso	Conservación-Rehabilitación					0	0			0						0	
		Fácil Acceso	Rehabilitación-Intervención							0									
		No Aplica	Conservación	0															
	Vialidades	Local	Conservación-Rehabilitación			0	0		0	0								0	0
		Secundaria	Rehabilitación-Intervención											0					
		Primaria	Intervención Local												0				
	Transporte Público	Bajo-Local	Conservación-Rehabilitación			0	0		0	0								0	0
		Masivo	Rehabilitación-Intervención									0		0	0				
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos	Conservación-Rehabilitación			0	0	0		0	0								
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos	Rehabilitación-Intervención																
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes	Rehabilitación-Intervención																0
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes	Intervención Local																
	Hitos, Equipamiento y Comercial	Lejano o Nulo	Conservación-Rehabilitación			0													0
Regular		Rehabilitación-Intervención					0	0		0	0								
Radio de Interacción /Cercano		Intervención Local												0			0		
Barrera Visual	Si	Conservación-Rehabilitación			0						0	0	0						
	No	Rehabilitación-Intervención					0	0	0								0		
Simbología polígono																			
Definición Polígono			<p>Conservación</p> <p>Conservación-Rehabilitación</p> <p>Rehabilitación-Intervención</p> <p>Intervención Local</p> <p>Embovedado</p> <p>Rehabilitación</p> <p>Intervención Intensiva</p> <p>Embovedado</p> <p>Rehabilitación</p> <p>Embovedado</p> <p>Conservación-Rehabilitación</p> <p>Conservación</p>																

Figura 5.30 Matriz de aptitudes del cauce CE10 Arroyo Manrique, Colima

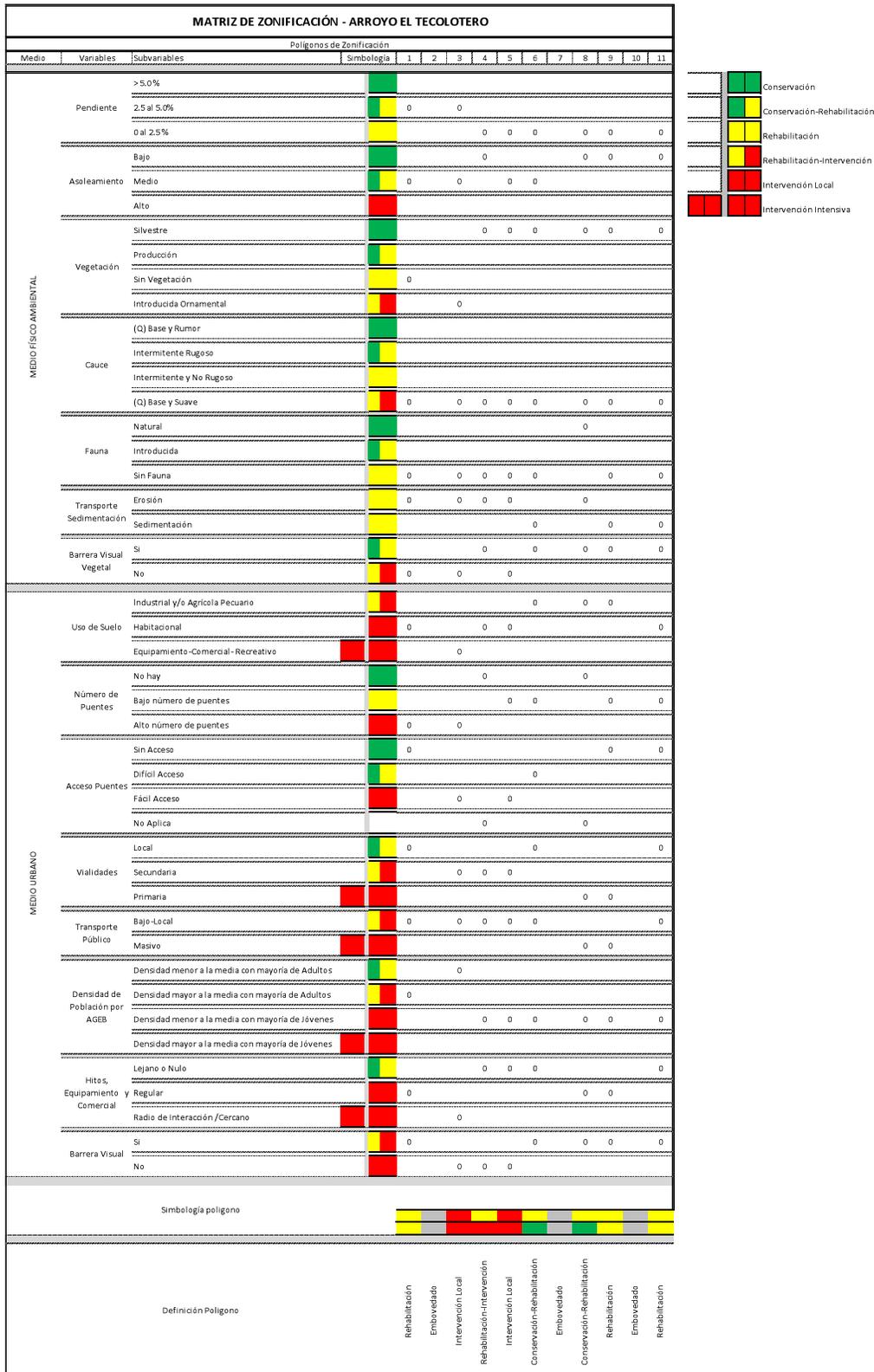


Figura 5.31 Matriz de aptitudes del cauce CE11 Arroyo El Tecolotero, Colima

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO LOS VOLCANES							
Polígonos de Zonificación							
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3	4
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0			
		2.5 al 5.0%		0	0		
		0 al 2.5%					
	Asoleamiento	Bajo					
		Medio		0			
		Alto		0	0		
	Vegetación	Silvestre		0	0		
		Producción					
		Sin Vegetación		0			
	Cauce	Introducida Ornamental					
		(Q) Base y Rumor					
		Intermitente Rugoso					
		Intermitente y No Rugoso		0	0	0	
	Fauna	(Q) Base y Suave					
		Natural		0			
		Introducida					
	Transporte Sedimentación	Sin Fauna		0	0		
		Erosión					
	Barrera Visual Vegetal	Sedimentación		0	0		
		Si					
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	No		0			
		Industrial y/o Agrícola Pecuario					
		Habitacional		0	0		
	Número de Puentes	Equipamiento -Comercial- Recreativo					
		Bajo número de puentes		0			
		Alto número de puentes		0			
	Acceso Puentes	Sin Acceso		0			
		Difícil Acceso					
		Fácil Acceso		0			
		No Aplica		0			
	Vialidades	Local		0	0		
		Secundaria		0			
		Primaria					
	Transporte Público	Bajo-Local		0	0	0	
		Masivo					
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos					
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos					
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes					
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes		0	0	0	
	Hitos, Equipamiento Comercial	Lejano o Nulo		0			
Regular			0				
Radio de Interacción /Cercano			0				
Barrera Visual	Si						
	No		0	0	0		

Simbología polígono

Definición Polígono

- Emboscado
- Rehabilitación
- Intervención Local
- Conservación

Figura 5.32 Matriz de aptitudes del cauce CE12 Arroyo Los Volcanes, Colima

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO EL JAZMÍN										
Medio	Variables	Subvariables	Polígonos de Zonificación							
			Simbología	1	2	3	4	5	6	7
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%	Conservación							0
		2.5 al 5.0%	Conservación-Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0
		0 al 2.5%	Rehabilitación							0
	Asoleamiento	Bajo	Conservación	0						0
		Medio	Conservación-Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0
		Alto	Rehabilitación-Intervención							0
	Vegetación	Silvestre	Conservación	0	0	0				0
		Producción	Conservación-Rehabilitación							0
		Sin Vegetación	Rehabilitación							0
	Cauce	Introducida Ornamental	Rehabilitación-Intervención							0
		(Q) Base y Rumor	Conservación			0	0			
		Intermitente Rugoso	Conservación-Rehabilitación							
		Intermitente y No Rugoso	Rehabilitación-Intervención							
	Fauna	(Q) Base y Suave	Rehabilitación-Intervención	0	0					0
		Natural	Conservación							
		Introducida	Conservación-Rehabilitación							
	Transporte Sedimentación	Sin Fauna	Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0
		Erosión	Rehabilitación					0		
	Barrera Visual Vegetal	Sedimentación	Conservación	0	0	0	0	0	0	0
		Si	Conservación-Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0
	No	Rehabilitación-Intervención								
		Intervención Local	0	0	0	0	0	0	0	
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario	Intervención Local	0					0	0
		Habitacional	Intervención Local	0				0	0	0
		Equipamiento-Comercial-Recreativo	Intervención Local					0		
	Número de Puentes	No hay	Conservación	0					0	0
		Bajo número de puentes	Rehabilitación			0	0			
	Acceso Puentes	Alto número de puentes	Rehabilitación-Intervención						0	
		Sin Acceso	Conservación							
		Difícil Acceso	Conservación-Rehabilitación			0	0	0		
		Fácil Acceso	Rehabilitación-Intervención							
	Vialidades	No Aplica	Conservación						0	0
		Local	Conservación-Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0
	Transporte Público	Secundaria	Rehabilitación			0				
Primaria		Intervención Local								
Densidad de Población por AGEB	Bajo-Local	Rehabilitación	0	0	0	0	0	0	0	
	Masivo	Intervención Local								
	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos	Conservación-Rehabilitación								
	Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos	Rehabilitación-Intervención								
Hitos, Equipamiento y Comercial	Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes	Intervención Local	0	0	0	0	0	0	0	
	Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes	Intervención Local							0	
Barrera Visual	Lejano o Nulo	Conservación-Rehabilitación	0					0	0	
	Regular	Intervención Local			0					
	Radio de Interacción / Cercano	Intervención Local				0	0			
	Si	Conservación-Rehabilitación						0		
	No	Intervención Local	0	0				0	0	
		Intervención Local								
Simbología polígono			Conservación	Rehabilitación-Intervención	Rehabilitación	Intervención Local	Conservación	Intervención Local	Conservación	
Definición Polígono			Conservación	Rehabilitación-Intervención	Rehabilitación	Intervención Local	Conservación	Intervención Local	Conservación	

Figura 5.33 Matriz de aptitudes del cauce CE13 Arroyo El Jazmín, Colima

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO LAS GRULLAS						
Polígonos de Zonificación						
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0	0	0
		2.5 al 5.0%				
		0 al 2.5%				
	Asoleamiento	Bajo		0	0	
		Medio		0		
		Alto				
	Vegetación	Silvestre		0	0	0
		Producción				
		Sin Vegetación				
		Introducida Ornamental				
	Cauce	(Q) Base y Rumor		0	0	0
		Intermitente Rugoso				
		Intermitente y No Rugoso				
	Fauna	(Q) Base y Suave				
		Natural		0	0	
		Introducida			0	
	Transporte Sedimentación	Erosión		0	0	0
		Sedimentación				
	Barrera Visual Vegetal	Si		0	0	0
		No				
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario		0	0	
		Habitacional		0		
		Equipamiento-Comercial-Recreativo				
	Número de Puentes	No hay		0	0	
		Bajo número de puentes		0		
		Alto número de puentes				
	Acceso Puentes	Sin Acceso				
		Difícil Acceso				
		Fácil Acceso		0		
		No Aplica		0	0	
	Vialidades	Local		0	0	
		Secundaria		0		
		Primaria				
	Transporte Público	Bajo-Local		0	0	
		Masivo				
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos		0	0	
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos				
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes				
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes				
	Hitos, Equipamiento y Comercial	Lejano o Nulo		0	0	
Regular						
Barrera Visual	Radio de Interacción / Cercano					
	Si		0			
	No		0	0		
Simbología polígono						
Definición Polígono			Conservación	Rehabilitación	Conservación	

Figura 5.34 Matriz de aptitudes del cauce CE14 Arroyo Las Grullas, Colima

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO LOS CANELOS						
Polígonos de Zonificación						
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%		0	0	0
		2.5 al 5.0%				
		0 al 2.5%				
	Asoleamiento	Bajo		0	0	0
		Medio				
		Alto				
	Vegetación	Silvestre		0	0	0
		Producción				
		Sin Vegetación				
		Introducida Ornamental				
	Cauce	(Q) Base y Rumor		0	0	0
		Intermitente Rugoso				
		Intermitente y No Rugoso				
		(Q) Base y Suave		0		
	Fauna	Natural		0	0	0
		Introducida				
		Sin Fauna		0		
	Transporte Sedimentación	Erosión		0	0	0
		Sedimentación				0
	Barrera Visual Vegetal	Si		0	0	0
No						
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario				0
		Habitacional		0	0	
		Equipamiento-Comercial-Recreativo				
	Número de Puentes	No hay				
		Bajo número de puentes		0	0	
		Alto número de puentes				0
	Acceso Puentes	Sin Acceso				
		Difícil Acceso		0	0	0
		Fácil Acceso				
		No Aplica				
	Vialidades	Local		0	0	
		Secundaria				
		Primaria				0
	Transporte Público	Bajo-Local		0	0	
		Masivo				0
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos				
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos		0	0	
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes				0
		Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes				
	Hitos, Equipamiento y Comercial	Lejano o Nulo				0
Regular			0			
Radio de Interacción / Cercano					0	
Barrera Visual	Si					
	No		0	0	0	
Simbología polígono						
Definición Polígono			Conservación	Rehabilitación	Conservación	

Figura 5.35 Matriz de aptitudes del cauce CE15 Arroyo Los Canelos, Cuahtémoc

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO GUMERSINDA						
Polígonos de Zonificación						
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1	2	3
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	>5.0%		0	0	0
		2.5 al 5.0%				
		0 al 2.5%				
	Asoleamiento	Bajo		0	0	0
		Medio				
		Alto				
	Vegetación	Silvestre		0	0	0
		Producción				
		Sin Vegetación				
		Introducida Ornamental				
	Cauce	(Q) Base y Rumor		0	0	0
		Intermitente Rugoso				
		Intermitente y No Rugoso				
		(Q) Base y Suave				
	Fauna	Natural		0	0	0
		Introducida				
		Sin Fauna				
	Transporte Sedimentación	Erosión		0	0	0
		Sedimentación				
	Barrera Visual Vegetal	Si		0	0	0
No						
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola-Pecuario		0	0	0
		Habitacional			0	
		Equipamiento-Comercial- Recreativo				
	Número de Puentes	No hay		0	0	0
		Bajo número de puentes			0	
		Alto número de puentes				
	Acceso Puentes	Sin Acceso				
		Difícil Acceso			0	
		Fácil Acceso				
		No Aplica		0	0	0
	Vialidades	Local		0	0	0
		Secundaria				
		Primaria				
	Transporte Público	Bajo-Local		0	0	0
		Masivo				
Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos					
	Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos		0	0		
	Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes			0		
	Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes					
Hitos, Equipamiento y Comercial	Lejano o Nulo		0			
	Regular					
	Radio de Interacción /Cercano			0	0	
Barrera Visual	Si					
	No		0	0	0	
Simbología polígono						
Definición Polígono			Conservación	Rehabilitación	Conservación	

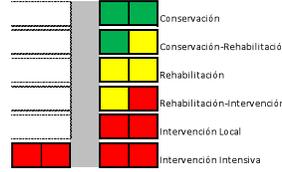


Figura 5.36 Matriz de aptitudes del cauce CE16 Arroyo Gumersinda, Cuauhtémoc

MATRIZ DE ZONIFICACIÓN - ARROYO PRIMAVERA				
Polígonos de Zonificación				
Medio	Variables	Subvariables	Simbología	1
MEDIO FÍSICO AMBIENTAL	Pendiente	> 5.0%	0	Conservación
		2.5 al 5.0%	1	Conservación-Rehabilitación
		0 al 2.5%	2	Rehabilitación
	Asoleamiento	Bajo	0	Rehabilitación-Intervención
		Medio	1	Intervención Local
		Alto	2	Intervención Intensiva
	Vegetación	Silvestre	0	Conservación
		Producción	1	Conservación-Rehabilitación
		Sin Vegetación	2	Rehabilitación
	Cauce	Introducida Ornamental	1	Rehabilitación-Intervención
		(Q) Base y Rumor	0	Conservación
		Intermitente Rugoso	1	Conservación-Rehabilitación
	Fauna	Intermitente y No Rugoso	2	Rehabilitación
		(Q) Base y Suave	1	Conservación-Rehabilitación
		Natural	0	Conservación
	Transporte Sedimentación	Introducida	1	Conservación-Rehabilitación
		Sin Fauna	2	Rehabilitación
		Erosión	0	Conservación
	Barrera Visual Vegetal	Sedimentación	1	Conservación-Rehabilitación
		Si	0	Conservación
No		1	Conservación-Rehabilitación	
MEDIO URBANO	Uso de Suelo	Industrial y/o Agrícola Pecuario	0	Intervención Local
		Habitacional	1	Intervención Intensiva
		Equipamiento-Comercial-Recreativo	2	Intervención Intensiva
	Número de Puentes	No hay	0	Conservación
		Bajo número de puentes	1	Conservación-Rehabilitación
		Alto número de puentes	2	Intervención Intensiva
	Acceso Puentes	Sin Acceso	0	Conservación
		Difícil Acceso	1	Conservación-Rehabilitación
		Fácil Acceso	2	Intervención Intensiva
	Vialidades	No Aplica	0	Conservación
		Local	1	Conservación-Rehabilitación
		Secundaria	2	Intervención Intensiva
	Transporte Público	Primaria	0	Conservación
		Bajo-Local	1	Conservación-Rehabilitación
		Masivo	2	Intervención Intensiva
	Densidad de Población por AGEB	Densidad menor a la media con mayoría de Adultos	0	Conservación
		Densidad mayor a la media con mayoría de Adultos	1	Conservación-Rehabilitación
		Densidad menor a la media con mayoría de Jóvenes	2	Intervención Intensiva
	Hitos, Equipamiento y Comercial	Densidad mayor a la media con mayoría de Jóvenes	0	Conservación
		Lejano o Nulo	1	Conservación-Rehabilitación
Regular		2	Intervención Intensiva	
Barrera Visual	Radio de Interacción / Cercano	0	Conservación	
	Si	1	Conservación-Rehabilitación	
	No	2	Intervención Intensiva	
Simbología polígono			0	Conservación
Definición Polígono				Conservación

Figura 5.37 Matriz de aptitudes del cauce CE17 Arroyo La Primavera, Cuauhtémoc

5.1 IMAGEN OBJETIVO DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS

Se entiende por "imagen objetivo" a la determinación de una idea o dibujo que muestre los estados positivos y deseados para un componente de la entidad, organización o sociedad, en este caso a la Zona Metropolitana. En estos estados se visualizan los planes propuestos a partir de una situación específica. Debe ser compatible con el escenario más probable y al mismo tiempo, ser congruente con la visión y misión del ente que planifica.

