

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE UNA CUENCA

**Jorge Maza, Pedro Fernández, Adrián Vargas, Luis Fornero,
Daniel Trípodí, Hugo Yañez y Marta Nuñez**

Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas
Centro Regional Andino, Argentina

RESUMEN: Se presenta la aplicación de una metodología basada en la modelación matemática y en la utilización de sistemas gráficos computacionales para la obtención de pautas de decisión destinadas al ordenamiento territorial y planificación urbana de una cuenca con escasez de datos que involucra a una ciudad capital de provincia en el Noroeste de Argentina.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Catamarca (Figura 1) se encuentra en el Noroeste de Argentina, al pie de la Cordillera de los Andes y por lo tanto con una orografía bastante accidentada. Su clima es del tipo semiárido con una precipitación media anual de 300 mm.

El arroyo Fariñango, al igual que sus afluentes La Gruta, Choya y La Florida, atraviesan el área urbana de la Ciudad San Fernando del Valle de Catamarca, Capital de la Provincia, ocasionando numerosos inconvenientes durante las esporádicas crecidas producidas por intensas tormentas convectivas en las temporadas estivales. La situación así planteada se agrava aún más si se tiene en cuenta que la expansión urbana se está produciendo hacia el norte, zona que, precisamente, es la que posee una mayor densificación de la red de drenaje natural y por lo tanto la que queda más expuesta al riesgo de inundaciones.

OBJETIVO Y METODOLOGÍA

Con la finalidad de obtener parámetros de diseño para obras de sistematización de los cauces, como también para la planificación del uso del suelo, se desarrollaron los estudios hidrológicos pertinentes que consistieron, primeramente en la determinación de variables

hidrometeorológicas y fisiográficas de las cuencas, las que luego fueron utilizadas como datos de entrada a los modelos matemáticos de simulación hidrológica. Los caudales así obtenidos, asociados con probabilidad de ocurrencia, fueron datos de entrada al modelo matemático de simulación de curvas de superficie libre en régimen permanente para delimitar áreas de inundación.

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION HIDROMETEOROLOGICA

Este procesamiento consistió inicialmente en la recopilación de la información pluviométrica de la región (no existen datos pluviográficos disponibles) manifestada por los récords de longitud variable de las 12 estaciones operadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y por la Dirección de Hidráulica de Catamarca (D.H.).

Análisis de la distribución espacial

Con la necesidad de contar con eventos de lluvia que tuvieran simultaneidad en más de 7 estaciones para poder analizar la distribución espacial de las tormentas, se realizó un proceso de selección que permitió individualizar 15 eventos.

Artículo recibido el 3 de **Manso de 1995** y aceptado para su publicación el 13 de **Marzo de 1995**. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

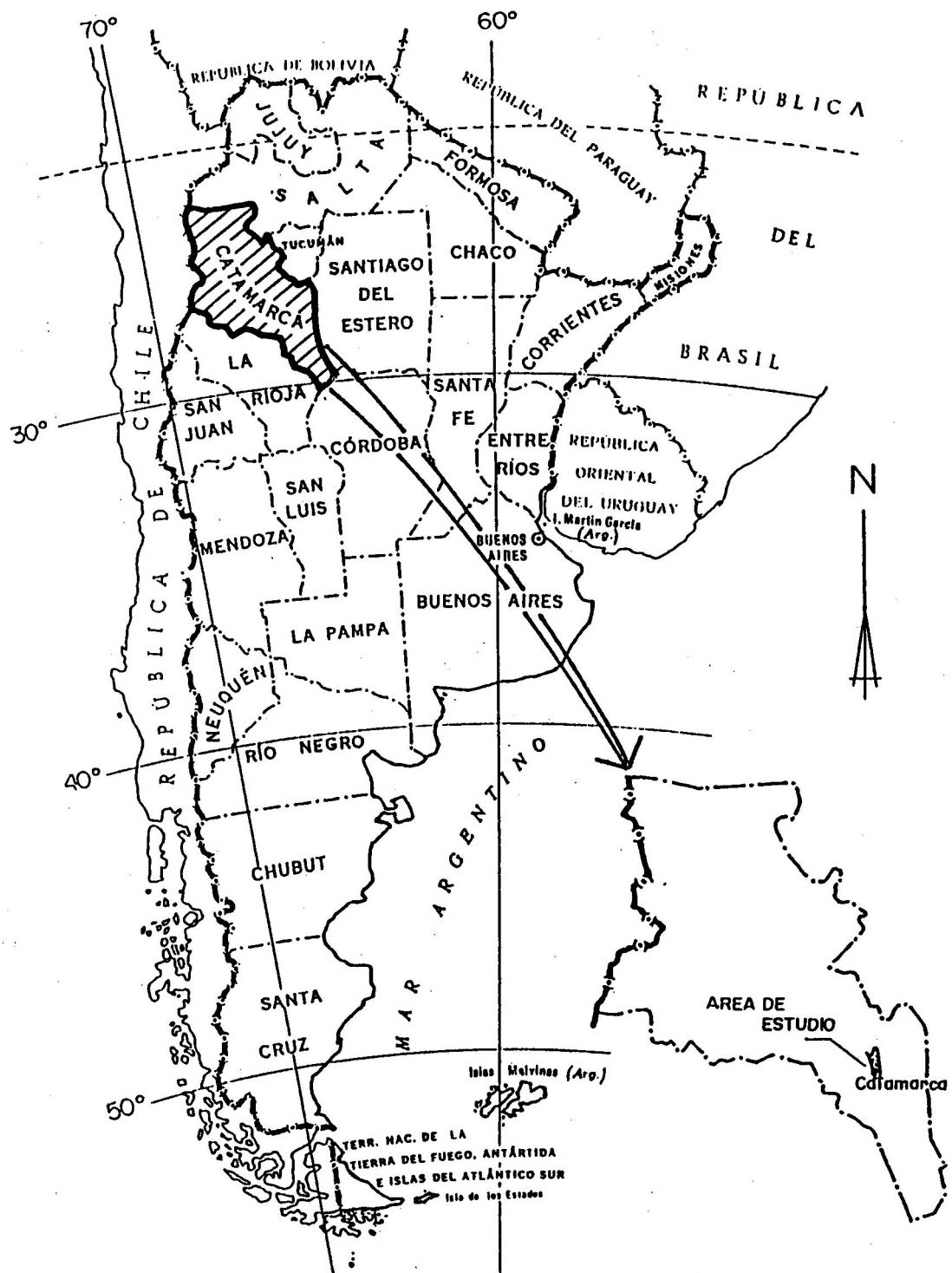
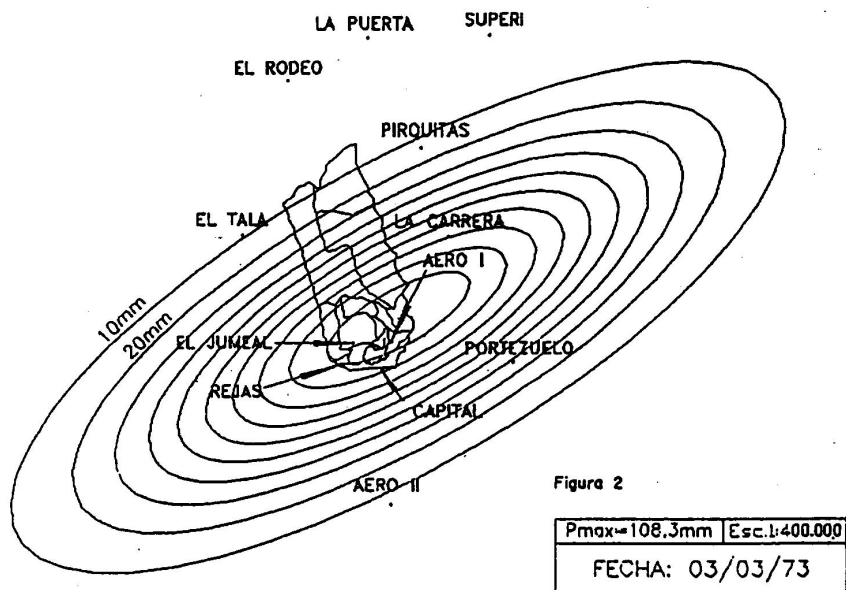


