

CAPITULO 1

1.1 RESUMEN

El presente trabajo propone definir los umbrales de crecida para un tramo del Arroyo Chtalamochita de la ciudad de Villa Nueva perteneciente al aglomerado Villa María – Villa Nueva, asociando los niveles de interés legal a una recurrencia específica.

Se comienza con las lluvias de diseño, con las cuales se alimentara un modelo de transformación lluvia-caudal.

La estimación de los umbrales de máximos se realizara por la metodología que propone la DIPAS (Dirección Provincia de Agua y Saneamiento) a través de la formula de Hermanneck que es un método con formulas empíricas.

El resultado obtenido con la metodología propuesta y el nivel determinado permitirá proponer los defectos y las mejoras a realizarse.

Finalmente y siguiendo las normativas vigentes, se dejara plasmada en la cartografía las Líneas de Ribera para su posterior aplicación por el ente que corresponda.

1.2 PLANTEO DE LA PROBLEMÁTICA:

El crecimiento de las urbanizaciones es un proceso mundial, pero se acentúa más en América del Sur. En la actualidad, el 80 % de la población de América Latina se concentra en las ciudades. Esa tendencia, que también se registra en Argentina genera la continua búsqueda de espacios y la necesidad de una planificación urbana.

Si bien el crecimiento poblacional en la Argentina es de alrededor del 2% anual, la falta de un ordenamiento territorial de las ciudades hace que se ocupen áreas no aptas para el asentamiento poblacional, debido a que son afectados por fenómenos naturales. Ejemplo de esto son la ocupación de terrenos en las márgenes de ríos, arroyos y cuerpos de agua.

Se hace necesario definir superficies que pueden ser habitadas permanentemente, de dominio público o privado y otras en las cuales se puede restringir el uso.

Para ello debe hacerse un estudio de la dinámica de los cursos permanentes y no permanentes que se encuentren en las proximidades de poblaciones o aquellas que queden contempladas en un plan de urbanización, considerando aspectos hidrológicos, hidráulicos y geomorfológicos, abarcando áreas rurales y urbanizadas.

Los desastres originados por fenómenos naturales provocan miles de víctimas en todo el planeta.

El termino desastre hace referencia a un evento que ocurre, por lo general, en forma repentina e inesperada, causando perjuicios severos a una comunidad, una región o un país, sea por muerte o enfermedad en la población, destrucción o pérdida de sus bienes, efectos adversos sobre el ambiente, etc....

La mención de desastres lleva a considerar la idea de riesgo, entendido como el resultado de relacionar la amenaza que entraña al fenómeno con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (Rodríguez 2004).

El desastre asociado a las crecientes de los cursos de agua, por ejemplo, es la inundación de áreas urbanas, en las riberas de arroyos y lagos.

Evaluar la amenaza es tener en cuenta la posibilidad de ocurrencia del fenómeno, analizando la magnitud con los estudios y herramientas propuestas, planteando la necesidad de registrar eventos en el tiempo.

Las catástrofes hídricas responden a las amenazas que no pueden ser neutralizadas, aunque algunas veces es posible controlar parcialmente sus efectos.

Las tareas de prevención de amenazas hídricas involucran estrategias de planificación del uso del suelo, medidas técnicas y legales. Una de las medidas necesarias es la accesibilidad a los cursos de agua por ambos márgenes del mismo a través de caminos, los cuales permiten el uso de los recursos naturales que no son privados sino que pertenecen a todos los habitantes, además de convertirse en una barrera física que impide la apropiación de terrenos antes mencionados.

1.2 CASO DE ESTUDIO

La ciudad en estudio es la localidad de Villa Nueva, pertenece al departamento San Martín, en la Provincia de Córdoba, en el centro geográfico de Argentina. Forma parte del aglomerado poblacional Villa María-Villa Nueva.

Villa María es la tercera ciudad en importancia de la provincia, luego de la capital y la ciudad de Río Cuarto.

Se encuentra en plena pampa húmeda a orillas del Río Tercero o Citalamochita y al sur-este de la ciudad de Córdoba a 146 Km de distancia.

El aglomerado Villa María – Villa Nueva al encontrarse en un área de agricultura y ganadería intensivas con importante producción de cereales frutales y oleaginosas (soja, trigo, maíz, girasol, centeno, avena, cebada) ha devenido en un importante centro económico subregional en el cual se han desarrollado industrias y servicios relacionados con las actividades agropecuarias, ya que la ciudad es el centro de una de las principales cuencas lecheras de Argentina, así como industrias de apoyo a la actividad agraria (agro mecánica, agroquímicos).