A partir de la zonificación de aptitudes de cada uno de los cauces urbanos, se identificó en el espacio urbano completo, cada una de las necesidades de cada tramo cauce, ya sea Conservación, Conservación-Rehabilitación, Rehabilitación, Rehabilitación-Intervención, Intervención para uso local e Intervención para uso masivo. En la figura 5.38 se indica la zonificación de aptitudes del sistema de cauces urbanos en la zona conurbada, resalta el hecho de identificar aptitudes heterogéneamente distribuidas en el sistema. En los planos D08 del Anexo 7 de Planos, se presenta el detalle de la zonificación de aptitudes de cada uno de los cauces de estudio.

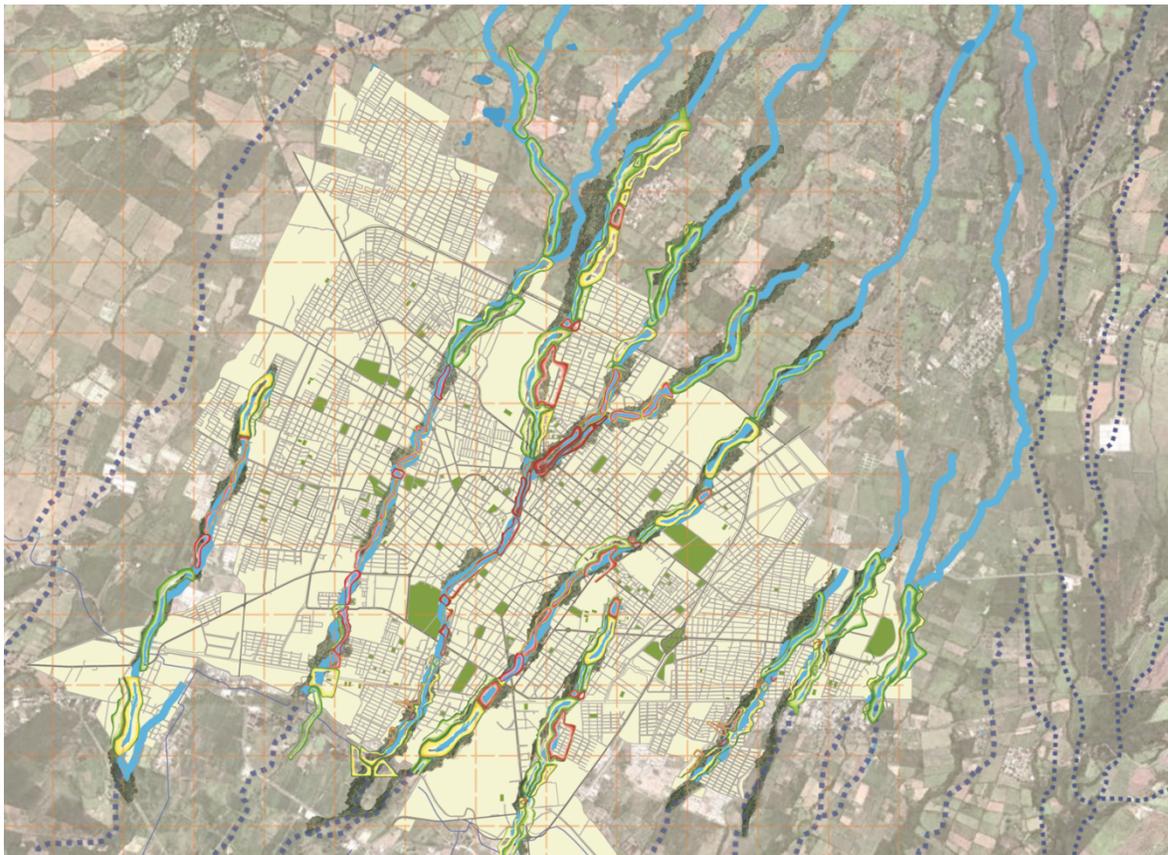


Figura 5.38 Zonificación de aptitudes del sistema de los cauces urbanos

A partir de los análisis anteriores, se plantea la siguiente **imagen objetivo** descriptiva:

CON ESTE PLAN DE MANEJO, SE DESEA QUE EL SISTEMA DE LOS 17 CAUCES URBANOS SE CONVIERTAN EN UN SÍMBOLO DE LA RECUPERACION AMBIENTAL Y QUE SE VALORE EL PATRIMONIO NATURAL A UNA ESCALA METROPOLITANA.

SE DESARROLLARÁN EN PRIMER LUGAR LAS ACCIONES HIDRÁULICAS NECESARIAS PARA GARANTIZAR LA CONDUCCIÓN HIDRÁULICA ADECUADA, DE TAL FORMA QUE SE MINIMICEN LOS PELIGROS ANTE CRECIENTES ORDINARIAS Y EXTRAORDINARIAS. SE POTENCIALIZARÁN LOS RECURSO HÍDRICOS DEL SISTEMA HIDROLÓGICO INTEGRAL, A PARTIR DEL ADECUADO FLUJO DEL AGUA POR LOS CAUCES DESDE SU PARTE ALTA HASTA AGUAS ABAJO DE LA ZONA METROPOLITANA, SATISFANCIENDO UNA SERIE DE USOS QUE MINIMICEN EL CONSUMO DE ENERGÍA Y DOTEN DE SERVICIOS AMBIENTALES Y PAISAJÍSTICOS URBANOS. DE ESTA FORMA, EL PLAN DE MANEJO TIENE UN CARÁCTER SUSTENTABLE.

ADEMÁS, A LO LARGO DE LOS CAUCES URBANOS, SE PODRÁ CONTAR CON ESPACIOS RECUPERADOS Y PASEOS CUYA OFERTA RECREATIVA Y CONTEMPLATIVA NO PERTURBARÁ EL EQUILIBRIO DEL AMBIENTE. ÉSTAS SE REALIZARÁN EN ÁREAS IDÓNEAS Y BIEN DEFINIDAS SEGÚN LAS APTITUDES DE CADA ZONA. LOS HABITANTES Y VISITANTES TENDRÁN LA OPORTUNIDAD DE VISITAR ESPACIOS CUYO EJE SERÁN LOS CAUCES DE AGUA CRISTALINA QUE PERMITAN DISFRUTAR DE EXPERIENCIAS DE APRECIACIÓN Y DE EDUCACIÓN AMBIENTAL. A SU VEZ, LA SOCIEDAD SE VERÁ BENEFICIADA POR LA MEJORÍA EN LA IMAGEN URBANA Y EN LA SEGURIDAD SOCIAL QUE ELLO IMPLICA.

EN LOS CASOS EN LOS QUE SU APTITUD LO MARQUE, SE LOGRARÁ UN SISTEMA DE ACUCES CON EXCELENTE CALIDAD DEL AGUA COMO ELEMENTO INDISPENSABLE DE DIGNIDAD Y DE BELLEZA, SIN MALOS OLORES NI PAISAJES DESAGRADABLES GRACIAS A LA CONDUCCIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SU SEPARACIÓN, DONDE SE REQUIERA, DE LAS AGUAS PLUVIALES.

LA RECONVERSIÓN DE LA ZONA INHERENTE A LOS CAUCES URBANOS RÍO EN ESPACIOS PÚBLICOS Y DE VALOR AMBIENTAL FAVORECERÁ LA COHESIÓN Y LA UNIDAD DEL TEJIDO SOCIAL ENTRE LOS VECINOS DEL CAUCE MEDIANTE EL DESARROLLO DE PROYECTOS LOCALES Y ESPACIOS DE COMUNICACIÓN Y CONVIVENCIAA PARTIR DE LA INCORPORACIÓN DE CAUCES AL PAISAJE URBANO.

EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA SERÁ UN CASO EXITOSO QUE MOTIVARÁ A RECUPERAR OTROS CAUCES URBANOS EN LA REGIÓN Y EN EL PAÍS.

5.2 DESARROLLO DEL ANTEPROYECTO DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL

Para cumplir con las expectativas de la Imagen Objetivo planteadas, las acciones propuestas que tienen cabida en el presente Plan de Manejo Integral de los Cauces Urbanos (PMICU) se dividen en: a) acciones hidráulicas y b) acciones Urbano-Arquitectónicas. En las siguientes tablas se presenta el listado de dichas acciones y que a su vez se relacionan con los criterios planteados en el capítulo 4.

Tabla 5.1 Listado de acciones hidráulicas del PMICU

Id	Acciones Hidráulicas
H1	Reconstrucción de puente
H2	Rehabilitación de puente
H3	Rehabilitación de vado
H4	Ampliación de sección hidráulica
H5	Construcción de bordo marginal
H6	Construcción de muro de contención en margen
H7	Rehabilitación de muro de contención en margen
H8	Construcción de colector marginal
H9	Rehabilitación de colector marginal
H10	Delimitar Zona Federal
H11	Reforestación con vegetación nativa para contención
H12	Conservación de vegetación nativa para contención
H13	Reforestación con vegetación inducida para contención
H14	Remoción de materia orgánica y desechos sólidos
H15	Disipador de energía de entrada pluvial
H16	Derribo y remoción de vegetación con fines hidráulicos

Tabla 5.2 Listado de acciones urbano-arquitectónicas del PMICU

Id	Acciones Urbano-Arquitectónicas
U1	Rehabilitación arquitectónica de puentes
U2	Proyecto de andador peatonal
U3	Proyecto de parque lineal
U4	Proyecto de vinculación cauce-equipamiento deportivo
U5	Proyecto de vinculación cauce-espacio residual
U6	Remoción de barrera (artificial)
U7	Proyecto de contención
U8	Adecuación de paso peatonal en puente vehicular

En los 143 planos R03 del Anexo 7, se presenta el Plan de Acciones para el Manejo Integral de cada uno de los 17 cauces de estudio. En la tabla 5.3 se presenta en forma resumida la cuantificación de dichas acciones.

Tabla 5.3 Cuantificación de acciones hidráulicas del PMICU

CE	NOMBRE	MUNICIPIO	LONGITUD (km)	H1 (cantidad)	H2 (cantidad)	H3 (cantidad)	H4 (m)	H5 (m)	H6 (m)	H7 (m)	H8 (m)	H9 (m)	H10 (m)	H11 (m)	H12 (m)	H13 (m)	H14 (cantidad)	H15 (cantidad)	H16 (cantidad)
1	El Seco	Coquimatlán	2.5	0	0	0	282	0	352	31	0	0	1915	650	1940	1460	1	0	2
2	Los Limones	Coquimatlán	2.6	0	0	0	357	0	490	0	0	180	2.6	495	3100	2330	6	0	0
3	San Juan	Comala	1.5	0	0	0	0	0	0	220	0	0	1500	0	5897	0	4	0	0
4	Suchitlán	Comala	1.5	0	0	0	0	0	120	0	0	0	1870	0	3500	0	0	0	0
5	Tía Barragana	Comala	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1200	0	0	0	0
6	Poniente	Villa de Álvarez	2.3	0	1	1	250	0	1000	0	0	0	2700	950	0	1580	0	0	0
7	El Trejo	Villa de Álvarez	2.6	1	2	3	620	40	1840	160	280	0	5100	600	0	2300	10	0	0
8	Pereyra	Villa de Álvarez-Colima	10.9	6	3	1	1160	0	2600	200	0	3900	2160	1400	1530	3780	16	9	1
9	Colima	Colima	10.5	2	10	0	500	0	900	160	0	130	4600	0	6000	1090	9	5	1
10	Manrique	Colima	6.7	0	5	3	1325	0	1730	20	331	1230	4460	434	2860	4580	16	2	0
11	Tecolotero	Colima	3.5	0	0	0	600	0	1328	0	240	0	3100	0	260	3100	7	0	0
12	Los Volcanes	Colima	4.5	0	0	0	0	0	475	0	0	0	2400	0	1300	440	15	0	0
13	El Jazmin	Colima	3.0	1	0	0	250	0	470	0	0	0	3000	0	3200	4180	10	2	0
14	Las Grullas	Colima	0.8	0	0	0	180	0	0	0	0	0	1540	530	1380	1830	2	0	0
15	Los Camélos	Cuahtémoc	1.2	0	0	2	0	0	0	0	950	0	920	0	1700	1270	3	0	0
16	Gumersinda	Cuahtémoc	1.6	1	0	1	0	0	60	40	100	0	1600	0	2800	264	5	0	0
17	La Primavera	Cuahtémoc	1.8	1	0	1	120	0	0	0	0	0	1800	0	3600	0	1	2	0
T_1	El Diablo	Villa de Álvarez	1.6	0	0	3	300	0	120	0	0	120	1.6	0	0	490	12	0	0
T_2	El Trastes	Villa de Álvarez	2.1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1850	0	2550	250	5	0	0
T_3	Campos	Colima	3.6	0	1	0	30	0	0	0	0	0	2750	0	4130	660	10	1	0

Tabla 5.4 Cuantificación de acciones urbano-arquitectónicas del PMICU

CE	NOMBRE	MUNICIPIO	LONGITUD (km)	U1 (cantidad)	U2 (cantidad)	U3 (cantidad)	U4 (cantidad)	U5 (cantidad)	U6 (m)	U7 (m)	U8 (cantidad)
1	El Seco	Coquimatlán	2.5	5	0	0	2	2	0	3380	0
2	Los Limones	Coquimatlán	2.6	6	3	0	1	4	0	1740	0
3	San Juan	Comala	1.5	3	0	0	0	1	0	5470	0
4	Suchitlán	Comala	1.5	4	2	0	0	0	0	3000	2
5	Tía Barragana	Comala	0.3	1	2	0	0	0	0	1200	2
6	Poniente	Villa de Álvarez	2.3	1	0	0	0	0	250	830	0
7	El Trejo	Villa de Álvarez	2.6	13	2	1	0	1	0	2150	2
8	Pereyra	Villa de Álvarez-Colima	10.9	19	4	1	0	3	0	2600	0
9	Colima	Colima	10.5	14	3	0	3	2	0	4230	0
10	Manrique	Colima	6.7	17	8	1	0	0	0	3200	0
11	Tecolotero	Colima	3.5	0	2	1	1	3	0	2480	0
12	Los Volcanes	Colima	4.5	16	1	0	2	0	0	1470	0
13	El Jazmín	Colima	3.0	2	3	1	2	4	350	2120	0
14	Las Grullas	Colima	0.8	1	0	0	0	0	0	800	0
15	Los Canelos	Cuahtémoc	1.2	1	1	0	0	1	0	1000	1
16	Gumersinda	Cuahtémoc	1.6	2	2	0	0	0	0	3200	1
17	La Primavera	Cuahtémoc	1.8	0	1	0	0	0	0	3600	1
T_1	El Diablo	Villa de Álvarez	1.6	12	1	0	1	0	30	0	0
T_2	El Trastes	Villa de Álvarez	2.1	9	1	0	1	1	0	2360	0
T_3	Campos	Colima	3.6	6	2	1	0	4	0	590	0

5.3 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD SOCIAL

Para evaluar la factibilidad social, las instancias correspondientes deberán desarrollar talleres participativos ciudadanos, en donde se convoquen por cada cauce o zona a los ciudadanos y organizaciones clave para exponer la intención de un plan de manejo. Para tal fin, los autores del presente Plan de Manejo han desarrollado a manera de Método las láminas de trabajo para el desarrollo de

anteproyectos para el Manejo Integral en los cauces: Colima, Pereyra y Manrique, por ser los cauces de mayor tamaño y que implican una cantidad variable de posibles desarrollo de conceptos. En los planos R09, R10 y R11 del Anexo 7, de presentan sendos planos que exponen gráficamente con mucho detalle la forma de exponer planteamientos en los talleres participativos ciudadanos, mismos que deberán desarrollar con detenimientos las autoridades locales.