Figura 1. Croquis de ubicación del área de estudio



XMU=24.2876 YNU=22.2943 RO=108.286 AZERO=0.825625 E-02
 BZERO= 0.335913 E-02 ALPHA=0.391776 E-02
 CENTRO CELDA XM=24.29 YM=22.29 PMAX=108.29

I	x(I)	Y(I)	P(I)	F(I)	RFIT(I)	ERROR(I)
203	23.600	19.800	100.000	0.080	104.226	-4.226
209	12.200	46.200	45.000	0.878	45.739	-0.739
201	26.000	16.200	113.000	-0.043	101.250	11.750
104	26.200	40.000	28.600	1.331	28.108	0.492
411	36.500	18.200	43.000	0.924	44.201	-1.201
102	19.000	18.000	63.000	0.542	67.639	-4.639
103	7.600	30.200	25.000	1.446	24.738	0.732

PARAMETROS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS CELDAS ELIPTICAS DE TORMENTA

(1) EN COORDENADAS CARTESIANAS

AZERO = 0.008 BZERO = 0.003 ALPHA = 0.004

(2) EN COORDENADAS POLARES

AZEROR = 0.010 BZEROR = 0.001

THETA = 0.0506 RADIANTES (28.998°)

(3) EN TERMINOS DE LOS PARÁMETROS DE DISPERSION Y EXTRENTRICIDAD

EXCENTRICIDAD = 0.941 E**2 = 0.886

DISPERSION S = 16.857 S**2 = 284.153

SEMIEJE MAYOR = 41.036 SEMIEJE MENOR = 13.849 AREA = 1785.38

10.000	0.09235	15.11451	44.78519	2126.563
20.000	0.18470	12.72701	37.71087	1507.795
30.000	0.27704	11.09474	32.87436	1145.839
40.000	0.36939	9.77266	28.95696	889.027
50.000	0.46174	8.60847	25.50739	689.829
60.000	0.55409	7.52471	22.29617	527.072
70.000	0.64644	6.46827	19.16585	389.462
80.000	0.73879	5.38823	15.96563	270.260
90.000	0.83113	4.21162	12.47929	165.116
100.000	0.92348	2.76294	8.18675	71.061

Figura 2.

En base a la precipitación de cada estación y sus respectivas coordenadas relativas, se pudieron determinar para cada evento isohietas elípticas a través del modelo Convective Field Model (CFM) (Fernández, P., 1985) y cuyos resultados se ejemplifican en la Figura 2 y en la salida analítica anexa del evento del 3/3/73.

Es importante hacer notar que en cada salida analítica se puede visualizar al pie una tabla con 5 columnas correspondiendo a valores de (izquierda a derecha):

- valor de precipitación (mm) en una isohieta
- valor de precipitación (relativo al núcleo) en una isohieta
- longitud (Km) del semieje menor de la isohieta elíptica
- longitud (Km) del semieje mayor de la isohieta elíptica
- área (Km²) de la isohieta elíptica

pp = precipitación relativa al núcleo correspondiente a una isohieta elíptica de área

A (Km²) de un evento de duración D (horas).

También de los registros pluviométricos de la D.H. se puede estimar que 3 y 6 horas son duraciones típicas de los eventos de la región. En la Figura 3 aparecen las curvas de decaimiento espacial de la tormenta para estas duraciones típicas.

Ajuste de las relaciones precipitación- duración- frecuencia

El análisis estadístico de las precipitaciones diarias máximas anuales de la Estación Catamarca-FC del SMN y Estación Capital de D.H. (53 años) permitió ajustar la probabilidad a una distribución log-normal en base a la expresión $n/(m+1)$, donde:

n = número de orden en forma decreciente de la precipitación

m = número total de registros

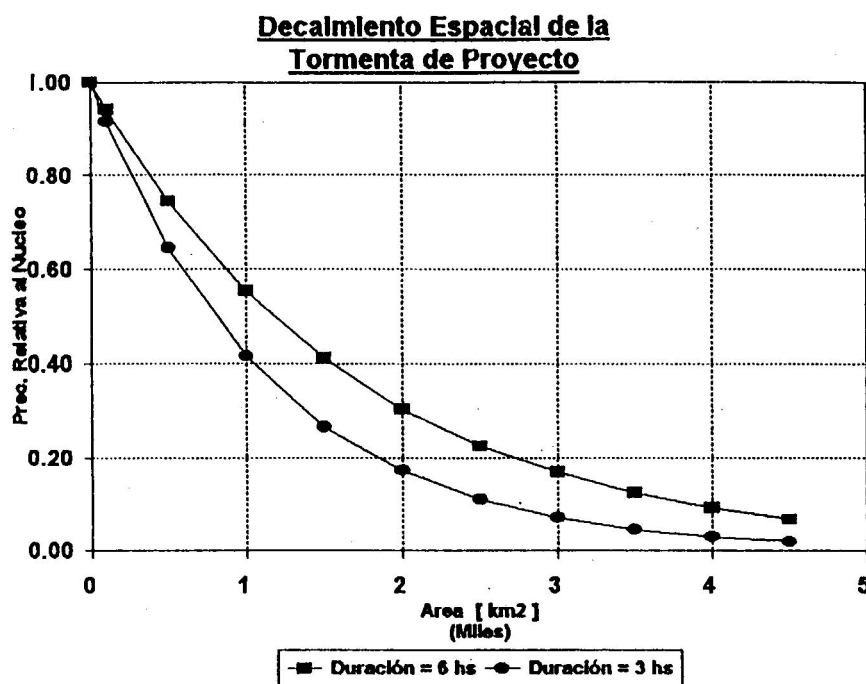


Figura 3

Con los valores mencionados, arrojados por el modelo CFM, y las duraciones de las tormentas analizadas, extraídas de las planillas correspondientes a estaciones operadas por la D.H., se pudo realizar una correlación que dio por resultado la siguiente expresión:

$$pp = \text{EXP}-(0,0012 - 0,0000954 D)A$$

con $R^2 = 0,999$

donde:

Y cuya bondad de ajuste se puede apreciar en la Figura 4.