Aun así, la industria en esta ciudad se ha diversificado a partir de la segunda mitad del siglo XX, sumándose las industrias alimentarias, metalmecánicas livianas, textiles, del vidrio cementero y químico no específicamente ligadas al agro.

La ciudad de Villa María tiene su núcleo original en la ribera (norte) del mencionado Río Tercero aunque en el transcurso del siglo XX se ha urbanizado con la Ciudad de Villa Nueva ubicada en la ribera sur.

Desde el sitio que está emplazada Villa María, el Río Tercero llega a ese punto con un caudal de 8,35 (m³/seg), es navegable regularmente pero aun tal hidrobía se encuentra subutilizada.

Los autores difieren sobre los límites de los pueblos originarios en la región pero coinciden que la zona ejercía de frontera entre los ranqueles aculturados por los mapuches y entre los comechingones de las sierras.

A comienzos del siglo XIX propietarios de la zona solicitaron al Gobernador Juan Bautista Bustos que decretara la creación de una localidad en la margen sur del río Tercero o Ctalamochita y este accedió en octubre de 1826, recibiendo los terrenos donados de la estancia de la Familia Ferreyra.

Años más tarde en el año 1873, Domingo Faustino Sarmiento, presidente de la época desidia que Villa Nueva fuese la Capital Federal de la República Argentina, por ser la ciudad que se encontraba en el centro geográfico exacto del país, 24 hrs más tarde el Estado rechaza esa decisión.

Siete años más tarde, Nicolás Avellaneda federaliza a la ciudad de Buenos Aires, por tener la mejor posición geográfica financiera gracias a los puertos que era lo que movilizaba económicamente al país de la época.

Las actas de fundación junto con la dispensa oficial se extraviaron con el correr de los años, presuntamente por cuestiones ligadas a la revalorización de las tierras tras la construcción del ramal Villa Nueva – Río Cuarto.

En el año 1846 provoco que parte de la población cruce el río puesto que tenía mayor altura y no se encontraba inundado. En el año 1867 se funda la ciudad vecina de Villa María en donde tiempo después se instalo una estación de trenes provocando un gran crecimiento de la población en la margen norte.

La cercanía de ambas poblaciones, antes citada hace que el estudio se deba hacer sobre el gran conglomerado, que corresponde al conjunto de los dos municipios, ya que no incluir a la ciudad de Villa María sería un error demasiado grosero.

En ciudades con tasas de crecimiento elevado, como es el caso de localidad de Villa María, la necesidad de buscar nuevos espacios para el crecimiento inmobiliario genera loteos en zonas que alguna vez ocupó el curso de agua, entre otros.

Esto provoca que frente al aumento del caudal de estos nuevos arroyos estén en riesgo viviendas particulares y obras de infraestructura tales como puentes.

En la actualidad la ciudad de Villa María cuenta con más de 50.000 habitantes aproximadamente. Se ha transformado en una ciudad pujante y de gran desarrollo económico ubicado a 164 Km de la ciudad de Córdoba, al sur-este de esta última.

También se debe consignar que al oeste aguas arribas del río en cuestión, ha 104 Km, se encuentra la ciudad de Alma fuerte, lugar en el que se encuentra emplazada la represa Piedras Moras que vierte sus aguas en el río Ctalamochita.

Todo el recorrido del río desde la represa Piedras Moras, atraviesa una zona de cultivos agrícola - ganaderos intensivos con gran producción por lo fértil de las tierras que lleva a la obtención de grandes rindes por hectáreas.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO

1.4.1 Objetivos Generales

El presente trabajo apunta a desarrollar una metodología para la determinación de los umbrales de crecida del Arroyo, necesarios para la planificación de la ciudad entorno a este sector.

En situaciones como estas en las cuales no se cuenta con registros de niveles o caudales estos límites, es necesario establecer procedimientos que permitan alimentar modelos, basados en la información relevada y medible.

En consecuencia, se adopta la lluvia de diseño como parámetro de entrada al sistema, por ser la precipitación, en la mayoría de los casos, la única variable medida.

1.4.2 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos a alcanzar serán:

- Determinar la Línea de Ribera utilizando las herramientas propuestas por Di.P.A.S, para una recurrencia de 25 años.
- Determinar la línea de Ribera utilizando la fórmula de Hermaneck, para el caso en estudio.

Analizar aspectos Geomorfológicos en el Arroyo utilizando como base un trabajo desarrollado para el Río Tercero.