5.4 EVALUACIÓN GENERAL DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para la evaluación de la factibilidad económica, el Gobierno del Estado utilizará la cuantificación de acciones y con los costos paramétricos obtenidos en los últimos años, se determinarán los costos aproximados de inversión y se valorarán cualitativamente en un grupo técnico de valoración, los beneficios integrales que arrojen cada una de las acciones, mismos que implican: seguridad, servicios ambientales, imagen urbana y posible beneficios económicos.

5.5 INTRODUCCIÓN A LAS HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE FINANCIAMIENTO

La gestión es el proceso de llevar a cabo diligencias que hacen posible la realización de una operación o de un anhelo determinado.

La noción de gestión, por lo tanto, se extiende hacia el conjunto de trámites que se llevan a cabo para resolver un asunto o concretar un proyecto. La gestión es también la dirección o administración de una compañía o de un negocio.

Importante es subrayar que la gestión, que tiene como objetivo primordial el conseguir aumentar los resultados óptimos de una operación determinada, depende fundamentalmente de cuatro pilares básicos gracias a los cuales se puede conseguir que se cumplan las metas marcadas.

En este sentido, el primero de los citados puntos es lo que se reconoce como estrategia, es decir, el conjunto de líneas y de trazo de los pasos que se deben llevar a cabo, teniendo en cuenta factores como el usuario y los beneficiarios potenciales, para consolidar las acciones y hacerlas efectivas.

El segundo pilar básico es la cultura o lo que es lo mismo el grupo de acciones para promover los valores de la empresa en cuestión, para fortalecer la misma, para recompensar los logros alcanzados y para poder realizar las decisiones adecuadas. A todo ello, se une el tercer eje de la gestión: la estructura. Bajo este concepto lo que se esconde son las actuaciones para promover la cooperación, para diseñar las formas para compartir el conocimiento y para situar al frente de las iniciativas a las personas mejores calificadas.

El cuarto y último pilar es el de la ejecución que consiste en tomar las decisiones adecuadas y oportunas, fomentar la mejora de la productividad y satisfacer las necesidades de los consumidores.

Es importante resaltar que existen distintos tipos de gestión. La gestión social, por ejemplo, consiste en la construcción de diferentes espacios para promover y hacer posible la interacción entre distintos actores de una sociedad.

La gestión de proyectos, por su parte, es la disciplina que se encarga de organizar y de administrar los recursos de manera tal que se pueda concretar todo el trabajo requerido por un proyecto dentro del tiempo y del presupuesto disponible.

La Gestión de proyectos también conocida como Gerencia, Dirección o Administración de proyectos es la disciplina de planear, organizar, asegurar y coordinar recursos y personas para cumplir con los objetivos, entregables y criterios de éxito de los proyectos. Un proyecto es un conjunto de actividades relacionadas para lograr un fin específico, con un comienzo y fin claros, sujeto a tres "restricciones" principales: Tiempo, Presupuesto y Alcance.

Otro tipo de gestión es la gestión del conocimiento. Se trata de un concepto aplicado en las organizaciones, que se refiere a la transferencia del conocimiento y de la experiencia existente entre sus miembros. De esta manera, ese acervo de conocimiento puede ser utilizado como un recurso disponible para todos los integrantes de una misma organización.

Por último, cabe destacar que la gestión ambiental abarca el grupo de tareas enfocadas al control del sistema ambiental en base al desarrollo sostenible. La gestión ambiental es una táctica por medio de la cual se establecen acciones de perfil antrópico que influyen sobre el ambiente a fin de conseguir una calidad de vida óptima.

En el Plan de Manejo Integral de los Cauces Urbanos, se definieron un conjunto de acciones a llevar a cabo y que se integran de manera general en obras y proyectos que permitirán tener un manejo mucho más adecuado de los cauces urbanos de la zona metropolitana de Colima-Villa de Álvarez. Las acciones propuestas se clasificaron en dos grupos, los cuales son: Acciones Hidráulicas y Acciones Urbano-Arquitectónicas.

Dentro de las acciones hidráulicas se tiene una serie de obras que comprenden rehabilitaciones y construcciones de obras con las cuales se tendrá un mejor manejo y control de los cauces dentro de la zona metropolitana, con lo que se estará previniendo ante los posibles daños que ocasionaría un fenómeno hidrometeorológico extraordinario. De esta manera, se evitarán o disminuirán los desastres que provocaría un evento de esa magnitud en los centros de población existentes en la zona del proyecto. También se tiene contemplado en las acciones hidráulicas actividades de remoción de materiales dentro de los cauces para ampliar y conservar las secciones hidráulicas, así como la conservación de la

vegetación y la reforestación que permitan la contención de la erosión del suelo y el azolve de los cauces. En cuanto a las acciones urbano-arquitectónicas se proponen un conjunto de obras y proyectos que permitirán mejorar la imagen urbana de la zona metropolitana de Colima-Villa de Álvarez de manera integral y vinculada con los cauces de los ríos existentes.

Programas de financiamiento para las acciones propuestas

Para poder realizar las obras y proyectos, tanto de las acciones hidráulicas como de las acciones urbano-arquitectónicas, se requiere de recursos económicos extraordinarios que no están presupuestados en los municipios que comprenden la zona metropolitana de Colima-Villa de Álvarez. Sin embargo, existen diferentes fuentes de financiamiento público en varias dependencias federales a través de programas que cada una de ellas contempla para este tipo de obras y proyectos.

Algunas de las dependencias federales que tienen programas de financiamiento para las obras y proyectos que se proponen en las acciones del plan de manejo son:

- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).
- Secretaría de Gobernación (SEGOB).
- Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. (BANOBRAS).
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

A su vez, en cada una de las dependencias federales se tienen diferentes programas específicos para el financiamiento de cada tipo de obra o proyecto, siendo estos los siguientes:

- Programa Hábitat (HABITAT; SEDESOL).
- Programa Rescate de Espacios Públicos (PREP; SEDESOL).
- Programa Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN; SEGOB).
- Programa Infraestructura Vial (INFRAVIAL; BANOBRAS).
- Programa Residuos Sólidos, Obra Civil y Adquisición de Equipo (RSOCAE; BANOBRAS).
- Programa Línea Global para Equipamiento y Obras Públicas de Gobiernos Estatales y Municipales (LINGLOB; BANOBRAS).
- Programa Imagen Urbana (IMAURB; BANOBRAS).
- Programa Proárbol (PROARBOL; CONAFOR).
- Programa Protección a Centros de Población (PROCEPO; CONAGUA).
- Programa Rescate de Espacios Públicos (PREP; SEDESOL).

Los Programas Federales son instrumentos del Gobierno Federal para atender problemáticas específicas que tienen prioridad nacional. Cada una de las dependencias sigue un proceso para formular sus programas y de forma general incluye las siguientes fases:

1. Diagnóstico
2. Definición de prioridades
3. Precisión de estrategias
4. Asignación de recursos
5. Operación

Este proceso explica porqué los programas impactan de distinta manera. Por ejemplo, en la fase de diagnóstico se encuentra que ciertas localidades tienen mayores carencias con respecto a infraestructura básica, entonces los recursos de un Programa de Desarrollo Social que atiende temas de pisos firmes, servicios sanitarios y otros que encuadren dentro de infraestructura básica, se destinarán precisamente a esas localidades. Los estados y municipios tienen diferencias importantes entre sí, de población, de grado de marginación, de tipo de economía, etc., por eso no todos los Programas Federales operan en todos los estados y municipios. Algunos Programas tienen varios años en funcionamiento, otros dejaron de operar y constantemente el Gobierno Federal está creando nuevos programas que atiendan nuevas necesidades.

Los Programas Federales funcionan de acuerdo a Reglas de Operación que son los lineamientos que establecen a detalle, la forma de operar los programas. Se pueden consultar las Reglas de Operación de los programas en el sitio www.inafed.gob.mx. Cada Programa, en sus Reglas de Operación, tiene su propio glosario, donde se explican los términos del Programa en particular. Los términos son diferentes para cada Programa y sin embargo hay algunos que son comunes para prácticamente todos los Programas.

La mayoría de los Programas Federales se echan a andar a través de la Delegaciones de las dependencias federales por lo que recomendamos mantener una comunicación frecuente con ellas. Una parte importante de los Programas Federales se ejecutan en coordinación con los estados, por lo que resulta primordial tener una relación constante con instancias como los Centros Estatales de Desarrollo Municipal (CEDEMUN) u organismos similares. Existen programas donde el gobierno municipal no ejecuta los recursos y sin embargo la promoción y gestión por parte de los funcionarios municipales para que los programas se apliquen en sus municipios es fundamental.

En la tabla 5.5. se muestran los programas federales en los cuales se puede gestionar financiamiento para cada una de las obras contempladas en las acciones hidráulicas, indicándose la dependencia a que corresponde cada

programa, así como la acción que puede ser apoyada y para la cual se podrían gestionar recursos financieros.

Tabla 5.5. Programas Federales de Financiamiento para las Acciones Hidráulicas

ACCIÓN	PROGRAMAS FEDERALES						
	SEDESOL	SEGOB	BANOBRAS			CONAFOR	CONAGUA
H1	HABITAT	FOPREDEN	INFRAVIAL	-----	LINGLOB	-----	PROCEPO
H2	HABITAT	FOPREDEN	INFRAVIAL	-----	LINGLOB	-----	PROCEPO
H3	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	LINGLOB	-----	PROCEPO
H4	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	LINGLOB	-----	PROCEPO
H5	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H6	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H7	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H8	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H9	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H10	-----	-----	-----	-----	-----	-----	PROCEPO
H11	HABITAT	-----	-----	-----	-----	PROARBOL	-----
H12	HABITAT	-----	-----	-----	-----	PROARBOL	-----
H13	HABITAT	-----	-----	-----	-----	PROARBOL	-----
H14	HABITAT	FOPREDEN	-----	RSOCAE	LINGLOB	-----	-----
H15	-----	FOPREDEN	-----	-----	LINGLOB	-----	PROCEPO
H16	HABITAT	FOPREDEN	-----	-----	-----	-----	PROCEPO

Dentro de los programas federales de financiamiento para las acciones hidráulicas del plan de manejo se tienen tres de ellos en los que se podría gestionar la mayoría de las obras propuestas, estos son el Programa Hábitat de la Secretaría de Desarrollo Social, el Fondo para la Prevención de Desastres Naturales de la Secretaría de Gobernación y el Programa de Protección a Centros de Población de la Comisión Nacional del Agua. A su vez, en varias de las obras propuestas se podrían gestionar recursos financieros en más de una dependencia y/o programa. Sin embargo, también se tienen acciones en las que los programas para solicitar financiamiento son más limitados, como es el caso de la acción de delimitación de zona federal que solo se tiene el Programa de Protección de Centros de Población de la Comisión Nacional del Agua.

De la misma manera que para las acciones hidráulicas, en la tabla 5.6 se muestran las dependencias y los programas en los que se puede gestionar financiamiento para las obras y proyectos de las acciones urbano-arquitectónicas del plan de manejo.

Tabla 5.6 Programas Federales de Financiamiento para las Acciones Urbano-Arquitectónicas

ACCIÓN	PROGRAMAS FEDERALES					
	SEDESOL		BANOBRAS			
U1	HABITAT	PREP	INFRAVIAL	-----	LINGLOB	IMAURB
U2	HABITAT	PREP	INFRAVIAL	-----	LINGLOB	IMAURB
U3	HABITAT	PREP	-----	-----	LINGLOB	IMAURB
U4	HABITAT	PREP	-----	-----	LINGLOB	IMAURB
U5	HABITAT	PREP	-----	RSOCAE	LINGLOB	-----
U6	HABITAT	PREP	-----	-----	LINGLOB	IMAURB
U7	HABITAT	PREP	-----	-----	LINGLOB	-----
U8	HABITAT	PREP	INFRAVIAL	-----	LINGLOB	IMAURB

Para el caso de las acciones urbano-arquitectónicas se tienen cuatro programas en los cuales se puede gestionar la mayoría de las obras y proyectos propuestos y se agrupan en dos dependencias federales que son la Secretaría de Desarrollo Social y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.N.C. Estos cuatro programas para gestionar recursos financieros son el Programa Hábitat, el

Programa de Rescate de Espacios Públicos, el Programa Línea Global para Equipamiento y Obras Públicas de Gobiernos Estatales y Municipales, y el Programa Imagen Urbana. En este caso también se tienen obras y proyectos para los cuales se podrían gestionar recursos financieros en varios programas, así como también alguna acción que solo podría gestionarse en un programa, como es el caso del Proyecto de vinculación cauce-espacio residual.

Descripción general de los programas de financiamiento

A continuación se muestra el contenido más importante de cada uno de los programas para tener un conocimiento general de los objetivos, cobertura, beneficiarios y la descripción de cada uno de ellos.

1. Programa Hábitat (HABITAT)

Objetivo

Contribuir a la integración social y urbana de los habitantes de las zonas urbanas marginadas con alta concentración de hogares en situación de pobreza.

Cobertura

Localidades urbanas con una población de 15 mil habitantes o más.

Beneficiarios

Los habitantes asentados en los polígonos Hábitat y los habitantes de los hogares asentados en áreas de riesgo no mitigable o en inmuebles en condiciones similares y que se encuentren en situación de pobreza patrimonial.

Descripción

El Programa cuenta con 2 vertientes: la General y Centros Históricos. A su vez, la vertiente General tiene 3 modalidades: Desarrollo Social y Comunitario, Mejoramiento del Entorno Urbano y Promoción del Desarrollo Urbano.

La vertiente general combate a la pobreza urbana a través el mejoramiento de la infraestructura básica y el equipamiento de las zonas marginadas con la entrega de servicios sociales y acciones de desarrollo comunitario y se ejecuta en zonas urbanas marginadas con alta concentración de hogares en pobreza patrimonial determinadas como polígonos Hábitat.

Si bien el apoyo está dirigido a los polígonos, también se consideran otras áreas de atención del programa: corredores de transporte y de movilidad urbana que utiliza la población para desplazarse desde y hacia los polígonos, las áreas donde se localiza la infraestructura, los servicios y los equipamientos cuyos beneficiarios son las personas en situación de pobreza patrimonial, las zonas de riesgo ante

situaciones de desastre, las zonas donde se habiliten lotes con servicios para la población en situación de pobreza patrimonial, los centros de ciudad y en las que se realicen proyectos de asociación de municipios.

Características de los Apoyos

Los recursos federales deberán complementarse con recursos de los gobiernos locales y en su caso, de los propios beneficiarios.

¿En qué se aplican los recursos?

En la vertiente general:

- **Desarrollo Social y Comunitario.** En la generación y el fortalecimiento de las capacidades y las oportunidades de ingreso de las personas en situación de pobreza patrimonial; la creación de infraestructura social y el desarrollo comunitario; la prevención y atención de la violencia familiar y social, con énfasis en la violencia dirigida a las mujeres, y el establecimiento de comunidades seguras.
- **Mejoramiento del Entorno Urbano.** En la introducción, ampliación o mejoramiento de la infraestructura y los servicios urbanos básicos en los asentamientos precarios e integrarlos a la ciudad; mejorar el entorno ecológico; reducir la vulnerabilidad de la población asentada en zonas e inmuebles de riesgo, frente a amenazas de origen natural; fortalecer la provisión o rehabilitación del equipamiento y mobiliario urbanos; apoyar la protección, conservación o revitalización de los Centros Históricos y, en general, contribuir a conservar y mejorar la imagen urbana.
- **Promoción del Desarrollo Urbano.** En la creación y fortalecimiento de instancias locales que impulsen iniciativas y prácticas de desarrollo social y urbano; la coordinación interinstitucional; la adquisición de suelo para la constitución de reservas territoriales; la habilitación de lotes con servicios, así como la regularización, titulación y registro de activos inmobiliarios de hogares en situación de pobreza patrimonial.

Hasta el 20% del total de los recursos asignados al municipio se destinarán a la modalidad Desarrollo Social y Comunitario y hasta el 10% para la modalidad Promoción del Desarrollo Urbano.

Montos

Los recursos federales de la vertiente General, destinados a los municipios se acuerdan con los gobiernos estatales tomando en cuenta indicadores demográficos y de rezago social. Es obligatoria la aportación de recursos estatales y/o municipales para ejecutar los proyectos.

Para los proyectos dentro de la Vertiente General, la aportación federal será de hasta el 50% del costo total del proyecto, con la excepción de la adquisición de suelo para la constitución de reservas territoriales en donde la aportación federal será de hasta el 33%. Dentro de esta vertiente, en la modalidad Mejoramiento del Entorno Urbano, los beneficiarios deberán aportar el 10%.

Para los proyectos dentro de la Vertiente Centros Históricos, la aportación federal será de hasta el 70% del costo total.