En función de los valores de precipitación -duración- frecuencia que, para Catamarca (Capital), figuran en (Medina,L., 1975), se realizó un procedimiento de corrección por complementación de registros, entre precipitaciones diarias correspondientes a distintos tiempos de recurrencia obtenidas de (Medina,L., 1975)

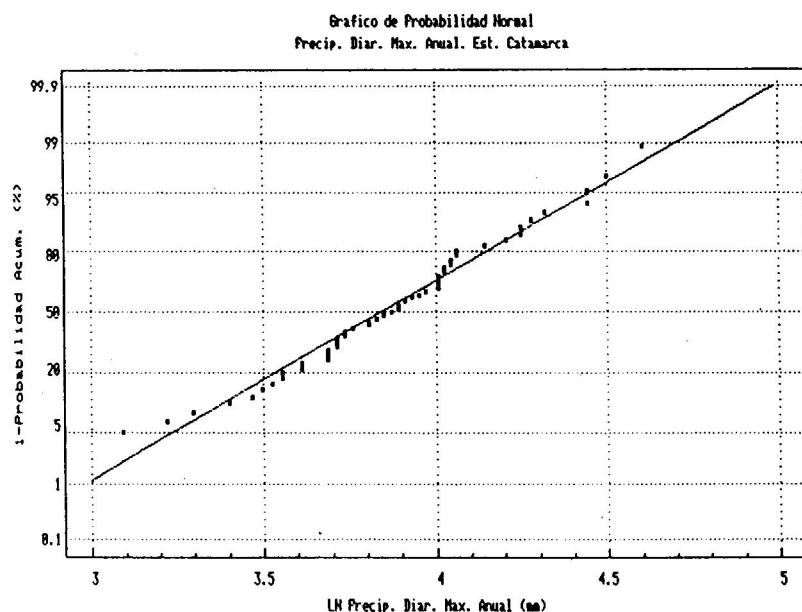


Figura 4.

y de este estudio, a los valores de (Medina, L., 1975) relacionados a duraciones de 3 y 6 horas.

Determinación de la distribución temporal del núcleo de la tormenta de proyecto

Al no contar con datos históricos de distribución temporal se optó, para obtenerla, por el modelo denominado "Tormenta de Chicago" (Keifer, C., 1957), el cual realiza una distribución temporal a partir de datos de Intensidad -Duración - Frecuencia (I-D-F).

Tal modelo se aplicó a 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de tiempo de recurrencia (TR), con intervalo de tiempo de 15 minutos y el pico del hietograma centrado en el primer tercio de las duraciones típicas de 3 y 6 horas.

DETERMINACION DE PARAMETROS FISIOGRAFICOS DE LA CUENCA

En base a la digitalización de la cartografía suministrada por la D.H.:

- mapa de la cuenca en esc. 1:50000 con equidistancia de 100 m.
- mapa del área urbana en escala 1:10.000.

se pudo armar un mapa base conteniendo toda la información fisiográfica.

Debido a que la cartografía inicial carecía de detalle altimétrico en la cuenca del arroyo Fariñango en las

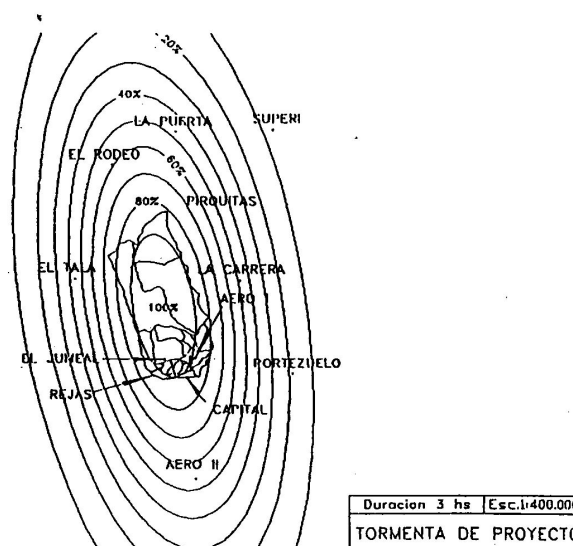


Figura 5.

inmediaciones de la confluencia del arroyo San Lorenzo se tuvo que realizar un trabajo de fotointerpretación mediante pares estereoscópicos para poder agregar curvas de nivel en ese sector.

La división en subcuencas (Figura 6) se realizó teniendo en cuenta además de la topografía, las limitaciones de los modelos hidrológicos a utilizar en cuanto a su poder de concentración se refiere (Maza, J., 1993; U.S. Corps of Engineers, 1990).

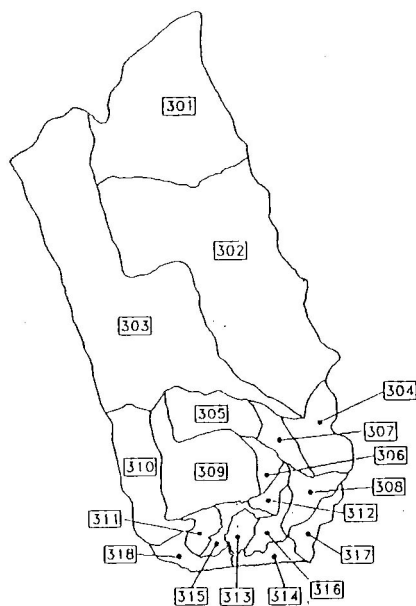


Figura 6.

El tratamiento de la información cartográfica digitalizada con un sistema CAD y con un modelo digital de terreno denominado WODITEM (Cazorzi, F., 1991) (Figuras 7 y 8) permitió calcular con exactitud los parámetros morfométricos de las subcuencas que figuran en la Tabla I.

Cobertura vegetal y uso del suelo

En base a los informes técnicos existentes en la D.H., la fotografía aérea y la visualización in-situ se pudieron determinar valores de números de curva (CN) según la metodología del U.S. Soil Conservation Service (Roby, H., 1980) para las cuencas rurales, y que también figuran en la Tabla I.

Para las subcuencas donde coexisten áreas rurales y urbanas en menor medida, se ha especificado en la Tabla I el porcentaje de tal uso del suelo.

En el caso de cuencas urbanas se determinó la impermeabilidad en base a la fotografía aérea disponible y a una actualización basada en la visualización in-situ.