El monto del apoyo federal por Polígono Hábitat para la realización de cualquier combinación de acciones en las modalidades de Desarrollo Social y Comunitario y Mejoramiento del Entorno Urbano no podrá exceder del que resulte de multiplicar el número de hogares en situación de pobreza patrimonial dentro del polígono por \$5,000.

Número de hogares en pobreza X \$5,000 = Apoyo Federal Máximo por Polígono

Los recursos federales ejercidos fuera de los polígonos para la constitución de reservas territoriales, la habilitación de lotes con servicios, los corredores de transporte y de movilidad urbana y los realizados por asociación de municipios serán como máximo \$5,000,000 por proyecto. Para otro tipo de obras fuera de los polígonos el monto máximo será \$3,000,000 por proyecto.

2. Programa Rescate de Espacios Públicos (PREP)

Objetivo

Contribuir al rescate de espacios públicos que presentan problemas de deterioro, abandono e inseguridad.

Cobertura

Ciudades y zonas metropolitanas con una población de 50 mil habitantes o más.

Beneficiarios

Los habitantes en el entorno de los espacios públicos con deterioro, abandono e inseguridad.

Descripción

El Programa tiene 2 modalidades: Participación Social y Seguridad Comunitaria y Mejoramiento de los Espacios Públicos.

La modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria está dirigida a promover la organización de los ciudadanos para implementar acciones que conduzcan a una mejor convivencia social.

La modalidad Mejoramiento de los Espacios Públicos está orientada a mejorar la infraestructura a través de la construcción o rehabilitación de los espacios.

¿En qué se aplican los recursos?

En la modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria:

- Elaboración de proyectos orientados al rescate de espacios públicos y a la prevención de conductas de riesgo e inseguridad.
- Desarrollo de actividades cívicas, culturales y deportivas.
- Promoción de redes, brigadas y comités vecinales que contribuyan a la seguridad de la población.
- Sensibilización y conductas de riesgo.
- Estudios sobre marginación y violencia.

En la modalidad Mejoramiento Físico de los Espacios Públicos:

- Plazas, áreas verdes, jardines, espacios deportivos.
- Alumbrado, accesos, banquetas, guarniciones.
- Mobiliario y equipamiento.
- Accesos para el transporte público, paraderos seguros, señalización y módulos de vigilancia.

Al menos el 20% del total de los recursos federales destinados por municipio, deberá aplicarse en la modalidad de Participación Social y Seguridad Comunitaria.

Montos

En ambas modalidades, los recursos federales serán hasta por el 50% del total del proyecto, la parte restante serán aportaciones de estados, municipios y beneficiarios de acuerdo a como se convenga.

Para la modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria, hasta \$600,000 por proyecto.

Para la modalidad Mejoramiento Físico de los Espacios Públicos, hasta \$3,000,000 por proyecto.

3. Programa Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN)

Acciones consideradas como preventivas para riesgo de desastres naturales

- Acciones para identificación de riesgo de desastres
 - Estudios, investigaciones o proyectos orientados al mejoramiento del conocimiento científico de amenazas y riesgos.
 - Estudios, investigaciones o proyectos orientados a diagnosticar el grado de exposición, los peligros o amenazas y la vulnerabilidad.
 - Integración de Atlas de Riesgos.
 - Estudios e Infraestructura para integrar Bases de Datos y Sistemas de Información sobre fenómenos perturbadores y sus consecuencias.
 - Sistemas de modelado y simulación sobre fenómenos perturbadores y su impacto.
 - Estudios socioeconómicos del impacto de los desastres.
 - Infraestructura para la medición y monitoreo de fenómenos perturbadores.

- Acciones para mitigar y/o reducir los niveles de riesgo
 - Sistemas de alertamiento temprano de fenómenos perturbadores.
 - Obras de infraestructura para reducción de la vulnerabilidad física.
 - Acciones dirigidas a reubicar a la población vulnerable ubicada en zonas de alto riesgo, ante un futuro desastre, siempre y cuando se trate de asentamientos regulares.
 - Investigaciones aplicadas al desarrollo y mejoramiento de tecnologías para la reducción de riesgo.
 - Desarrollo de normas.
 - Integración de sistemas e infraestructura para mejorar la respuesta ante emergencias y desastres.
 - Fortalecimiento y apoyo a centros regionales de prevención de desastres.

- Acciones orientadas a fomentar la cultura de la prevención y la autoprotección ante situaciones de riesgo
 - Desarrollo y producción de materiales impresos, electrónicos y audiovisuales relevantes para mejorar el conocimiento de fenómenos y su impacto y fomentar la práctica de conductas preventivas.
 - Desarrollo de nuevas tecnologías para la capacitación y divulgación.
 - Realización de talleres comunitarios.
 - Campañas de comunicación social.
 - Campañas para la profesionalización y certificación de responsables de Protección Civil.
 - Creación de centros de capacitación teórico-prácticos especializados en prevención de desastres y protección civil.
 - Desarrollo de planes y proyectos de estudios para educación básica, media y superior.

Requisitos técnicos para enviar solicitudes

Todas las solicitudes deberán entregarse en una carpeta en forma impresa, así como en disco compacto con todos los archivos electrónicos correspondientes. Para tal efecto se proporcionará un formato especial, el cual contiene la siguiente información:

- Información general:
 - Datos del solicitante.
 - Instituciones, dependencias y personal participante.
 - Resumen ejecutivo del proyecto.
 - Antecedentes, alcances, objetivos y metas.
 - Necesidades y requerimientos.
 - Productos esperados.
 - Descripción del fenómeno y para lo cual se prevé la acción preventiva (historia, recurrencia, impactos).
 - Otros fenómenos y sus características que han impactado.
 - Justificación de la necesidad.
 - Beneficio esperado con la acción preventiva.
 - Relevancia de la acción propuesta.
 - En qué medida la acción repercutirá en la reducción del riesgo, identificada en su caso, en el Atlas de Riesgo respectivo.
 - Características socioeconómicas de la población, bienes y entorno a ser beneficiado.
 - Programa detallado de trabajo, incluyendo metas, plazos y logros.
 - Programa presupuestal desglosado.
 - Soporte técnico (mapas, estadísticas, diagramas, planos, etc.).
 - Comentarios y/o observaciones que estime necesarios.

- Información adicional para el caso de estudios:
 - Metodología a emplearse.
 - Resultados y productos específicos esperados del estudio.
 - Experiencia en el tema de las instituciones y dependencias participantes.
 - Descripción de otros estudios relacionados.

- Información adicional para obras:
 - Proyecto ejecutivo, que cumpla con los requisitos para ser objeto de contratación.
 - Compromiso para asegurar y dar debido mantenimiento a las mismas.

- Información adicional para proyectos de inversión:
 - Presupuesto desglosado de los bienes e infraestructura por adquirir.

- Compromiso para asegurar, dar debido mantenimiento y operar el proyecto de inversión de que se trate.

Criterios de evaluación

Las solicitudes admitidas se evaluarán conforme a los siguientes criterios:

- Relevancia en términos de protección a la vida humana y a la reducción del impacto económico y social que la acción tendría;
- Prioridad en términos de los periodos de retorno o presencia de los fenómenos perturbadores para los cuales se requiere la acción preventiva;
- Acciones para identificar y reducir la vulnerabilidad física;
- Favorable relación costo-beneficio;
- Atención prioritaria a los grupos más vulnerables de la población, y
- Situación presupuestal de los proyectos normales u ordinarios de los solicitantes.

4. Programa Infraestructura Vial (INFRAVIAL)

Diagnóstico

A través de esta línea, se otorga financiamiento para acciones tendientes a fortalecer y tecnificar la capacidad institucional de las áreas involucradas en la planeación, diseño, operación, regulación y mantenimiento del sistema de transporte urbano; asimismo, se mejora la calidad y eficiencia de la comunicación interurbana y regional carretera, para disminuir los costos de operación en el transporte de personas y mercancías.

Objetivos

- Mejorar la calidad y eficiencia del sistema de transporte urbano.
- Contribuir al ordenamiento, modernización y conservación de la infraestructura vial.
- Incrementar la eficiencia del transporte público urbano.
- Fortalecer la capacidad institucional de las autoridades estatales y municipales.
- Contribuir al control y disminución de los niveles de contaminación ambiental.

Acciones financiables

La Institución otorgará asistencia técnica mediante asesorías y otorgamiento de documentos promocionales, términos de referencia, guías operativas, metodologías, etc. y asistencia financiera para la elaboración de estudios y proyectos y la ejecución de las obras definidas en ellos.

Estudios, proyectos y asistencia técnica.

Mediante el Programa, se puede financiar la elaboración de los estudios integrales de transporte urbano para determinar la problemática, la estrategia para su atención, la programación y la presupuestación de las acciones propuestas así como los proyectos ejecutivos necesarios para el desarrollo del programa y el fortalecimiento institucional de las áreas responsables del sistema de transporte urbano.

Infraestructura vial.

Permite la construcción, mejoramiento y conservación de la red vial primaria y secundaria; construcción de puentes y de calles para acceso a colonias populares. Mejoramiento de la operación del tránsito, mediante la construcción de calles, pasos y puentes peatonales, construcción de estacionamientos públicos, señalamiento y semaforización, mejoramiento de intersecciones, paraderos y carriles exclusivos para autobuses.

Pavimentación de Colonias Populares.

Permite al acreditado pavimentar las colonias que estén comunicadas directamente con la red vial pavimentada, tengan cubiertos los servicios de agua potable y alcantarillado, así como un ancho máximo del arroyo de 12.0 m.

Equipo

Permite al acreditado contar con los recursos para la adquisición e instalación de equipo para verificación y control de emisiones contaminantes, así como sistemas de semáforos, equipo para mantenimiento vial y fortalecimiento institucional.

Asistencia técnica y financiera

BANOBRAS otorga asesoría a los solicitantes de crédito y a sus acreditados, en materia de estudios socioeconómicos, elaboración de proyectos, estudios de factibilidad, análisis financiero, tramitación crediticia y apoyo en general durante la vigencia del financiamiento, con el objeto de eficientar los procesos técnico, administrativo y crediticio.

La asistencia técnico-financiera que otorga la Institución representa una ventaja competitiva sobre otras instituciones bancarias, ya que, se orienta de manera gratuita, técnica y financieramente al acreditado.

5. Programa Residuos Sólidos, Obra Civil y Adquisición de Equipo (RSOCAE)

Diagnóstico

Mediante esta línea, se proporcionan recursos para mejorar el entorno ecológico de nuestro país, a través de la recolección, tratamiento y disposición final de los desechos sólidos, a fin de asegurar que el desarrollo nacional sea sustentable y ecológicamente viable. Asimismo, se financia la adquisición de equipo de limpieza y la construcción, ampliación o rehabilitación de infraestructura para el manejo, tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Objetivos

- Apoyar las políticas federales, estatales y locales orientadas al manejo, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, contribuyendo al desarrollo sustentable y a la protección y conservación del medio ambiente, así como al fortalecimiento de los municipios y al desarrollo urbano y regional.
- Promover el reuso, reciclaje y reducción de los residuos sólidos, asimismo proporcionar la asistencia técnica requerida para el aprovechamiento racional de los recursos humanos, materiales y financieros, el fortalecimiento de las áreas administrativa, técnica, de operación, de regulación y mantenimiento de los sistemas de aseo urbano.

Acciones financiadas

La institución ofrece a los solicitantes de crédito del sector público (gobierno federal, gobiernos estatales y municipales, gobierno del Distrito Federal, entidades paraestatales y paramunicipales) y al sector privado concesionario del servicio, asesorías y otorgamiento de documentos promocionales, términos de referencia, guías operativas, metodologías, etcétera.

Asimismo proporciona asistencia financiera para el fortalecimiento Institucional, así como para realizar acciones concretas de carácter institucional a nivel estatal y/o municipal, orientadas a la capacitación, consultoría y asistencia técnica para fortalecer la capacidad de gestión de los recursos humanos, modernizar los esquemas organizacionales, optimizar el uso de los recursos materiales, financieros y tecnológicos de los prestadores de servicios como pueden ser:

- Adquisición de equipo de cómputo y de oficina.
- Elaboración de estudios, proyectos y planes maestros.
- Instrumentación de acciones de mejora, mediante la participación de consultores.
- Realización de pequeñas obras y remodelaciones asociadas a los proyectos específicos de fortalecimiento institucional, tales como la adecuación de oficinas para instalar equipos de cómputo especializado, remodelación del área de cajas y atención a la ciudadanía, entre otras.
- Obra civil construcción y/o acondicionamiento de sitios de disposición sanitaria; clausura de tiraderos a cielo abierto; construcción de caminos de acceso, estaciones de transferencia, rellenos sanitarios, plantas de reciclaje, composta e incineración.
- Adquisición de equipo: vehículos y equipo para barrido, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales; para manejo, tratamiento y disposición sanitaria de residuos sólidos.
- Proyectos Integrales, desde la recolección hasta la disposición final o tratamiento.

Asistencia técnica y financiera

Banobras asocia a la actividad crediticia un importante valor agregado a través de un conjunto de acciones orientadas a elevar la eficiencia de los procesos técnico, administrativo y crediticio de manera gratuita, entre las que se encuentran:

- Elaboración de diagnósticos generales y específicos de la administración pública que permiten instrumentar acciones para incrementar la recaudación local, generar ahorro en el gasto público y ampliar la prestación de los servicios.
- Guías metodológicas y elaboración de términos de referencia para integrar los estudios y proyectos necesarios para dar sustento a las decisiones de inversión.
- Diseño de esquemas de ingeniería financiera para determinar la estructura óptima de los proyectos de inversión y facilitar la incorporación del sector privado en el desarrollo de la infraestructura y la prestación de los servicios públicos.
- Modelos tipo de documentos como certificación de resolución de cabildo y decretos de endeudamiento, etcétera.
- Asesoría para licitación de obras y servicios, objeto de financiamiento, con el propósito de que la adjudicación se realice con apego a las disposiciones jurídicas aplicables.
- Asesoría en los procesos de concesión de servicios públicos a fin de precisar:
 - Forma de adjudicación
 - Plazo de vigencia
 - Prórroga del plazo de la concesión

- Revocación
- Reversión
- Régimen tarifario
- Contraprestaciones que deba cubrir el concesionario

6. Programa Línea Global para Equipamiento y Obras Públicas de Gobiernos Estatales y Municipales (LINGLOB)

Diagnóstico

Para resolver los requerimientos de financiamiento que les permitan cumplir con sus planes de inversión estatales o municipales, las administraciones locales demandan alternativas ágiles de financiamiento, menos requisitos para la autorización del crédito, trámites más simples y atención expedita para obtener el desembolso de los recursos.

Por la diversidad de proyectos que los gobiernos estatales y municipales contemplan llevar a cabo dentro del horizonte de su gestión, requieren de instrumentos financieros que no estén acotados proyecto por proyecto y de esta forma les permitan disponer con flexibilidad de los recursos necesarios para realizar las adquisiciones y ejecutar las obras planeadas.

Objetivo

Apoyar a los gobiernos locales con financiamiento ágil para la realización de obras con carácter productivo consideradas en sus programas de inversión anual, que les permita cumplir en tiempo con las metas preestablecidas y con los compromisos derivados de sus planes de desarrollo estatal o municipal.

Acciones financiables

Se otorgará apoyo financiero a inversiones públicas productivas dentro de los campos de atención que establece la Ley orgánica de Banobras, tales como:

Estudios y proyectos

Elaboración de los estudios y proyectos necesarios que permitan sustentar la viabilidad técnica, económica, financiera y de impacto ambiental de aquellas acciones relacionados con la ejecución de las obras o adquisiciones de los siguientes servicios:

Agua potable, alcantarillado y saneamiento

Captación, conducción, potabilización, red de distribución y tomas domiciliarias, alcantarillado sanitario, drenaje pluvial y plantas de tratamiento de agua.

Infraestructura básica

Puertos aéreos y marítimos, telecomunicaciones, ferrocarriles, urbanización, redes de gas doméstico y redes telefónicas, y carreteras de altas especificaciones.

Infraestructura y equipamiento urbano

Comercio, abasto, salud, seguridad pública, panteones y edificios públicos, equipo diverso, equipo de cómputo, manejo de residuos sólidos municipales, electrificación, fuentes alternas y ahorro y uso eficiente de energía.

Vivienda y desarrollos urbanos

Infraestructura para nuevos desarrollos habitacionales y mixtos, infraestructura y mobiliario urbano, plazas y áreas verdes y vivienda.

Vialidad y transporte

Infraestructura vial, carreteras, puentes y libramientos, modernización del servicio público de transporte.

Fortalecimiento estatal y municipal

Acciones de fortalecimiento institucional a estados y municipios, asistencia técnica, ventanilla única de trámites para urbanización y edificación, y formación de servidores públicos.

Proyectos diversos

Educación, medio ambiente y ecología, y renovaciones.

Para prevenir un sobreendeudamiento de la administración local:

- El monto máximo a financiar será hasta por el equivalente del 30% del programa anual de inversión del estado o del municipio.

Asistencia técnica y financiera

Banobras otorga asesoría a los solicitantes de crédito y a sus acreditados en materia de estudios de perfil, prefactibilidad, factibilidad y elaboración de proyectos ejecutivos, tramitación crediticia y apoyo en general durante la vigencia del financiamiento, con el objeto de eficientar los procesos técnico, administrativo y crediticio.

La asistencia técnico-financiera que otorga la Institución representa una ventaja competitiva para el acreditado sobre otras instituciones bancarias, ya que se da en forma gratuita, como valor agregado al crédito.

7. Programa Imagen Urbana (IMAURB)

Diagnóstico

Mediante esta línea, se otorga financiamiento para rehabilitar y mejorar zonas representativas para la población, que presenten problemas urbanos de congestamiento, uso del suelo, insuficiencia o carencia de infraestructura y equipamiento e imagen visual; asimismo, se otorga financiamiento para rescatar edificios con alto valor histórico patrimonial.

Objetivos

- Apoyar a los gobiernos estatales y municipales en la obtención de recursos para mejorar la imagen urbana de sus poblaciones.
- Reforzar las acciones de planeación del desarrollo urbano.
- Rescatar zonas de valor patrimonial, inmobiliario, histórico y artístico.
- Rehabilitar zonas urbanas deterioradas en cuanto a vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios públicos.
- Elevar la calidad de vida de la población.
- Definir la compatibilidad de usos y destinos del suelo.
- Generar mayor plusvalía de las zonas de mayor relevancia urbana con el propósito de ordenar los usos del suelo y en particular las actividades de las áreas en mejoramiento.
- Reactivar la economía de las localidades al impulsar las actividades administrativas, comerciales, turísticas y de servicios.
- Lograr la funcionalidad de las zonas centro y representativas para hacerlas rentables en función de las actividades que realiza la población.

Acciones financiables

Estudios y Proyectos

Imagen urbana; socioeconómico; mercado; leyes; reglamentos; análisis histórico y artístico del monumento; identificación de los procesos de edificación, alteraciones, daños; factibilidad financiera; proyectos ejecutivos; etcétera.

Ejecución de acciones

Infraestructura:

Agua potable, drenaje, alumbrado público, energía eléctrica, vialidad, transporte, etcétera.

Equipamiento:

Plazas; parques, edificios públicos, espacios abiertos, áreas verdes, estacionamientos, etcétera.

Inmuebles:

Vivienda; iglesias, conventos, edificios históricos, etcétera.

Mobiliario Urbano:

Bancas; postes, paradas de autobuses, semáforos, kioscos, buzones, basureros, etcétera.

Señalamiento:

Nomenclatura; sentidos de las calles, ubicación de inmuebles, etcétera. Para cualquiera de los elementos que se quieran implementar, se deben cumplir las etapas del proceso crediticio del Banco.

Asistencia técnica y financiera

Banobras otorga asesoría a los solicitantes de crédito y a sus acreditados, en materia de estudios socioeconómicos, elaboración de proyectos, estudios de factibilidad, análisis financiero, tramitación crediticia y apoyo en general durante la vigencia del financiamiento, con el objeto de eficientar los procesos técnico, administrativo y crediticio.

La asistencia técnico-financiera que otorga la Institución representa una ventaja competitiva para el acreditado sobre otras instituciones bancarias, ya que se ofrece de manera gratuita, técnica y financieramente.

8. Programa Proárbol (PROARBOL)

Objetivo

El programa PROÁRBOL busca disminuir los índices de pobreza y marginación en áreas forestales, mediante la inducción a un manejo y uso adecuado de sus recursos naturales; generar desarrollo y expansión económica a partir de la valoración, conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos de los bosques, selvas y la vegetación de las zonas áridas; impulsar la planeación y organización forestal, incrementar la producción y productividad de los recursos forestales, su conservación y restauración, así como elevar el nivel de competitividad del sector para contribuir a mejorar la calidad de vida de los mexicanos.

Cobertura

El programa se aplica en los terrenos forestales a nivel nacional.

Beneficiarios

Las personas físicas o morales de nacionalidad mexicana que sean propietarios o poseedores de terrenos forestales y las personas físicas o morales que sin ser dueñas o poseedoras de los terrenos en mención, acrediten su elegibilidad conforme al concepto específico de apoyo.

Descripción

El programa tiene cuatro categorías con sus respectivas subcategorías: empleo rural, capacitación y asistencia técnica, englobados en cuatro grandes categorías:

- I. Planeación y organización forestal
- II. Producción y productividad forestal
- III. Conservación y restauración forestal
- IV. Incremento del nivel de competitividad

Características de los Apoyos

Los recursos son provenientes del Gobierno Federal, tal como se prevé en el Presupuesto de Egresos de la Federación, en las leyes correspondientes, o por transferencias o aportaciones que ingresen al Fondo Forestal Mexicano y se otorgan por conducto de la Comisión Nacional Forestal, a quienes resulten beneficiarios del programa.

¿En qué se aplican los recursos?

- Planeación y organización forestal
 - Estudios regionales forestales
 - Programas de manejo forestal
 - Planeación Comunitaria
- Producción y productividad forestal
 - Cultivo forestal
 - Ejecución de proyectos de turismo de naturaleza
 - Plantaciones forestales comerciales
- Conservación y restauración
 - Reforestación
 - Restauración de suelos
 - Prevención y combate de incendios forestales
 - Sanidad forestal
 - Servicios ambientales
- Incremento del nivel de competitividad

- Equipamiento y caminos forestales
- Desarrollo de la cadena productiva forestal
- Auditoría técnica preventiva y certificación forestal
- Capacitación y adiestramiento

Monto de los Apoyos

De acuerdo al ejercicio fiscal del año en curso, tal como se prevé en el Presupuesto de Egresos de la Federación, en las leyes correspondientes, o por transferencias o aportaciones que ingresen al Fondo Forestal Mexicano y se otorgan por conducto de la Comisión Nacional Forestal.

9. Programa Protección a Centros de Población (PROCEPO)

Objetivos

El Programa de Protección a Centros de Población tiene como objetivos manejar los recursos hídricos en forma integral y disminuir al máximo las condiciones de riesgo y vulnerabilidad a que está sujeta la población, sus actividades económicas y los ecosistemas ante la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos y los posibles efectos del cambio climático, para contribuir así al desarrollo sustentable del país.

Propósitos Generales

Comprender las principales características, materiales y recomendaciones para el diseño de desvíos, rectificaciones, bordos, presas, canalizaciones y protecciones marginales que permitan participar en el diseño, construcción, operación y mantenimiento con acierto y acorde a los requerimientos de la ingeniería.

Estudios Básicos para la Elaboración de Proyectos Ejecutivos

- Estudios de preinversión.
- Proyectos ejecutivos.
- Construcción de obras de protección.
- Mantenimiento y conservación.
- Manejo integral de cuencas, conservación de suelo y agua.
- Desarrollo de capacidades.

Principales Tipos de Obras de Protección contra Inundaciones

1. Bordos longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes de un río.
2. Muros longitudinales.
3. Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio hacia otros cauces, lagunas o directamente al mar.
4. Desvíos temporales a lagunas o zonas bajas de la llanura de inundación.
5. Corte de meandros o rectificaciones para incrementar la capacidad de transporte líquido.

6. Canalizaciones y entubamientos de cauces.
7. Encauzamientos.
8. Protección marginal mediante espigones.
9. Colocación de costalera (provisional).
10. Manejo Integral de Cuencas, conservación de suelo y agua.
11. Desazolve.
12. Diseño de estructuras de descarga de aguas pluviales.
13. Derivaciones.

Requisitos Indispensables

Para la realización de obras públicas se requerirá contar con los estudios y proyectos, especificaciones de construcción, normas de calidad y el programa de ejecución totalmente terminados, estos revisados y validados por la CONAGUA.

Las acciones que rebasen más de un ejercicio, deberán obtener previa a su adjudicación, la autorización expresa de plurianualidad de la SHCP a través de la CONAGUA.

Estrategias para Evitar el Problema de Inundaciones en Centros de Población

1. Conservación y mantenimiento a las obras construidas.
2. Desazolve de cauces.
3. Restitución de estructuras de cruce carreteras y ferroviarias con áreas hidráulicas adecuadas.
4. Ordenamiento territorial, prohibición de asentamientos humanos en zonas de cauces y áreas inundables.
5. Construir por tal motivo colectores sanitarios paralelos a los bordos.
6. Vigilar permanente las obras para evitar el vandalismo y robo de materiales como la roca, tapetes de concreto y compuertas metálicas.
7. La reforestación de las cuencas sobre todo en su parte alta y en las riberas de los ríos.

10. Programa Rescate de Espacios Públicos (PREP)

Objetivo

Contribuir al rescate de espacios públicos que presentan problemas de deterioro, abandono e inseguridad.

Cobertura

Ciudades y zonas metropolitanas con una población de 50 mil habitantes o más.

Beneficiarios

Los habitantes en el entorno de los espacios públicos con deterioro, abandono e inseguridad.

Descripción

El Programa tiene 2 modalidades: Participación Social y Seguridad Comunitaria y Mejoramiento de los Espacios Públicos.

La modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria está dirigida a promover la organización de los ciudadanos para implementar acciones que conduzcan a una mejor convivencia social.

La modalidad Mejoramiento de los Espacios Públicos está orientada a mejorar la infraestructura a través de la construcción o rehabilitación de los espacios.

¿En qué se aplican los recursos?

En la modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria:

- Elaboración de proyectos orientados al rescate de espacios públicos y a la prevención de conductas de riesgo e inseguridad.
- Desarrollo de actividades cívicas, culturales y deportivas.
- Promoción de redes, brigadas y comités vecinales que contribuyan a la seguridad de la población.
- Sensibilización y conductas de riesgo.
- Estudios sobre marginación y violencia.

En la modalidad Mejoramiento Físico de los Espacios Públicos:

- Plazas, áreas verdes, jardines, espacios deportivos.
- Alumbrado, accesos, banquetas, guarniciones.
- Mobiliario y equipamiento.
- Accesos para el transporte público, paraderos seguros, señalización y módulos de vigilancia.

Al menos el 20% del total de los recursos federales destinados por municipio, deberá aplicarse en la modalidad de Participación Social y Seguridad Comunitaria.

Montos

En ambas modalidades, los recursos federales serán hasta por el 50% del total del proyecto, la parte restante serán aportaciones de estados, municipios y beneficiarios de acuerdo a como se convenga.

Para la modalidad Participación Social y Seguridad Comunitaria, hasta \$600,000 por proyecto.

Para la modalidad Mejoramiento Físico de los Espacios Públicos, hasta \$3,000,000 por proyecto.

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CAPÍTULO 6. MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

- 6.1 ASESORÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD HIDROLÓGICA**
- 6.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO**
- 6.3 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO ACTUAL**
- 6.4 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO PROSPECTIVO**

6. MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN

Para generar un mapa de riesgo daño por inundación de cierto bien afectable (por ejemplo, las viviendas o bien las zonas agrícolas) se requiere de mapas de peligro para diferentes periodos de retorno, y la valoración de la vulnerabilidad de las viviendas dentro de las distintas zonas enmarcadas en dichos mapas. Del capítulo 3 se obtienen los mapas de peligro por inundación, por lo que en este capítulo se presentan la metodología empleada calcular los costos de daños por inundación a partir de la vulnerabilidad y como a partir de dicha información, construir el mapa de riesgo de daño a viviendas debido a inundaciones.

Cuando se toma en cuenta que p es la probabilidad de que una persona pague una cantidad de dinero C , la esperanza matemática o valor esperado del pago se define como el producto pC . Este concepto se generaliza cuando D representa una variable que puede adquirir los valores $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ con probabilidades respectivas $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ donde $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 1$, la esperanza matemática de D , simbolizada por $E(D)$ se define como

$$E(D) = p_1 D_1 + p_2 D_2 + p_3 D_3 + \dots + p_n D_n = \sum p D \quad (1)$$

Riesgo

El diccionario de la Real Academia Española señala que riesgo proviene del latín *risico* o *rischio*, y este del ár. clás. *rizq*, (lo que depara la providencia) y que significa, contingencia o proximidad de un daño.

Se entenderá por riesgo lo siguiente:

A la esperanza matemática o valor esperado de las pérdidas (de cierto tipo de bienes materiales o del número de vidas humanas) producidas por la ocurrencia

de un fenómeno de origen natural o antropogénico, sobre un determinado conjunto físico ó ente social.

Así el riesgo se calcula como

$$R=ED=p_1D_1+ p_2D_2+ p_3D_3+\dots+p_nD_n=\Sigma pD \quad (2)$$

Si el costo de los daños (D_i) de cierto tipo de bien material se expresa como una proporción (V_i) del valor del bien material C

$$D_i=V_i C \quad (3)$$

por lo que el riesgo está dado como

$$R=p_1V_1C+ p_2V_2C+ p_3V_3C+\dots+p_nV_n C$$

al tomar como factor común al costo C

$$R=C (p_1V_1+ p_2V_2+ p_3V_3+\dots+p_nV_n)=C \Sigma pV \quad (4)$$

Cuando se tiene un solo evento (solo tiene el primer sumando, y en esta caso no hace falta ponerle subíndice a la probabilidad y a la proporción V), la expresión 4 queda como:

$$R=C p V \quad (5)$$

que es la expresión más conocida para evaluar el riesgo. En ella, a C se le llama costo de los bienes expuestos (puede expresarse en unidades monetarias o puede referirse al número de vidas humanas que podrían perderse), a p .se le llama peligro y a V se le nombra índice de vulnerabilidad (su valor se encuentra entre 0 y 1)

Riesgo de inundaciones

Se refiere a las pérdidas esperadas debido a inundaciones de distinta probabilidad de ocurrencia.

Las pérdidas pueden referirse a estos conceptos que se les llamará elementos de riesgo:

- número vidas humanas
- bienes materiales (que no sean viviendas)
- viviendas
- infraestructura civil
- actividades económicas de la comunidad

Considera:

- El peligro
- La vulnerabilidad

6.1 ASESORÍA PARA LA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD HIDROLÓGICA

Por vulnerabilidad se entiende a la susceptibilidad de un elemento de riesgo de sufrir daños. Este vocablo es un derivado de vulnerable, que según el diccionario de la Real Academia Española viene del latín *vulnerabilis*; es un adjetivo que significa que puede ser herido o recibir lesión, física o moralmente.

La vulnerabilidad corresponde al costo del daño de cierto elemento de riesgo en este caso por la ocurrencia de una inundación. Como ya se mencionó se establece como una proporción del costo total del daño. A ésta proporción que suele manejarse como un porcentaje entre 0 y 1, se le denomina índice de vulnerabilidad: Ella vale cero cuando el costo del daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo y 1 cuando el costo de la afectación es igual al costo total del daño que sufre el bien expuesto.

El índice de vulnerabilidad del elemento de riesgo depende de:

- sus características físicas
- la ubicación
- la clase de efecto del fenómeno físico que le puede dañar (como son la velocidad de la corriente, el arrastre de sedimentos, el tirante de agua producido por una inundación, etc.)

La vulnerabilidad puede determinarse de varias maneras, entre las que se cuentan, entre otras, una ecuación, una gráfica, o una tabla.

Existen diferentes metodologías para estimar la vulnerabilidad en zonas urbanas, sin embargo, en este estudio se propone valorarla a partir del levantamiento de encuestas en un muestreo de campo en torno a los cauces urbanos. En la figura 6.1 se presenta un plano del muestreo desarrollado en torno a los tres cauces principales de la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez: el río Colima, el arroyo Manrique y el arroyo Pereyra. En torno a dichos cauces se indican en forma puntual los sitios que se deben encuestar. Además, en la figura 6.2 se presenta el formato de encuesta levantada para identificar la vulnerabilidad, en la figura 6.3 se presentan los resultados estadísticos globales de la percepción de riesgo de los predios muestreados.