APLICACION DE MODELOS MATEMÁTICOS DE HIDROLÓGICA

DE MODELOS DE SIMULACION

Modelación de la cuenca para la aplicación de los modelos

Como se dijo la división en subcuencas (Figura 6) se realizó teniendo en cuenta además de las características morfométricas

y de uso del suelo (rural o urbano), las limitaciones de los modelos hidrológicos a utilizar en cuanto a su poder de concentración se refiere.

Para modelar el escurrimiento pluvial sobre la cuenca también se tuvo en cuenta las características de los cauces a través de sus perfiles transversales ya que es importante la incidencia de los tránsitos en los hidrogramas de crecida.

Las operaciones a realizar por los modelos se visualizan en el diagrama de flujo en la Figura 9.

Aplicación del modelo ARHYMO

ARHYMO (Maza, J., 1993) es un modelo matemático de simulación hidrológica del tipo determinístico, lineal, de parámetros concentrados y de eventos aislados. Es el resultante de una actualización del Modelo HYMO (USDA) donde sobresale la incorporación de la subrutina de cálculo de hidrogramas de escurrimientos

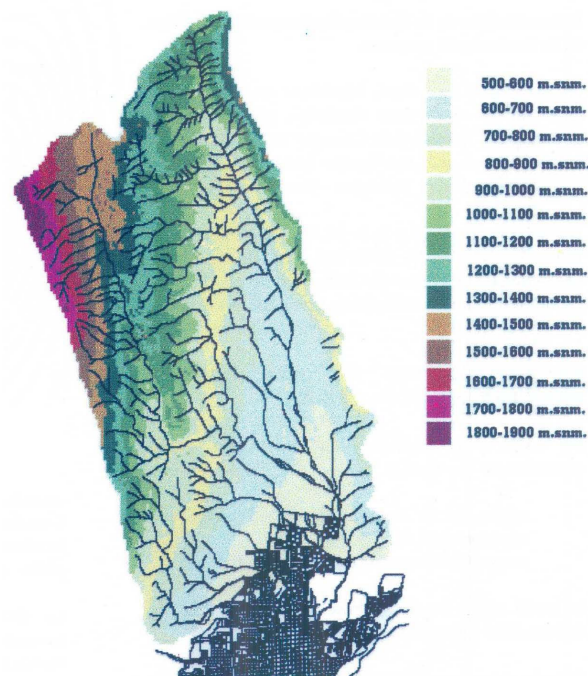


Figura 7, Mapa de elevaciones

en áreas urbanas y la generación de tormentas sintéticas. También se ha procedido al mejoramiento de varios aspectos operativos.

El modelo además realiza el cálculo de hidrogramas para áreas rurales, efectúa tránsitos de crecidas en cauces naturales o artificiales, tránsito de crecidas por embalses, suma hidrogramas, compara estadísticamente hidrogramas calculados y observados, etc.

Descripción de las corridas de ARHYMO

Las corridas del modelo se realizaron para los valores de precipitación en el núcleo de tormenta correspondientes a 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de tiempo de recurrencia y para duraciones de tormenta de 3 y 6 horas. A esta variabilidad se agregó la circunstancia de la ubicación del núcleo:

- SI: en el centro de la cuenca (Figura 5)
- SII: sobre el área urbana (Subcuenca 313).

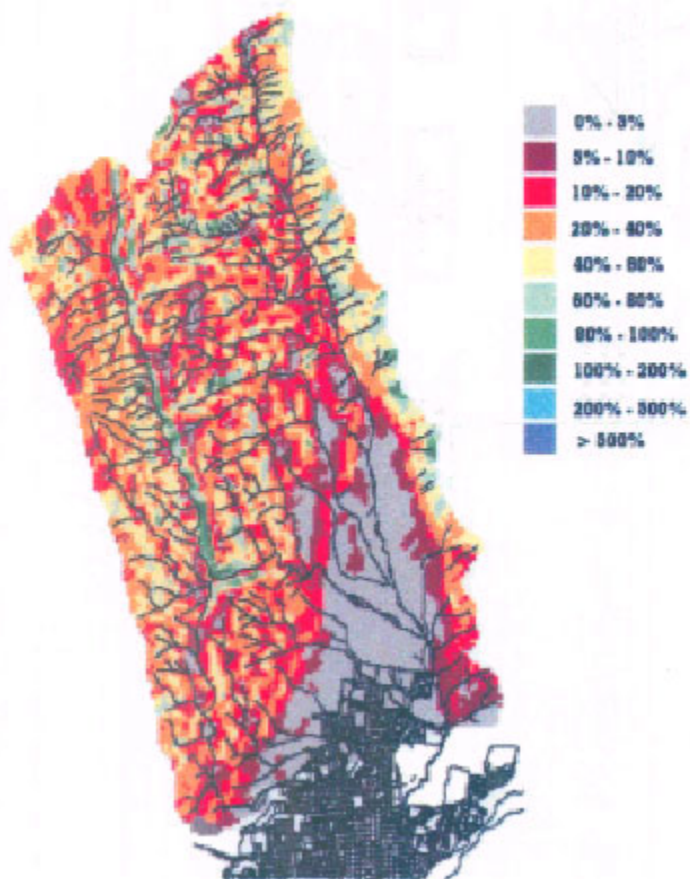


Figura 8. Mapa de pendientes

totalizando así 24 corridas del modelo.

El caso SII fue seleccionado entre muchas otras posibilidades para conocer el efecto que, en las cuencas impermeables, podría producir una mayor cantidad relativa de precipitación en las cercanías de los cauces más comprometidos con el desarrollo urbano.

En el análisis detallado de los resultados se pueden apreciar diferencias comparativas en los resultados de los valores característicos de los hidrogramas que a priori se creerían distintos de lo que arroja la aplicación del modelo, pero que encuentran su explicación en: la ubicación relativa de las isohietas con respecto a las subcuencas, el parámetro de abstracción inicial, los tiempos de tránsito diferentes para distintos caudales, los tiempos de duración de las tormentas respecto a los tiempos de respuesta de las subcuencas, etc.

También es de mencionar que en algunas subcuencas urbanas no se cumple la condición de flujo turbulento necesaria para el cálculo del coeficiente de almacenamiento (K); pero aún así el valor de K calculado por el modelo concuerda con el determinado por la expresión de Viessman (Maza, J., 1993).