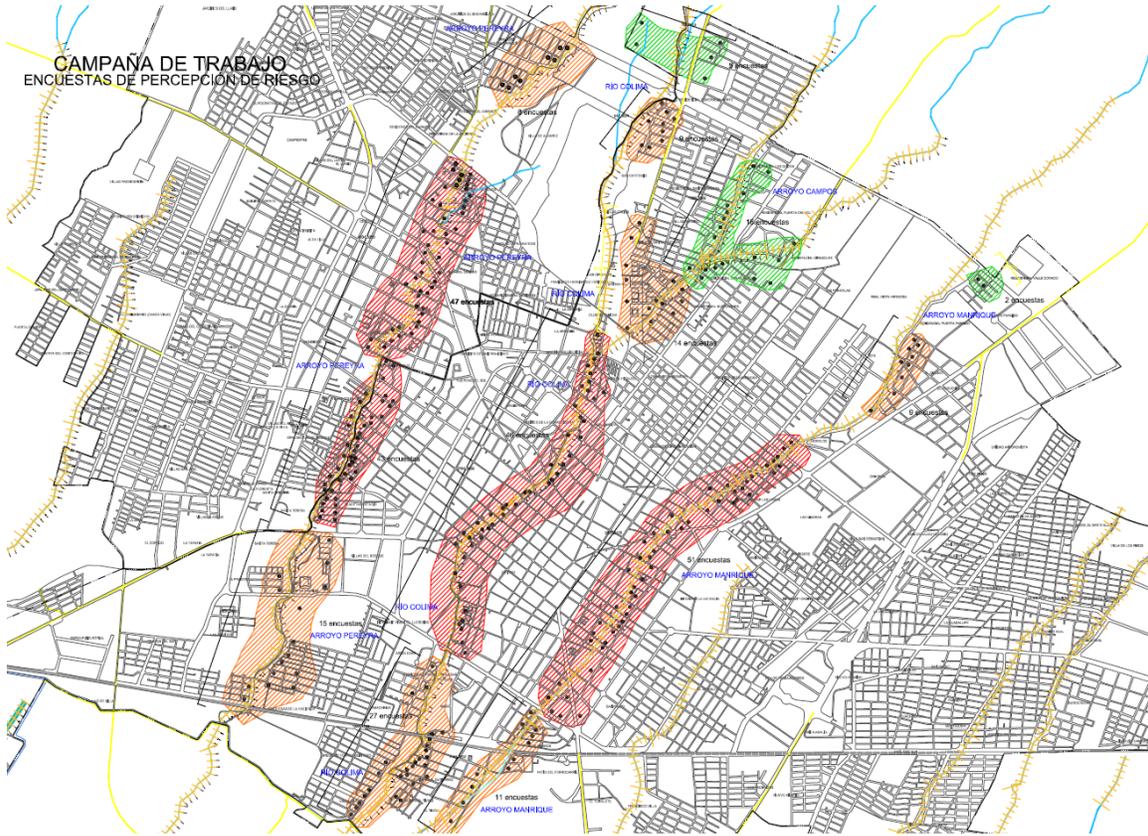


Figura 6.1 Ubicación de predios con las encuestas levantadas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. DOCTORADO EN URBANISMO
ESTUDIO DE PERCEPCIÓN DE RIESGOS HIDROLÓGICOS Y SERVICIOS URBANOS EN COLIMA, COLIMA 2011

ENCUESTADOR:

ENCUESTA #
FECHA:

DAÑOS A VIVIENDA		ENCUESTADOR:		ENCUESTA #		FECHA:	
1 AÑOS DE RESIDENCIA	1 A 5	DE 5 A 10	MAS DE 10	ORIGINARIO			
2 CUÁNTAS PERSONAS RESIDEN?	1 A 4	5 A 8	MAS DE 8	UNIVERSIDAD			
3 HAY ESTUDIANTES EN CASA? CUÁNTOS?	NINGUNO	KINDER, PRIM Y SEC	PREPARATORIA	OTRO			
4 TIPO DE PROPIEDAD	PROPIA	RENTADA	OTRA	OTRO			
5 CÓMO SE ABASTECE DE AGUA	RED URBANA	POZOS ARTESIANOS	PIPAS/CISTERNAS	NO/SIN MEDIDOR			
6 CUENTA CON ENERGÍA ELÉCTRICA	SI/CON MEDIDOR	SI/SIN MEDIDOR	NO/CON MEDIDOR	NO/SIN MEDIDOR			
7 CUENTA CON TELÉFONO?	SI	NO					
8 CUENTA CON INTERNET?	SI	NO					
9 TIPOLOGÍA DE VIVIENDA	2 PLANTAS/ACABADA	1 PLANTA/ACABADA	1 PLANTA/OBRA GRIS	1 PLANTA/CHOZA			
10 NÚMERO DE AUTOS?	MAS DE 2	2	1	NINGUNO			
11 CONOCE EL NOMBRE DEL CAUCE MÁS CERCANO?*	RÍO COLIMA	ARROYO PEREYRA	ARROYO MANRIQUE	NO SE			
12 EL VIVIR CERCA DEL CAUCE LO PERCIBE COMO *	BENEFICIOSO	AGRADABLE	DESAGRADABLE	PROBLEMÁTICO			
13 PROBLEMAS QUE LE OCASIONA VIVIR CERCA DEL CAUCE*	SALUD/GASTRO/RESPIRATORIO	INUNDACIONES	DESALAVES	DEJINCUENGA			
14 HA TENIDO INUNDACIONES EN EL HOGAR?	SI, CADA AÑO	SI, DE 2 A 5 AÑOS	SI, DE AÑOS EN ADELANTE	NUNCA			
15 HA SUFRIDO PERDIDAS DE BIENES POR INUNDACIONES?	NINGUNA	PARCIAL	MODERADA	TOTAL			
16 LE INTERESARÍA QUE SE RECUPERARAN LOS RÍOS DE LA CIUDAD?	SI	NO	NO SE	ME DA IGUAL			
17 ÚLTIMO GRADO DE ESTUDIOS DEL JEFE(A) DE FAMILIA	BASICO	MEDIO	LICENCIATURA	POSGRADO			
18 CONOCE LOS PLANES DE PROTECCIÓN CIVIL POR RIESGOS HIDROLÓGICOS?							
19 A QUÉ CREE USTED QUE SE DEBAN LAS INUNDACIONES EN LA ZONA?							
20 DE DÓNDE ES ORIGINARIA LA FAMILIA?							
21 EN DÓNDE (SITIO/COLONIA/VER PLANO) TRABAJA EL JEFE DE FAMILIA?							
22 EN DÓNDE (SITIO/COLONIA/VER PLANO) TRABAJA LA JEFA DE FAMILIA?							
23 EN DÓNDE ESTÁN (SITIO/COLONIA/VER MAPA) LAS ESCUELAS DE LA FAMILIA?							
24 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO LE PROPORCIONARON ENERGÍA ELÉCTRICA?							
25 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO LE PROPORCIONARON AGUA POTABLE?							
26 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO LE PROPORCIONARON RED DE DRENAJE?							
27 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO PAVIMENTARON LAS CALLES?							
28 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO LE INSTALARON EL TELÉFONO?							
29 AL RESIDIR AQUÍ, EN CUÁNTO TIEMPO SE ESTABLECIÓ EL SERVICIO DE REC BASURA?							
30 CUÁL ES EL NIVEL DE RIESGO POR INUNDACIÓN QUE UD. PERCIBE EN SU RESIDENCIA?	ALTO	MEDIO	BAJO	NINGUNO			
31 AÚN CON INUNDACIONES, ES MEJOR RESIDIR AQUÍ POR*	LOS SERVICIOS URBANOS	HERENCIA Y TRADICIÓN FAM	APOYOS DEL GOBIERNO	NO LO HABÍA PENSADO			
32 LE GUSTARÍA PARTICIPAR EN UN TALLER DE PLANEAMIENTO DE PROYECTOS DE RÍOS?*	SI	NO					
DATOS DE CONTACTO:				(NOMBRE, EDAD, TELÉFONO)			

RESPONSABLE DE ENCUESTA: MTR. JUAN ANSBERTO CRUZ / TEL. 55 56.23.36.00 EXT 8636

* se pueden seleccionar dos opciones o más
** a una respuesta positiva solicitar los datos

Figura 6.2 Formato de encuestas desarrollada para este proyecto

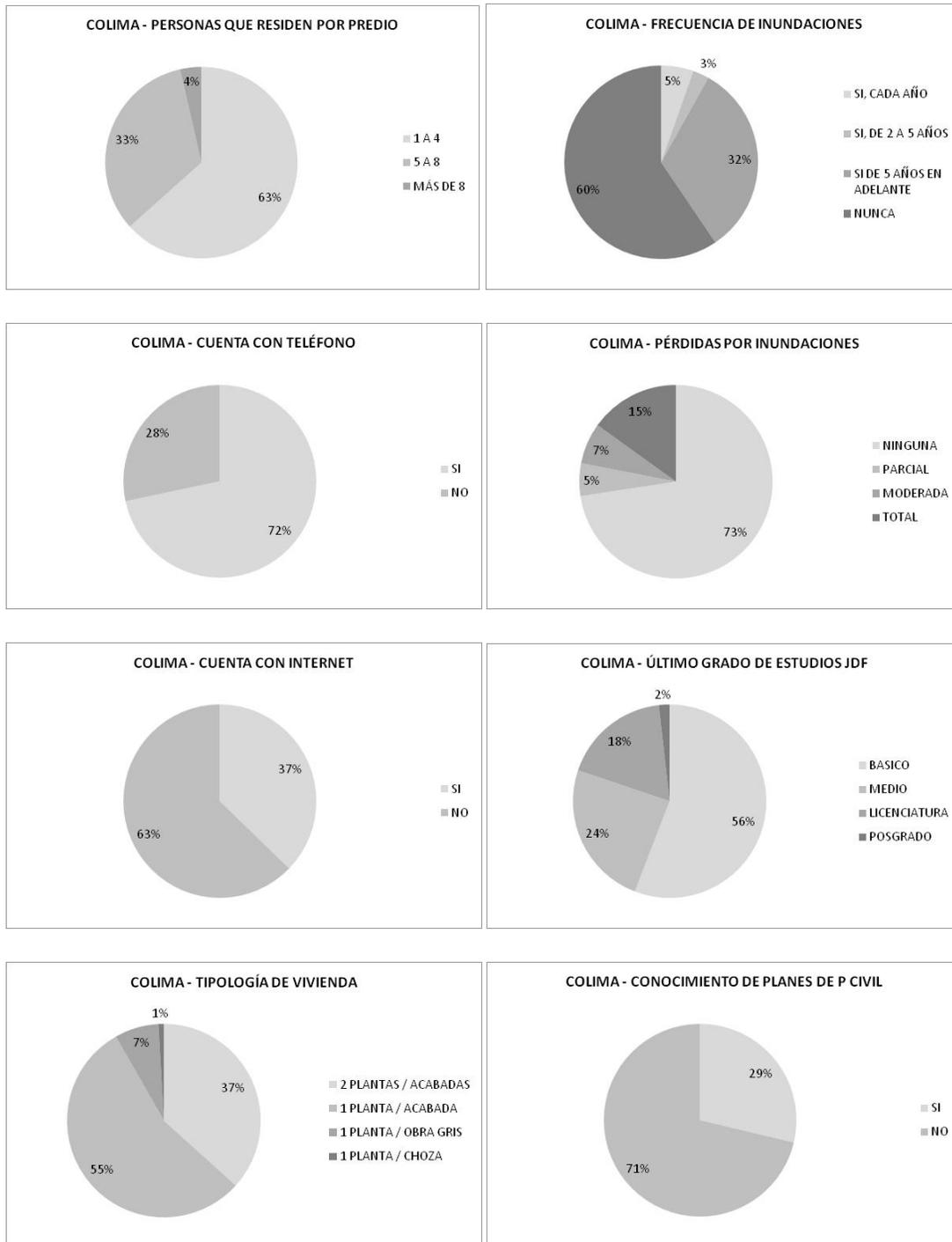


Figura 6.3 Resultados de percepción de riesgo a partir del análisis estadístico de las encuestas levantadas

6.2 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN PARA PERIODOS DE RETORNO DE 10, 25, 50, 100 Y 500 AÑOS.

Se plantea en términos de la probabilidad de que ocurra una inundación de cierta magnitud.

La frecuencia de las inundaciones depende de la región del terreno y características físicas del mismo, del clima, del material de las riberas del río, la forma de sus secciones transversales del cauce de los ríos, de las elevaciones de sus bordos y pendiente de su cauce, de obstáculos al paso de las corrientes, así como la infraestructura (como carreteras) que alteren el drenaje natural de las planicies donde suelen ocurrir.

El peligro se plantea en términos de probabilidades de ocurrencia de los fenómenos hidrometeorológicos en determinadas regiones del terreno. Sin embargo, se determinan a partir de la magnitud que adquiere algún efecto de cierto fenómeno de interés. Ella puede ser una cantidad (escalar o vectorial) que se asocia con (por ejemplo, la lámina de la precipitación acumulada) el fenómeno sobre los elementos de riesgo expuestos.

Como herramienta para determinar el peligro, se utiliza la probabilidad de ocurrencia.

Sí X es una variable aleatoria (discreta o continua), la función de distribución acumulada F se define como

$$F_a = P(X \leq a)$$

Siendo $P(X \leq a)$ la probabilidad de que la variable aleatoria X sea menor o igual a a .

La probabilidad de PE que $X \geq a$, conocida como de excedencia u ocurrencia, se plantea como

$$PE = P(X \geq a) = 1 - P(X \leq a)$$

O bien

$$PE = 1 - F(a)$$

Ésta probabilidad es igual al recíproco del periodo de retorno T así:

$$PE = 1 - F_a = 1/T \quad (3)$$

Siendo T número promedio de lapsos en que deben transcurrir para que la magnitud evento X sea mayor o igual a a . Un muchas ocasiones la duración del lapso es un año.

Para considerar las probabilidades de los eventos hidrometeorológicos que pueden suceder en determinada zona para calcular el riesgo de daño de cierto elemento, se considera que en la ecuación 4, la probabilidad p_i de que se presente el evento i tal que D_i sea mayor o igual que D está dada por la ecuación 3 como

$$p_i = 1/T_i \quad (6)$$

donde T_i es el periodo de retorno del evento i

El riesgo anual

Para obtener el riesgo anual, se considera que la duración del lapso considerado en la definición del periodo de retorno es de un año.

Cálculo del riesgo a través de períodos de retorno

El período de retorno puede verse como la función $T=T(i)$ cuyo dominio son los diferentes niveles de intensidad i , y la imagen de la función es el lapso promedio de tiempo entre ocurrencias de eventos con intensidad i , generalmente dada en años.

La función $Tr(i)$ es creciente con la intensidad, es decir, a mayor magnitud o grado de un evento, aumenta el tiempo entre excedencias. Figura 6.4y Tabla 6.1

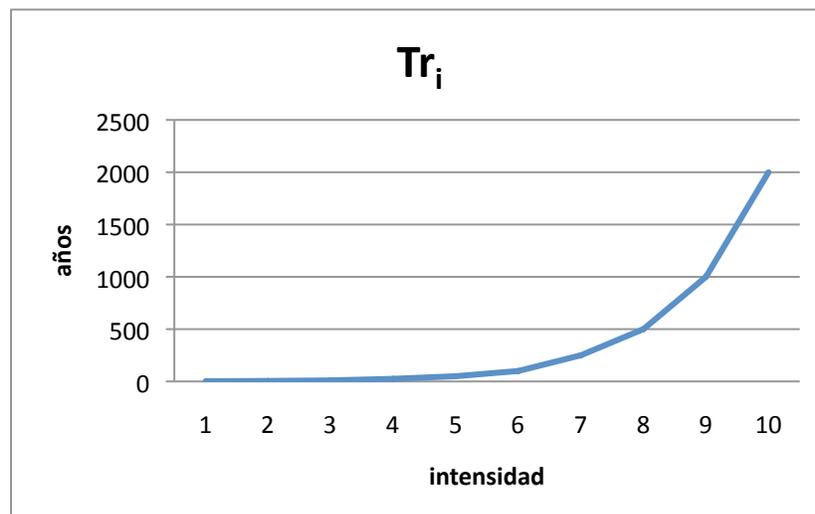


Figura 6.4 Función $Tr(i)$

Tabla 6.1 Probabilidad de excedencia en un año

Intensidad i	Pe
1	0.5
2	0.2
3	0.1
4	0.04
5	0.02
6	0.01
7	0.004
8	0.002
9	0.001
10	0.0005

En particular interesa conocer el período de retorno de eventos máximos anuales.

Para cada período de retorno la probabilidad de excedencia se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Probabilidad de que ocurra por lo menos una vez en un lapso determinado

Período de retorno (años)	Probabilidad de que ocurra al menos una vez en			
	1 año	10 años	50 años	100 años
2	0.5000	0.9990	1.0000	1.0000
5	0.2000	0.8926	1.0000	1.0000
10	0.1000	0.6513	0.9948	1.0000
50	0.0200	0.1829	0.6358	0.8674
100	0.0100	0.0956	0.3950	0.6340
500	0.0020	0.0198	0.0953	0.1814

Estimación de los daños

Como parte del análisis general, una vez que se ha determinado la frecuencia y tamaño de las inundaciones, es necesario estimar la magnitud del costo de los daños. Las técnicas de adquisición de datos dependen de las características de un área específica y los recursos financieros disponibles. Las pérdidas anuales por inundación de viviendas se calculan como la esperanza matemática del costo de los daños a las viviendas causados por las inundaciones.

Los criterios de diseño de las obras de protección contra inundaciones están directamente relacionados con el gasto máximo probable. Mientras más valor tienen los bienes a proteger más grande será el período de retorno del evento que

se considere para su diseño y mayor será el grado de protección que brinde la obra. En muchas ocasiones, el beneficio de los proyectos de control de avenidas se mide como la reducción de daños (o costo de los daños evitados) y estos pueden ser de dos tipos, directos e indirectos. Los daños directos son principalmente daños físicos a los bienes causados por la inundación y se miden como el costo de restauración para restituir las condiciones que se tenían antes del siniestro.

La suma de todos los costos de reparación que son evitados, es igual al valor de protección y se puede usar como una medida de beneficio. Los daños indirectos corresponden a las pérdidas económicas netas de bienes y servicios debido a la interrupción de negocios, industria, comercio, tráfico, comunicaciones y otras actividades dentro y fuera de la zona inundada, así como el costo de las actividades que se llevaron a cabo para restablecer la actividad normal de las comunidades afectadas

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos ha desarrollado una metodología para construir funciones de daños a partir de datos disponibles para diferentes profundidades de inundación. Una función profundidad-daño en una zona urbana es una relación matemática entre la altura o profundidad del agua sobre el nivel cero o de banqueta de una vivienda o un edificio con respecto a la cantidad de daño atribuible a la inundación. Las relaciones profundidad-daño se calculan por separado para la estructura y los contenidos dentro de la vivienda (menaje).

Las relaciones profundidad-daños parten de la premisa de que la altura del agua y su relación con la altura o elevación de la estructura es la variable más importante en la determinación de los valores esperados de los daños a los edificios. También se establece la hipótesis de que los daños son similares para estructuras y contenidos similares. Las relaciones profundidad-daños se expresan con daño a contenidos como porcentaje del valor de los mismos y con daños a estructuras como porcentaje del valor de la estructura para cada 0.5 metros de inundación.

En el cálculo de los daños existen muchos factores que permiten determinar la cantidad. Los aspectos variables que tienen las inundaciones influyen en los daños y se relacionan directamente con la profundidad de inundación, época del año, velocidad del agua, duración de la inundación, carga de sedimentos y la actuación temprana de sistemas de protección civil. Las funciones de daños en zonas urbanas suelen apoyarse en estas dos definiciones:

Valor de estructuras.- Corresponde a la estimación del valor depreciado del reemplazo de las estructuras. El valor de la tierra se considera por separado.

Valor de contenidos.- Los contenidos corresponden a todo aquello que se encuentra dentro de la vivienda y cuya instalación no es permanente.

Las relaciones más comunes de profundidad-daño que se aplican a viviendas residenciales normalmente asocian valores de contenido-estructura y se aceptan valores hasta del 50% máximo, a menos que se justifique porque es más elevado mediante un sondeo especial.

El avalúo de contenidos requiere de inventarios levantados a una muestra de viviendas a las que se aplican valores del mercado local con su correspondiente porcentaje promedio de depreciación.

Existen tres métodos para estimar los daños que se presentan a diferentes niveles de inundación:

- Encuestas y avalúos post-inundación
- Estimación sintética de daños
- Adaptación de otras funciones de daños a la región o localidad

Para construir funciones de profundidad-daño, primero se requiere identificar la susceptibilidad a que los contenidos, las estructuras y de los bienes del exterior de la vivienda sufran daños debido a la inundación.

Graficas de daño/profundidad

La evaluación se desarrolló con 4 tipos de casa, representativas en el estado, para valores de afectaciones a contenidos y estructura de las mismas, como se muestra en las Tablas 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6, así como en las gráficas de las figuras 6.2, 6.3 6.4 y 6.5.

Tabla 6.3 Costos de las afectaciones en pesos y porcentaje para contenidos y estructura con diferentes profundidades de inundación, Casa Tipo I

CASA TIPO I		CONTENIDOS		ESTRUCTURA	
		h	\$	%	\$
	Estimado	0	0	0	0
C	5,720	0.5	1,888	33	5,460
E	42,000	1	3,375	59	8,820
		2	5,720	100	13,440

Fuente: IHS con calibración de resultados de 400 encuestas.
 Valor de estructura \$42,000 valor de contenidos \$5,720 (no incluye valor de terreno)

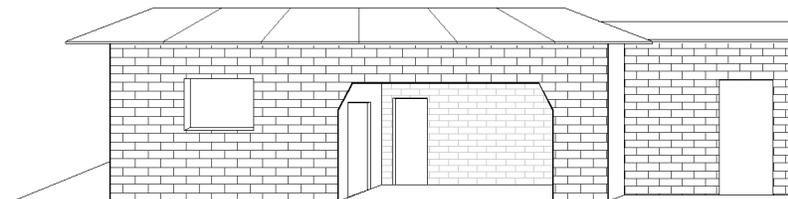


Figura 6.5 Casa Tipo I

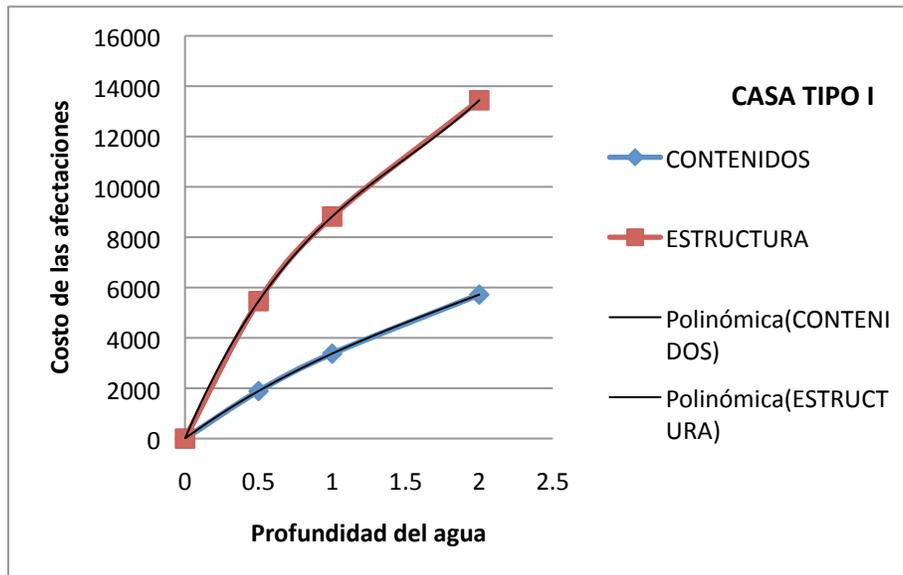


Figura 6.2 Gráfica de afectaciones en pesos para casas Tipo I

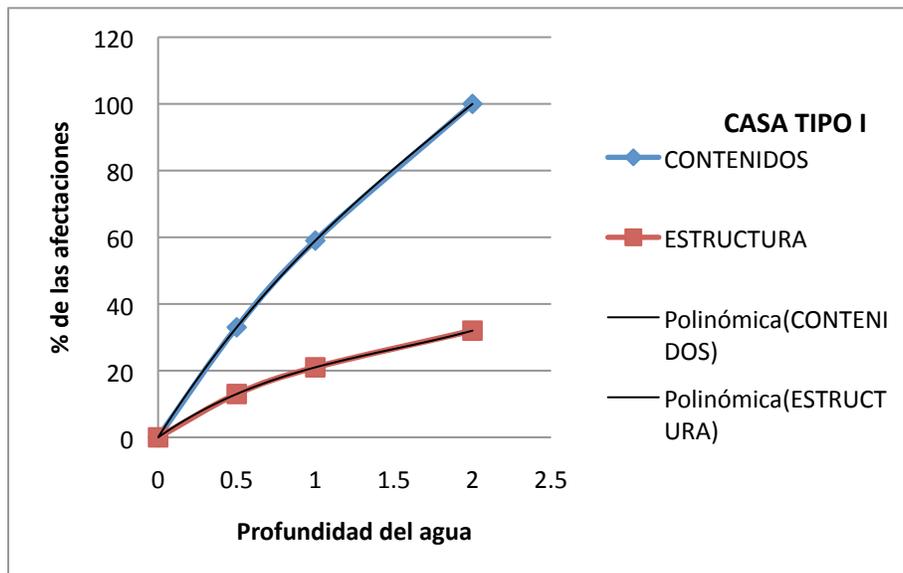


Figura 6.3 Gráfica de afectaciones en porcentaje para casas Tipo I

Tabla 6.4 Costos de las afectaciones en pesos y porcentaje para contenidos y estructura con diferentes profundidades de inundación, Casa Tipo II

CASA TIPO II		CONTENIDOS		ESTRUCTURA		
		h	\$	%	\$	%
C E	Estimado	22,880	138,000			
	0	0	0	0	0	0
	0.5	7,550	13,499	33	17,940	13
	1	13,499	22,880	59	28,980	21
	2	22,880		100	44,160	32

Fuente: IHS con calibración de resultados de 400 encuestas.

Valor de estructura \$138;000, valor de contenidos \$22,880 (no incluye valor de terreno)

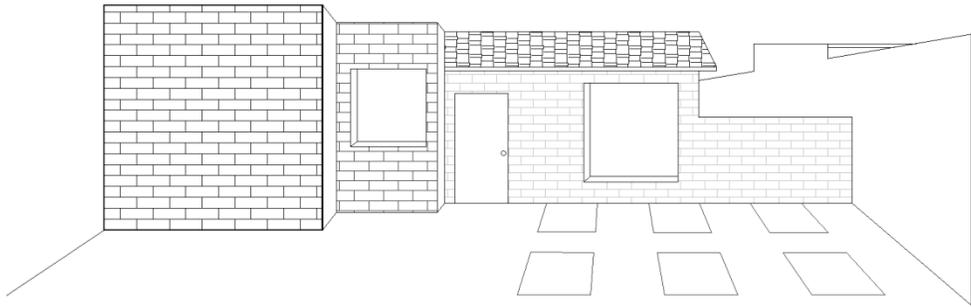


Figura 6.6 Casa Tipo II

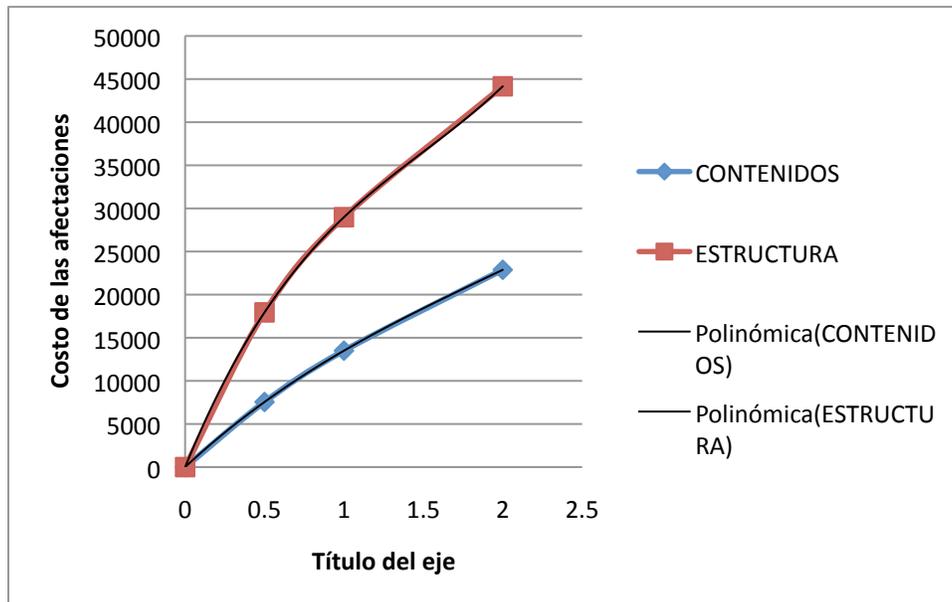


Figura 6.4 Gráfica de afectaciones en pesos para casas Tipo II

Cabe hacer mención que el comportamiento de las gráficas en porcentaje de afectación es similar para las casas tipo I, II y III no así para la tipo IV

Tabla 6.5 Costos de las afectaciones en pesos y porcentaje para contenidos y estructura con diferentes profundidades de inundación, Casa Tipo III

CASA TIPO III

		CONTENIDOS		ESTRUCTURA		
	Estimado	h	\$	%	\$	%
		0	0	0	0	0
C	68,860	0.5	22,724	33	66,300	13
E	510,000	1	40,627	59	107,100	21
		2	68,860	100	163,200	32

Fuente: IHS con calibración de resultados de 400 encuestas.

Valor de estructura \$510;000, valor de contenidos \$68,860 (no incluye valor de terreno)

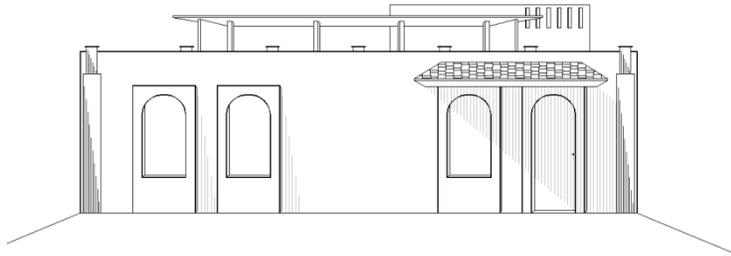


Figura 6.7 Casa Tipo III

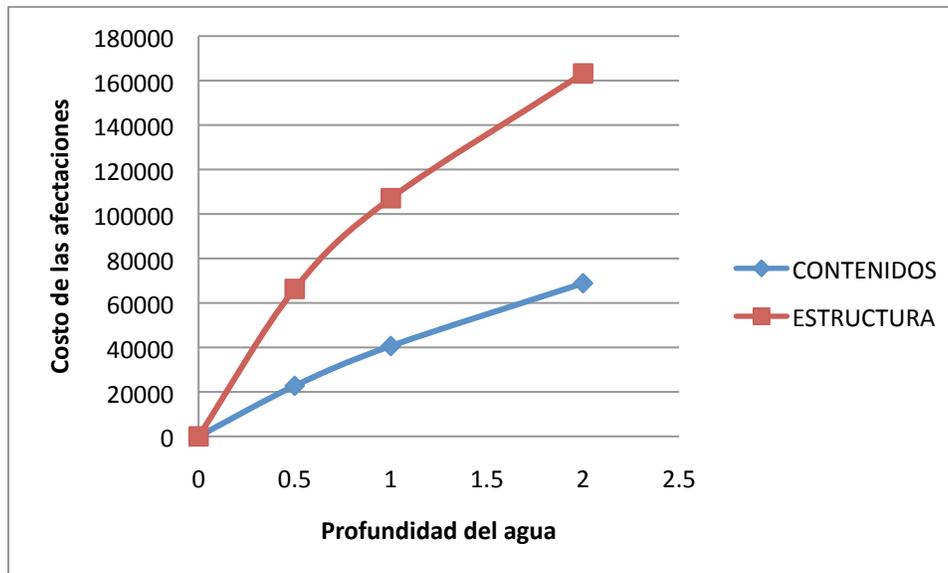


Figura 6.5 Gráfica de afectaciones en porcentaje para casas Tipo III

Tabla 6.6 Costos de las afectaciones en pesos y porcentaje para contenidos y estructura con diferentes profundidades de inundación, Casa Tipo IV

CASA TIPO IV

		CONTENIDOS		ESTRUCTURA		
	Estimado	h	\$	%	\$	%
		0	0	0	0	0
C	70,000	0.5	9,800	14	39,600	11
E	360,000	1	23,100	33	86,400	24
		2	30,100	43	126,000	35

Fuente: IHS con calibración de resultados de 400 encuestas.

Valor de estructura \$360;000, valor de contenidos \$70,000 (no incluye valor de terreno)



Figura 6.7 Casa Tipo IV

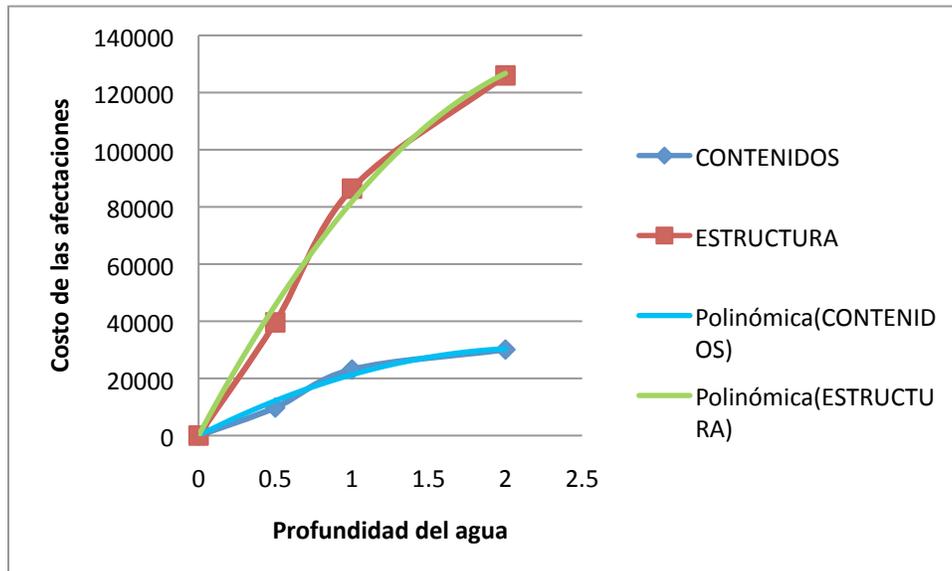


Figura 6.6 Gráfica de afectaciones en pesos para casas Tipo IV

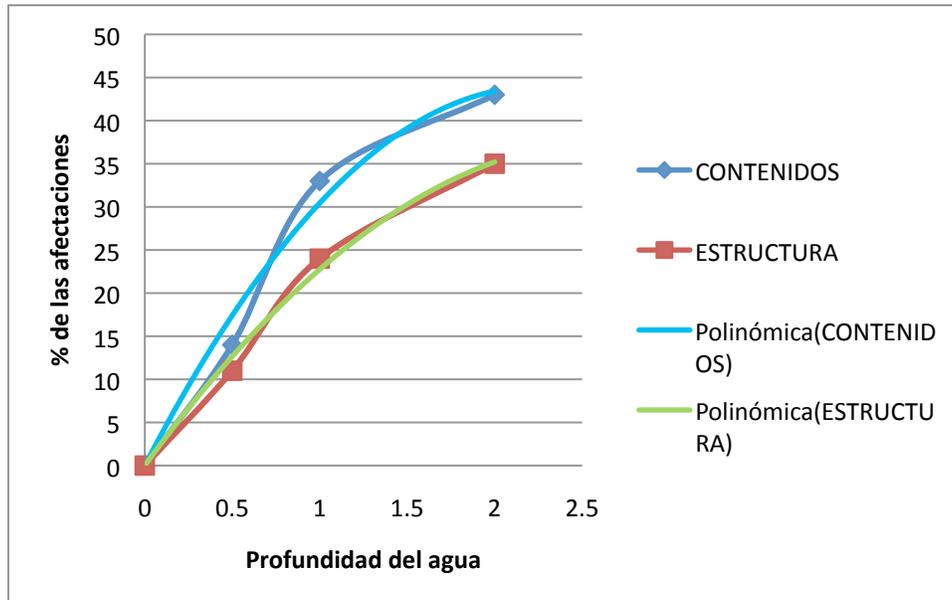


Figura 6.7 Gráfica de afectaciones en porcentaje para casas Tipo IV

La evaluación del riesgo para la Ciudad de Colima se realizó para las manzanas ubicadas en las zonas de peligro, para períodos de retorno de 2, 10 y 50 años.