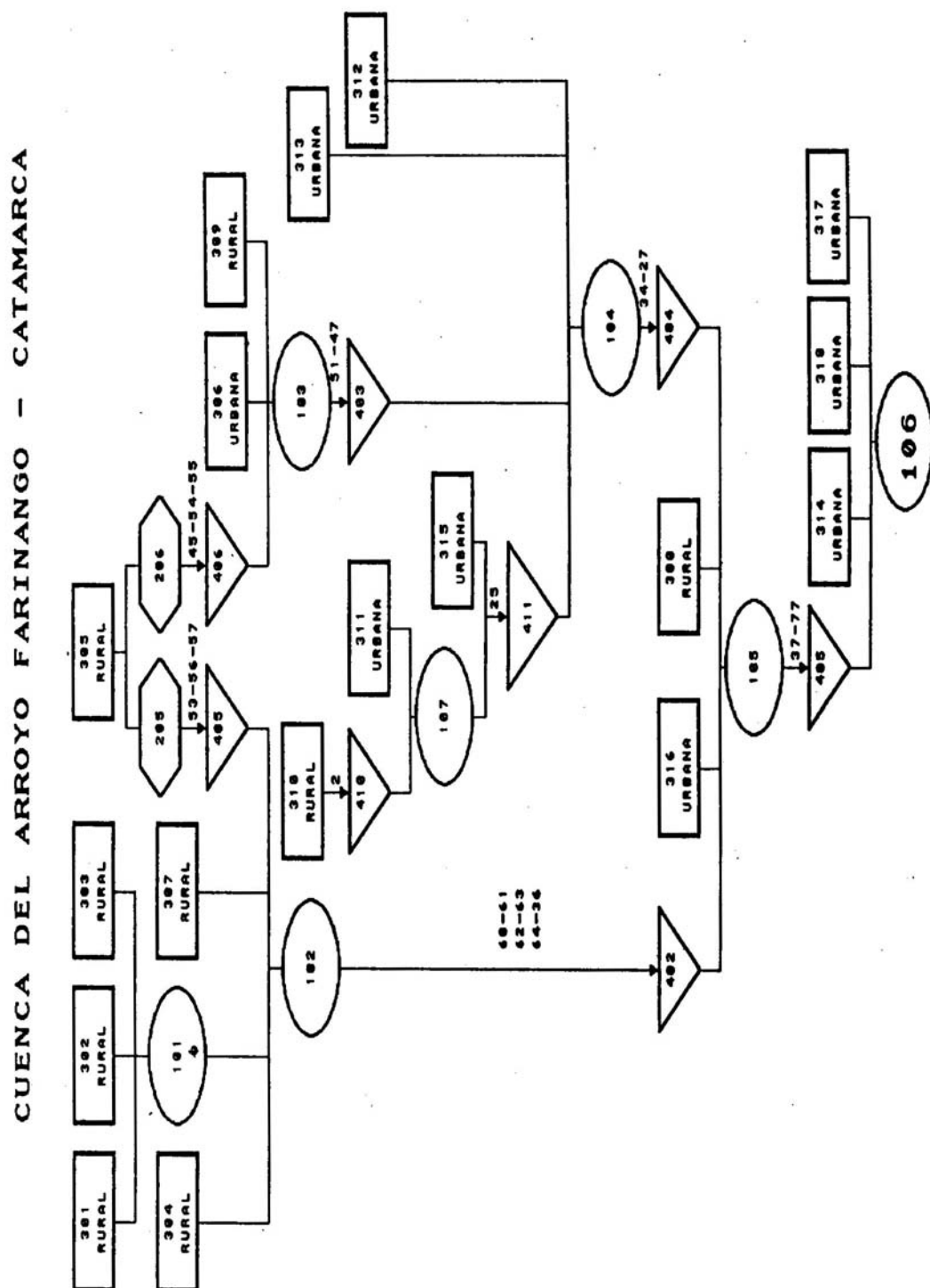
Aplicación del Modelo HEC-1

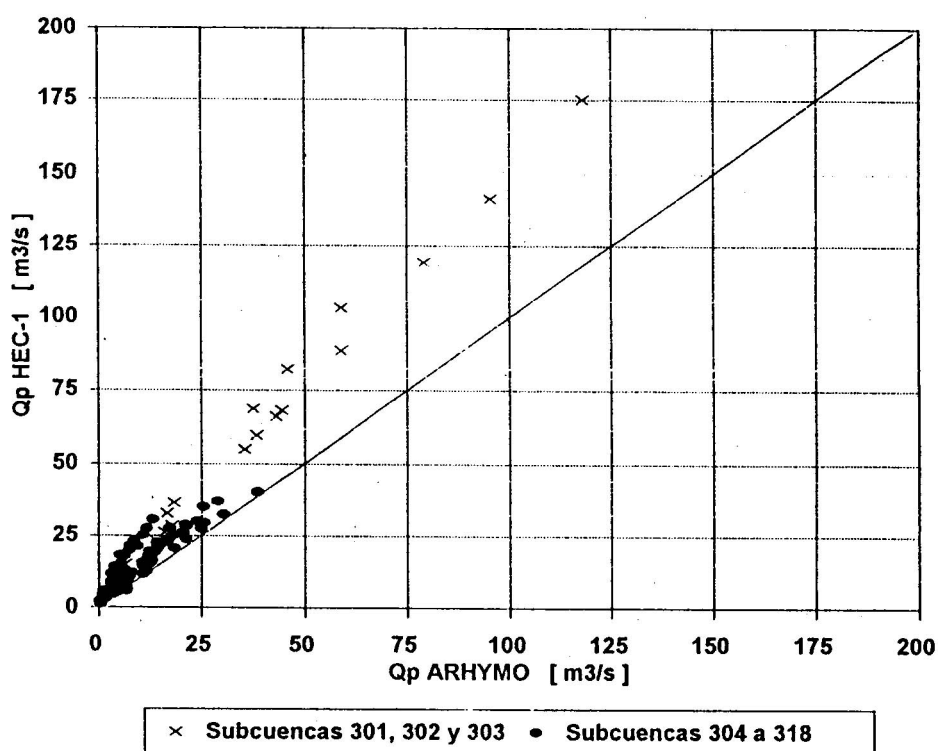
El modelo HEC-1 del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., es un paquete integrado de programas de computación especialmente adaptado para estudios hidrológicos de cuencas y cálculos de la relación precipitación-escorrentía y operaciones hidrológicas, con varias opciones, de traslados de crecientes en ríos y embalses.

Descripción de las corridas de HEC-1

Al igual que se describe para el caso de ARHYMO se realizaron corridas correspondientes a los tiempos de retorno y duración de tormenta que se mencionaron agregándole igualmente las situaciones SI y SII

Aprovechando la opción "Semejanza de la Relación Lámina-Área de Precipitación" de este modelo, también se realizaron las corridas bajo esta modalidad (SIII). Este procedimiento permite obtener como resultado un hidrograma de crecida generado artificialmente por la relación lámina precipitada vs área de la cuenca, ya que de esa manera se evita buscar el centrado del núcleo de la tormenta de proyecto para generar el hidrograma más desfavorable. Sin embargo como el modelo utiliza un procedimiento de interpolación semilogarítmico se puede asumir como un método de "aproximación".