El análisis inicia con los cálculos del índice de vulnerabilidad por manzana para cada período de retorno. Es decir con la ubicación de cada manzana (datos de X, Y, y cota) se calcula el costo de las afectaciones para contenidos y estructura.

Con los datos de las funciones de daño contra tirante para cada Tr , y los resultados de la función de vulnerabilidad, se obtiene el índice de vulnerabilidad para cada Tr .

El costo de las afectaciones por el índice de vulnerabilidad nos da como resultado el daño asociado a cada período de retorno.

Por otro lado de la función de probabilidad de ocurrencia para cada Tr , tomamos la probabilidad para cada manzana.

Discretizando la función de riesgo, para cada intervalo entre Tr 's se obtiene el riesgo, es decir para cada manzana se obtiene un valor de riesgo para cada Tr .

Finalmente el riesgo en esa manzana, es la sumatoria de los riesgos para cada período de retorno, el riesgo de la zona analizada será entonces la sumatoria de total de las manzanas analizadas, las unidades se expresan en \$/año.

La información de vulnerabilidad se puede usar para refinar los costos y los beneficios del proyecto a un nivel de prefactibilidad.

Las consideraciones de riesgo pueden ser incorporadas en los diferentes estudios de formulación del proyecto (mercado, tamaño, ubicación, ingeniería, etc.) y se pueden seleccionar medidas de mitigación estructurales y no estructurales. A nivel de análisis de factibilidad, la información disponible puede ser completada por evaluaciones específicas de peligros y utilizada para refinar aún más los cálculos de costo y beneficio. Se pueden usar métodos más elaborados de evaluación probabilística.

A continuación se presenta en la tabla 6.7 los resultados obtenidos, en la ciudad de Colima. Las coordenadas X y Y representan la ubicación de cada manzana seleccionada para el análisis, siendo el riesgo anual total de \$20'990,455.06 por año.



Figura 6.8 Manzanas consideradas inundadas en la zona conurbada, en color rojo

Tabla 6.7 Cálculo de los daños por manzanas

X	Y	PARA	PARA	PARA	No. vivienda	DAÑO (C)(iv),	DAÑO (C)(iv),	DAÑO (C)(iv),
		Tr=2 h=	Tr=10 h=	Tr=50 h=		TR2	TR10	TR50
631656.92	2127172.07	0.75	1	1.25	18	416,424.89	982,054.18	961,045.62
632484.87	2129040.59	0.75	1	1.25	22	508,963.75	982,054.18	961,045.62
633261.25	2128045.35	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
633296.43	2128248.59	0.75	1	1.25	29	670,906.77	982,054.18	961,045.62
633355.69	2126302.48	0.75	1	1.25	10	231,347.16	982,054.18	961,045.62
633357.90	2128352.15	0.75	1	1.25	31	717,176.20	982,054.18	961,045.62
633433.97	2128409.98	0.75	1	1.25	8	185,077.73	982,054.18	961,045.62
633555.35	2128417.53	0.75	1	1.25	10	231,347.16	982,054.18	961,045.62
633642.15	2128485.74	0.75	1	1.25	11	254,481.88	982,054.18	961,045.62
633818.12	2128635.15	0.75	1	1.25	2	46,269.43	982,054.18	961,045.62
633880.22	2126942.30	0.75	1	1.25	8	185,077.73	982,054.18	961,045.62
633982.12	2127065.23	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
634009.40	2128890.88	0.75	1	1.25	23	532,098.47	982,054.18	961,045.62
634049.60	2128954.00	0.75	1	1.25	18	416,424.89	982,054.18	961,045.62
634213.33	2129338.85	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
634271.84	2124606.48	0.75	1	1.25	2	46,269.43	982,054.18	961,045.62
634286.76	2129605.10	0.75	1	1.25	14	323,886.03	982,054.18	961,045.62
634327.47	2127441.89	0.75	1	1.25	10	231,347.16	982,054.18	961,045.62
634393.17	2129919.98	0.75	1	1.25	7	161,943.01	982,054.18	961,045.62
634396.92	2125672.10	0.75	1	1.25	4	92,538.86	982,054.18	961,045.62
634430.91	2127569.18	0.75	1	1.25	33	763,445.63	982,054.18	961,045.62
634475.72	2127741.04	0.75	1	1.25	19	439,559.61	982,054.18	961,045.62
634553.09	2127676.88	0.75	1	1.25	22	508,963.75	982,054.18	961,045.62
634590.89	2127749.88	0.75	1	1.25	21	485,829.04	982,054.18	961,045.62
634599.23	2126200.54	0.75	1	1.25	21	485,829.04	982,054.18	961,045.62
634658.91	2127614.77	0.75	1	1.25	8	185,077.73	982,054.18	961,045.62
634707.35	2128141.70	0.75	1	1.25	54	1,249,274.67	982,054.18	961,045.62
634836.92	2126239.41	0.75	1	1.25	27	624,637.34	982,054.18	961,045.62
634871.71	2126830.70	0.75	1	1.25	21	485,829.04	982,054.18	961,045.62
634876.40	2128298.17	0.75	1	1.25	10	231,347.16	982,054.18	961,045.62
634916.83	2126884.26	0.75	1	1.25	12	277,616.59	982,054.18	961,045.62
634964.00	2126968.88	0.75	1	1.25	30	694,041.48	982,054.18	961,045.62
635016.07	2127040.31	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
635075.12	2127126.32	0.75	1	1.25	8	185,077.73	982,054.18	961,045.62
635186.47	2128594.89	0.75	1	1.25	4	92,538.86	982,054.18	961,045.62
635212.51	2130507.70	0.75	1	1.25	24	555,233.19	982,054.18	961,045.62
635343.04	2128637.98	0.75	1	1.25	4	92,538.86	982,054.18	961,045.62
635593.91	2128832.87	0.75	1	1.25	7	161,943.01	982,054.18	961,045.62
637438.96	2127099.98	0.75	1	1.25	18	416,424.89	982,054.18	961,045.62
637457.77	2127141.16	0.75	1	1.25	17	393,290.17	982,054.18	961,045.62
637468.51	2127181.33	0.75	1	1.25	14	323,886.03	982,054.18	961,045.62
637547.07	2127336.21	0.75	1	1.25	8	185,077.73	982,054.18	961,045.62
637672.58	2127548.37	0.75	1	1.25	12	277,616.59	982,054.18	961,045.62
637759.84	2127602.92	0.75	1	1.25	6	138,808.30	982,054.18	961,045.62
637816.21	2127667.22	0.75	1	1.25	19	439,559.61	982,054.18	961,045.62
637835.93	2126991.02	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
637836.04	2127035.66	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
637923.42	2127712.01	0.75	1	1.25	18	416,424.89	982,054.18	961,045.62
637931.74	2127758.53	0.75	1	1.25	17	393,290.17	982,054.18	961,045.62
638032.70	2127799.11	0.75	1	1.25	9	208,212.45	982,054.18	961,045.62
638037.85	2127837.30	0.75	1	1.25	21	485,829.04	982,054.18	961,045.62
638042.52	2127913.46	0.75	1	1.25	17	393,290.17	982,054.18	961,045.62
638046.15	2127874.33	0.75	1	1.25	3	69,404.15	982,054.18	961,045.62
638049.72	2128006.63	0.75	1	1.25	16	370,155.46	982,054.18	961,045.62
638060.16	2128053.32	0.75	1	1.25	16	370,155.46	982,054.18	961,045.62
638107.28	2127524.23	0.75	1	1.25	25	578,367.90	982,054.18	961,045.62
638107.28	2127524.23	0.75	1	1.25	25	578,367.90	982,054.18	961,045.62
638203.71	2127672.18	0.75	1	1.25	14	323,886.03	982,054.18	961,045.62

Tabla 6.8 Cálculo de los daños por manzanas (Continuación)

X	Y	PARA	PARA	PARA	No. viviendas	$R=C(P)(Iv)$	$R=C(P)(Iv)$	S
		Tr=2 h=	Tr=10 h=	Tr=50 h=		PARA TR2-TR10	PARA TR10-TR50	
631656.92	2127172.07	0.75	1	1.25	18	279,695.81	95,211.89	374,907.70
632484.87	2129040.59	0.75	1	1.25	22	298,203.59	95,211.89	393,415.48
633261.25	2128045.35	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
633296.43	2128248.59	0.75	1	1.25	29	330,592.19	95,211.89	425,804.08
633355.69	2126302.48	0.75	1	1.25	10	242,680.27	95,211.89	337,892.16
633357.90	2128352.15	0.75	1	1.25	31	339,846.08	95,211.89	435,057.97
633433.97	2128409.98	0.75	1	1.25	8	233,426.38	95,211.89	328,638.27
633555.35	2128417.53	0.75	1	1.25	10	242,680.27	95,211.89	337,892.16
633642.15	2128485.74	0.75	1	1.25	11	247,307.21	95,211.89	342,519.10
633818.12	2128635.15	0.75	1	1.25	2	205,664.72	95,211.89	300,876.61
633880.22	2126942.30	0.75	1	1.25	8	233,426.38	95,211.89	328,638.27
633982.12	2127065.23	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
634009.40	2128890.88	0.75	1	1.25	23	302,830.53	95,211.89	398,042.42
634049.60	2128954.00	0.75	1	1.25	18	279,695.81	95,211.89	374,907.70
634213.33	2129338.85	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
634271.84	2124606.48	0.75	1	1.25	2	205,664.72	95,211.89	300,876.61
634286.76	2129605.10	0.75	1	1.25	14	261,188.04	95,211.89	356,399.93
634327.47	2127441.89	0.75	1	1.25	10	242,680.27	95,211.89	337,892.16
634393.17	2129919.98	0.75	1	1.25	7	228,799.44	95,211.89	324,011.33
634396.92	2125672.10	0.75	1	1.25	4	214,918.61	95,211.89	310,130.50
634430.91	2127569.18	0.75	1	1.25	33	349,099.96	95,211.89	444,311.85
634475.72	2127741.04	0.75	1	1.25	19	284,322.76	95,211.89	379,534.65
634553.09	2127676.88	0.75	1	1.25	22	298,203.59	95,211.89	393,415.48
634590.89	2127749.88	0.75	1	1.25	21	293,576.64	95,211.89	388,788.53
634599.23	2126200.54	0.75	1	1.25	21	293,576.64	95,211.89	388,788.53
634658.91	2127614.77	0.75	1	1.25	8	233,426.38	95,211.89	328,638.27
634707.35	2128141.70	0.75	1	1.25	54	446,265.77	95,211.89	541,477.66
634836.92	2126239.41	0.75	1	1.25	27	321,338.30	95,211.89	416,550.19
634871.71	2126830.70	0.75	1	1.25	21	293,576.64	95,211.89	388,788.53
634876.40	2128298.17	0.75	1	1.25	10	242,680.27	95,211.89	337,892.16
634916.83	2126884.26	0.75	1	1.25	12	251,934.15	95,211.89	347,146.04
634964.00	2126968.88	0.75	1	1.25	30	335,219.13	95,211.89	430,431.02
635016.07	2127040.31	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
635075.12	2127126.32	0.75	1	1.25	8	233,426.38	95,211.89	328,638.27
635186.47	2128594.89	0.75	1	1.25	4	214,918.61	95,211.89	310,130.50
635212.51	2130507.70	0.75	1	1.25	24	307,457.47	95,211.89	402,669.36
635343.04	2128637.98	0.75	1	1.25	4	214,918.61	95,211.89	310,130.50
635593.91	2128832.87	0.75	1	1.25	7	228,799.44	95,211.89	324,011.33
637438.96	2127099.98	0.75	1	1.25	18	279,695.81	95,211.89	374,907.70
637457.77	2127141.16	0.75	1	1.25	17	275,068.87	95,211.89	370,280.76
637468.51	2127181.33	0.75	1	1.25	14	261,188.04	95,211.89	356,399.93
637547.07	2127336.21	0.75	1	1.25	8	233,426.38	95,211.89	328,638.27
637672.58	2127548.37	0.75	1	1.25	12	251,934.15	95,211.89	347,146.04
637759.84	2127602.92	0.75	1	1.25	6	224,172.49	95,211.89	319,384.38
637816.21	2127667.22	0.75	1	1.25	19	284,322.76	95,211.89	379,534.65
637835.93	2126991.02	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
637836.04	2127035.66	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
637923.42	2127712.01	0.75	1	1.25	18	279,695.81	95,211.89	374,907.70
637931.74	2127758.53	0.75	1	1.25	17	275,068.87	95,211.89	370,280.76
638032.70	2127799.11	0.75	1	1.25	9	238,053.32	95,211.89	333,265.21
638037.85	2127837.30	0.75	1	1.25	21	293,576.64	95,211.89	388,788.53
638042.52	2127913.46	0.75	1	1.25	17	275,068.87	95,211.89	370,280.76
638046.15	2127874.33	0.75	1	1.25	3	210,291.67	95,211.89	305,503.56
638049.72	2128006.63	0.75	1	1.25	16	270,441.93	95,211.89	365,653.82
638060.16	2128053.32	0.75	1	1.25	16	270,441.93	95,211.89	365,653.82
638107.28	2127524.23	0.75	1	1.25	25	312,084.42	95,211.89	407,296.31
638107.28	2127524.23	0.75	1	1.25	25	312,084.42	95,211.89	407,296.31
638203.71	2127672.18	0.75	1	1.25	14	261,188.04	95,211.89	356,399.93
						RIESTO TOTAL	20,990,455.06	
								PESOS POR AÑO

6.3 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO ACTUAL

A partir de los resultados obtenidos y presentados en la tabla 6.8 y se obtienen tres intensidades de riesgo: alto, indicado generalmente en color rojo; medio, en color amarillo y bajo en color verde. Dichos colores se han asignado al total de las manzanas urbanas a las que se le identificó inundación para diferentes periodos de retorno y que se presentaron en el subcapítulo 4.3.



Figura 6.9 Mapa de riesgo por inundación en manzanas urbanas debida a desbordamiento de cauces

PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LOS CAUCES URBANOS DE LA ZONA METROPOLITANA COLIMA-VILLA DE ÁLVAREZ

CONCLUSIONES

EL Plan de Manejo Integral de la Zona Metropolitana de Colima-Villa de Álvarez se compone de 17 cauces definidos metodológicamente en el presente documento.

Se realizaron los estudios hidrológicos correspondientes aplicando metodologías de punta adaptadas por el IIUNAM para cada caso de estudio en las cuencas naturales y en las cuencas urbanas. La modelación matemática de flujo bidimensional se innovó al introducir en el cálculo tanto a los hidrogramas de entrada aguas arriba de los cauces de estudio, como los volúmenes escurridos en las cuencas urbanas correspondientes a cada cauce, obteniéndose resultados muy similares a los acontecidos en el evento extraordinario Jová de 2010, evento que sirvió para la calibración de los resultados obtenidos.

El diagnóstico de la infraestructura hidráulica urbana arrojó muy buenos resultados en el balance hidrológico y en el esquema de actualización del manejo del agua a escala regional, ya que siempre se ha incluido una visión sustentable en el manejo de los recursos por parte de las autoridades, tomadores de decisiones y usuarios.

Se desarrollaron criterios específicos para el manejo de los cauces de estudio, mismos que se utilizaron en el desarrollo metodológico del plan de manejo integral de los cauces urbanos, estableciendo el término de aptitud de un cauce urbano, como el eje del planteamiento de acciones que conforman al plan de manejo integral.

El plan de manejo integral se presenta en forma exhaustiva en 134 planos, cuyas acciones se clasifican y cuantifican en a) acciones hidráulicas y b) acciones urbano-arquitectónicas que satisfacen a la imagen objetivo desarrollada para este proyecto.

Finalmente, se desarrolló la metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundación debido al desbordamiento de los ríos con resultados aceptables.