Comparación Caudales Pico Subcuencas*Figura 10***Tabla 1.** Parámetros Fisiográficos de las Sub-Cuencas

CUENCA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)	Le (km)	HT (m)	Área Urb. (%)	Pend. (%)	CN
301	26.79	23.12	8.14	500		6.17	80
302	44.67	33.88	16.26	730		4.48	70
303	45.18	41.43	19.59	1130		5.77	85
304	5.66	11.40	4.16	150	4	3.75	70
305	5.89	10.74	4.58	100		2.00	65
306	1.61	6.59			100	1.60	
307	2.71	9.16	2.88	60	4	1.50	70
308	3.26	10.29	3.03	41	7	1.37	80
309	12.02	16.98	7.72	120	14	1.56	80
310	8.80	15.81	7.55	90		1.18	80
311	1.83	6.97			100	3.38	
312	1.42	6.27			100	0.80	
313	1.45	5.45			100	2.90	
314	1.80	11.81			100	1.60	
315	1.70	10.76			100	3.24	
316	2.00	9.07			100	1.41	
317	2.33	9.19			100	0.90	
318	2.39	10.43			100	2.40	

En las operaciones hidrológicas se utilizaron las siguientes opciones:

- Hidrogramas de cuencas rurales: hidrograma unitario del Soil Conservation Service (S.C.S.).
- Hidrogramas de cuencas urbanas: Onda cinemática.
- Pérdidas en la precipitación: Método del CN (S.C.S.).
- Tránsito en cauce de hidrogramas: Método del tirante normal.

Para la determinación de la longitud del plano de escurrimiento en cuencas urbanas se utilizó la metodología desarrollada en (Villodas, A., 1992).

Comparación de resultados y selección de caudales de diseño

Con el objetivo de verificar la consistencia de caudales pico obtenidos por la aplicación de los modelos ARHYMO y HEC-1 para las distintas tormentas de diseño y situaciones planteadas se seleccionaron los hidrogramas que corresponden al comienzo de tramos de cauce sobre los cuales, aguas abajo, no se producen variaciones de caudales. En la Figura 10 se nota claramente que todos los caudales de diseño, salvo los correspondientes a los hidrogramas de las subcuencas 301, 302 y 303, se agrupan con baja dispersión sobre la recta 1:1. El caso de los caudales pico de los hidrogramas 301, 302 y 303, los cuales el modelo HEC-1 aumenta considerablemente con respecto al modelo ARHYMO, tiene explicación en el hecho de que se adoptaron diferentes valores de abstracción inicial (Ia) (metodología CN-SCS) en ambos modelos, con el objetivo de apreciar la sensibilidad de respuesta a la incertidumbre de tal parámetro. Los valores de Ia difieren entre 1 a 3 mm (en menos para HEC-1), y se puede concluir que tales diferencias prácticamente no inciden en las cuencas pequeñas, teniendo una marcada desviación para estas 3 subcuencas grandes.

Por lo expuesto y verificando una satisfactoria consistencia entre ambos modelos, se decidió como criterio de selección de caudales de diseño y desde un punto de vista conservativo, elegir el mayor caudal pico para cada situación y tiempo de retorno.

APLICACION DEL MODELO MATEMATICO DE SIMULACION HIDRAULICA

Descripción del modelo HEC-2

El modelo HEC-2 (U.S. Corps of Engineers, 1991) desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (H.E.C.) del U.S. Corps of Engineers calcula perfiles de superficie libre en régimen permanente gradualmente variado en cauces naturales o artificiales.

El procedimiento computacional está basado en la solución de la ecuación de energía unidimensional y las pérdidas de energía se evalúan por la ecuación de Manning. El método de cálculo es el conocido como

standard por pasos. El modelo está también diseñado para estudios de manejo de planicies inundables o de seguros contra crecidas. Se pueden evaluar el comportamiento hidráulico de puentes, alcantarillas, defensas de márgenes, etc.

Modelación

Para la aplicación del modelo HEC-2 se contó con 79 perfiles transversales de los cauces correspondientes a los arroyos Choya, Gruta, Florida y Fariñango, además del Colector que une los arroyos Gruta y Fariñango, como así también con el relevamiento de la geometría de 16 puentes y alcantarillas como se puede apreciar parcialmente en la Figura 11.

Para la determinación de los coeficientes de Manning se tuvieron en cuenta los siguientes factores: rugosidad de la superficie, vegetación, irregularidades en la geometría de las secciones transversales, variaciones en la configuración planimétrica de la traza, erosiones, obstrucciones, perímetro mojado abarcado, posibles cambios estacionales, material en suspensión y transporte de fondo.

La modelación para obtener, primero el perfil hidráulico y luego las zonas inundables, se realizó separando el desarrollo longitudinal de los cauces en 9 tramos.

Siguiendo las instrucciones sobre modelación del Manual del Usuario del Modelo HEC-2 se adoptaron las siguientes pautas:

- las corridas en cada tramo y para cada TR se realizaron en régimen subcrítico (desde aguas abajo hacia aguas arriba) y supercrítico (desde aguas arriba hacia aguas abajo), totalizando 108 corridas del modelo. De esta manera se pudo determinar exactamente cuál es el régimen y en consecuencia el tirante de agua en cada sección.
- los puentes y alcantarillas se trataron con la opción "special bridge" que calcula las pérdidas de energía a través de la estructura para todas las posibilidades de tipo de flujo (libre, a presión, vertedero o combinación de éstos).
- los tirantes de agua iniciales para el cálculo del perfil hidráulico fueron los normales correspondientes a la sección de inicio.

Análisis de los resultados

En base a las detalladas salidas del modelo HEC-2 se ha podido conformar una planilla de carácter cualitativo (Tabla II) que permite visualizar rápidamente en cada tramo las secciones que se ven sobrepasadas ante eventos de diferente tiempo de recurrencia.

La Tabla II establece 3 niveles de riesgo:

- (-) **el nivel de agua no supera el cauce definido:** significa que el tirante de agua se encuentra comprendido entre el fondo y el borde definido, artificial o naturalmente, como canal conductor de los escurrimientos frecuentes.

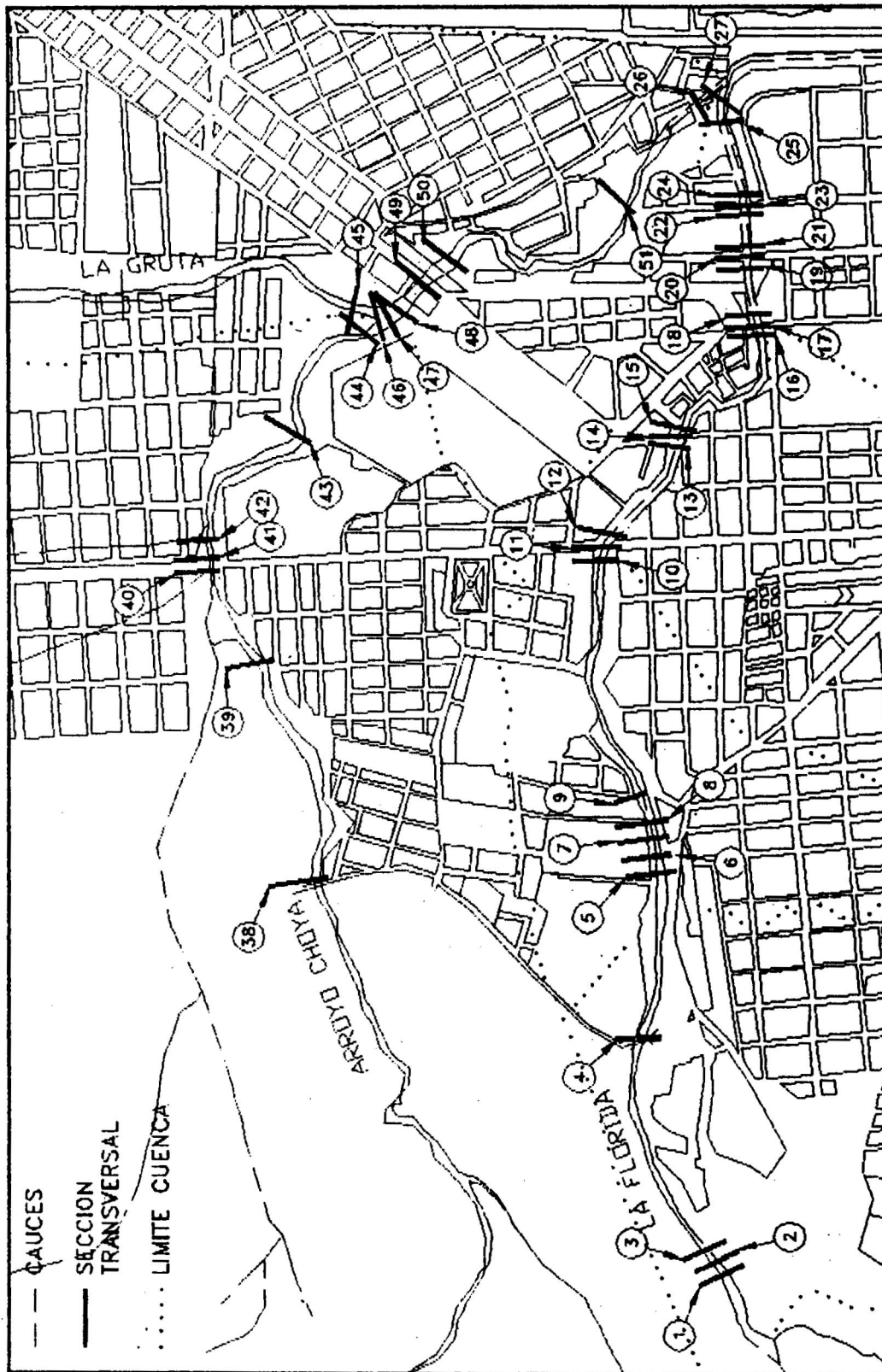


Figura 11.

Tabla 2. Análisis Cualitativo de Resultados HEC-2

TRAMO	SECCION	IR (AÑOS)					
		2	5	10	25	50	100
I	67	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-
	53	-	-	-	-	-	-
II	50	-	-	-	-	-	-
	60	-	-	-	-	-	-
	61	-	-	-	-	-	-
	62	-	-	-	xx	xx	xx
	64	-	-	-	-	-	-
III	44	-	-	-	-	-	-
	43	-	x	x	x	x	x
	42	-	-	-	x	x	x
	41	-	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-	-
	39	-	-	-	-	-	-
	38	-	-	-	x	x	x
IV	26	-	-	-	-	-	-
	51	-	-	-	-	-	-
	50	-	-	-	-	-	-
	49	-	-	-	-	-	-
	47	-	-	-	x	xx	xx
	46	-	-	-	x	x	x
V	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	x	x
	4	-	x	x	x	x	x
VI	9	-	x	x	x	x	x
	8	x	xx	xx	xx	xx	xx
	7	-	-	-	x	x	x
	6	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	x	x
VII	25	xx	xx	xx	x	xx	xx
	24	-	-	-	x	xx	x
	23	-	-	-	-	-	-
	22	-	-	-	-	-	-
	21	-	x	x	x	xx	xx
	20	-	-	-	-	xx	xx
	19	-	-	x	x	xx	xx
	18	-	x	x	xx	xx	xx
	17	x	x	x	xx	xx	xx
	16	-	-	x	xx	xx	xx
	15	-	xx	xx	xx	xx	xx
	14	-	-	-	-	-	-
	13	-	-	-	-	x	x
	12	-	-	x	x	xx	xx
	11	-	-	-	-	-	-
	10	-	-	-	-	-	-
VIII	35	-	-	-	x	x	x
	34	-	x	x	x	x	x
	33	-	-	-	xx	xx	xx
	32	-	-	-	-	-	xx
	31	-	-	-	x	xx	xx
	30	-	x	x	x	x	x
	29	-	-	-	xx	xx	xx
	28	-	xx	xx	xx	xx	xx
	27	-	-	-	-	xx	xx
	26	-	-	-	-	-	-
IX	77	-	-	-	x	xx	xx
	76	-	-	-	-	-	x
	75	-	-	-	-	-	-
	74	-	-	-	-	-	-
	73	-	-	-	-	-	-
	72	-	-	-	xx	xx	xx
	71	x	x	x	xx	xx	xx
	70	-	-	-	xx	xx	xx
	69	-	-	-	x	xx	xx
	68	-	-	-	xx	xx	xx
	67	-	-	-	x	xx	xx
	66	-	-	-	xx	xx	xx
	65	-	-	-	x	x	xx
	37	-	-	-	-	xx	xx

Referencias: - Nivel agua no supera cauce definido

x Nivel de agua supera cauce definido

xx Nivel de agua supera sección relevada

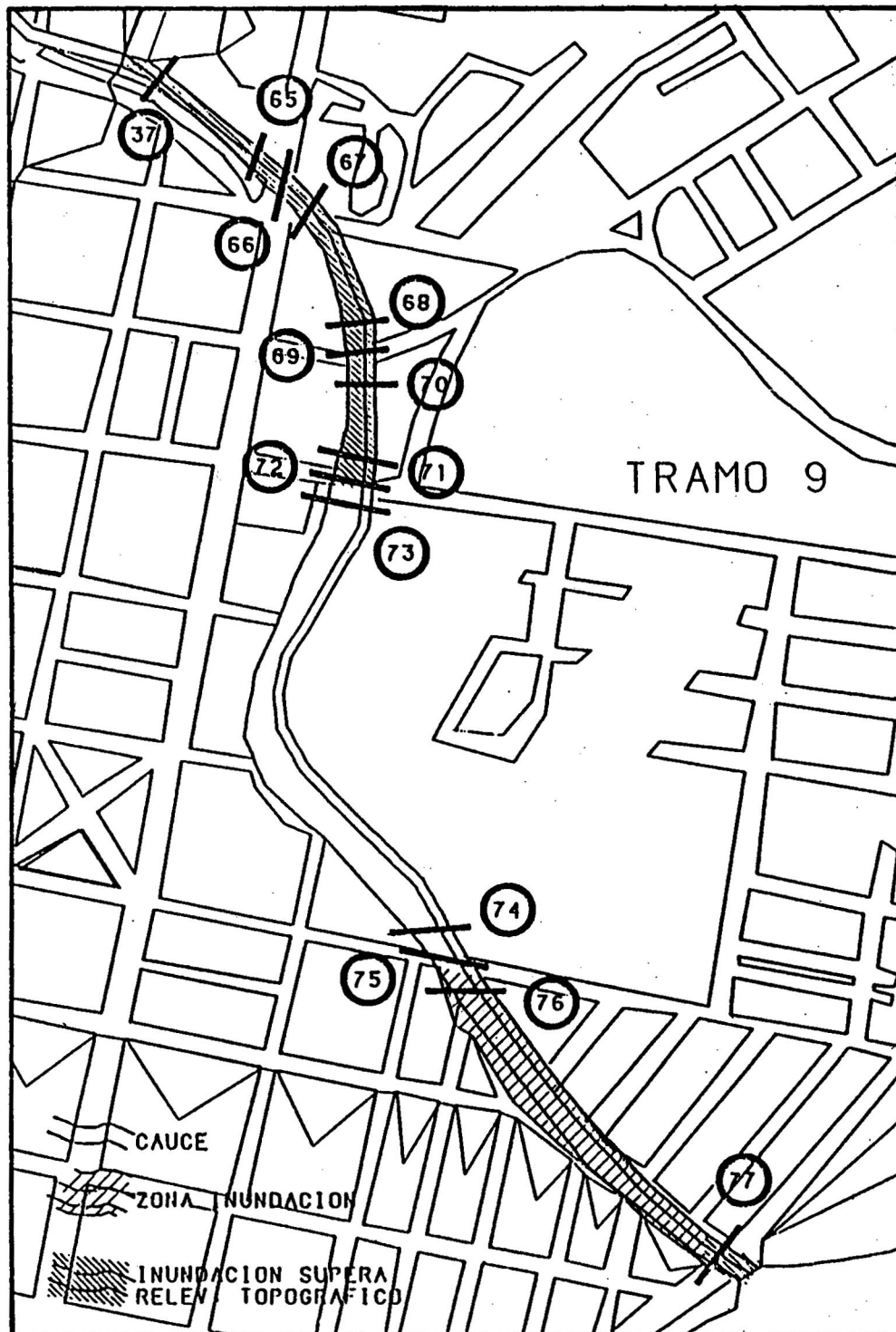


Figura 12.

- **(X) el nivel de agua supera el cauce definido:** el tirante de agua se encuentra entre el límite superior del caso anterior y el límite del relevamiento topográfico de la sección. En los casos de puentes es cuando supera el borde inferior de la viga del puente y no sobrepasa su respectivo tablero.
- **(XX) el nivel de agua supera la sección relevada:** el tirante de agua supera el límite superior del caso anterior. El modelo HEC-2 en este caso extrapola verticalmente las márgenes para conducir el caudal dato. En el caso de puentes es cuando supera el tablero.

Los datos cuantitativos para diseños pueden extraerse de las corridas del modelo HEC-2.

Determinación de áreas inundables

Además del análisis específico que se ha mencionado sobre las secciones transversales, los resultados de las corridas de HEC-2 han permitido confeccionar mapas de áreas inundables (Figura 12) en escala 1:5.000 para el evento de TR = 100 años. La selección de tal evento responde a que:

- es una probabilidad de ocurrencia utilizada internacionalmente en planificación y control de uso del suelo, y
- las líneas de inundación para los eventos menores considerados en este estudio son imposible de demarcar en la escala adoptada, y por otra parte escalas de mayor detalle serían inapropiadas por la precisión de la información cartográfica y topográfica disponible.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se han mencionado este estudio pretende que sus resultados, enmarcados en las **limitaciones de la precisión de la información utilizada**, sean una de las bases de planificación urbana futura de la ciudad de San Fernando de Catamarca, sobre todo en su expansión hacia el Norte, y también que sirvan de antecedente para cualquier emprendimiento de diseño hidráulico de obras de sistematización y control de crecidas.

Se concluye que no son convenientes embalses de detención, ya que solamente es menester mejorar la capacidad de conducción de los cauces de los arroyos en las secciones críticas señaladas a través de la aplicación del modelo HEC-2.

El desarrollo del estudio ha permitido sistematizar la información pluviométrica de las estaciones de la Dirección de Hidráulica de Catamarca.

Urbanización es sinónimo de impermeabilización y ésta a su vez produce un considerable aumento del escurrimiento (precipitación efectiva en términos hidrológicos), y una disminución del tiempo de concentración de la cuenca lo que tiene por efecto un aumento de los caudales máximos. Es entonces necesario reglamentar en su modalidad urbanística la mencionada expansión urbana hacia el Norte para que

los efectos de las crecidas pluviales descriptos no repercutan en el área urbana de aguas abajo.

Tal reglamentación debería contemplar al respecto aspectos como:

- tamaño de lotes y relación área impermeable/permeable
- desarrollo de calles con mínima pendiente
- diseño de drenaje pluvialdiseño de embalses de detención con la premisa de que la erogación máxima no supere el caudal máximo de escurrimiento que produciría la tormenta de diseño en condiciones de terreno natural

Otra opción podría ser la de no reglamentar tales aspectos, pero obligar al urbanizador a que, mediante los dispositivos que proyecte, retenga todo el escurrimiento pluvial producido por la urbanización para tormentas frecuentes (probabilidad de ocurrencia de 20% a 10%).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cazorzi, Federico (1991) Watershed Oriented Digital Terrain Model. User's Manual. Department of Land and Agroforest Environment. University of Padova.
- Fernández, Pedro C.; Roby, O.; Fornero, L.; Maza, J. (1985) Primeras Conclusiones de los Trabajos de Hidrología en Tiempo Real realizados en el Piedemonte del oeste del Gran Mendoza. XII Congreso Nacional del Agua, Mendoza, Argentina.
- Keifer, Clint; CHU, H.H. (1957) Synthetic Storm Pattern for Drainage Design. Journal of the Hydraulic Division A.S.C.E. New York, U.S.A.
- Medina, Lázaro; Moyano, M.C. (1995) Estudio Piloto de Lluvias Intensas en la República Argentina. INCyTH. Hidrología. Cuaderno n° 2. Buenos Aires, Argentina.
- Roby, Héctor. (1980) Determinación de Escorrentía a partir de la Precipitación sobre una Cuenca. Metodología del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. (Trabajo de Traducción y Adaptación). INCyTH-CRA. Mendoza, Argentina.
- U.S. Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineering Center) (1990) HEC-1. Flood Hydrograph Package. User's Manual. Davis, California, U.S.A.
- U.S. Army Corps of Engineers (Hydrologic Engineering Center). (1991) HEC-2. Water Surface Profiles. User's Manual. Davis. California, U.S.A.
- Villodas, Angel R. (1992) Hidrología Urbana en un Sistema de Desagüe Pluvial no Convencional. Informe Final de Beca de Iniciación de CONICET. Mendoza, Argentina.