1.5 METODOLOGIA

El desarrollo metodológico comprende:

- a) Revisión de la bibliografía específica y de los antecedentes sobre el tema y área de estudio.
- b) Recopilación de información cartográfica, hidrometeorológica, hidrológica, hidráulica y urbanística.
- c) Delimitación y parametrización de las cuencas urbanas y rurales del área de estudio.
- d) Relevamiento de las obras existentes.
- e) Análisis de las variables hidrometeorológicas, hidrológicas e hidráulicas.
- f) Determinación de las lluvias y distribución temporal interna (hietogramas) con fines de diseño.
- g) Estimación de caudales de proyecto para distintas recurrencias mediante modelos matemáticos computacionales.
- h) Planteo de niveles de inundación.
- i) Análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.
- j) Presentación de la Práctica Supervisada.

CAPITULO 2

MARCO LEGAL Y TECNICO SOBRE AREAS DE INUNDACION

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo se presenta una breve reseña sobre los antecedentes y marcos legales vigentes, sobre la problemática planteada, abarcando tanto el ámbito nacional como el provincial y el municipal.

Se precisan además los diferentes criterios, conceptos y metodologías para definir umbrales de inundación por crecientes y elementos tales como la Línea de Ribera.

2.2 ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

La Constitución Nacional no trata estos conceptos específicamente. El Código Civil actual está desactualizado en cuanto a la concepción y terminología de los elementos constitutivos de los ríos y sobre el uso y competencia de sus riberas. Solo hace referencia a la línea de ribera y al camino de sirga. Las pautas propuestas para delimitar la frontera entre el dominio público y el privado son controvertidas.

En los ríos navegables, como el Paraná, existen cotas de la línea de ribera fijadas por la Dirección de Navegación y Puertos, en distintos puntos del río, por lo que la labor del Ingeniero o el Agrimensor se reduce a trasladar topográficamente la cota al lugar de la mensura y replantearla en el terreno procediendo luego al amojonamiento o materialización de los puntos por donde pasa la línea de ribera.

En 1994 se logra la aprobación en el Senado de la Nación (sesión con fecha 14/12/1994) que caduca luego en Diputados el 28/02/1997, del proyecto de ley sobre prevención de inundación y control de cuerpos de agua (Sapag y otros, 1994) Sus aspectos más relevantes fueron:

- Define a la línea de ribera como el nivel a la que llega el agua de un río o lago durante las crecidas máximas anuales medias.
- Establece una zona de servicio, de 20 metros de ancho si el río o lago es navegable; para cuerpos de agua no navegables, una zona de servicio de cinco metros de ancho. En áreas urbanas puede ser reemplazada por calles públicas, costaneras y ramblas, siempre que permitan la continuidad del tránsito.

- Plantea modificaciones al artículo 2.750 del Código Civil por cuanto los titulares de dominio privado colindantes con líneas de ribera, tienen derecho y acción de exigir, a la autoridad competente, su definición y demarcación, con audiencia de interesados.

- Respecto de la metodología y aplicación, propone el artículo 12 bis:

✓ ***“Las líneas de ribera marítima fluvial y lacustre serán fijadas de conformidad con el Código Civil, topográficamente y cartográficamente, por las autoridades competentes, nacionales o provinciales, según sean el dominio o la jurisdicción interesados....”***

✓ ***“ Del mismo modo lo serán por las autoridades competentes, las líneas limítrofes de la vía de evacuación de inundaciones, las líneas limítrofes del área inundable o zona de riesgo y los mapas de zonas de riesgo ...”***

Siguiendo estos criterios la situación en las diferentes provincias argentinas no son muy diferentes entre sí, ni respecto a la que existe a nivel nacional. Sin embargo, varias de ellas (Santa Fe, San Luis, Chaco, Río Negro y Neuquén) presentan importantes antecedentes y estudios técnicos al respecto, avalados por los Organismos Provinciales y los Colegios de Profesionales.

2.3 ANTECEDENTES A NIVEL PROVINCIAL

El Código de Aguas de la Provincia de Córdoba (Decreto Ley 5.589) se refiere a la línea de ribera como “las más altas aguas en su estado normal (las más altas crecientes normales u ordinarias)...”

En cuanto a la competencia, la determinación de la línea de ribera está a cargo del Estado Provincial, no obstante, la mensura y subdivisión de lotes incumbe a particulares y requiere de la visación de planos por cuanto se deben fijar los límites respecto a los cursos de agua, lagos y lagunas.

El decreto 448 Serie C de la fecha 28/11/1952, dicta las normas técnicas de presentación de actuaciones relativas a la fijación de línea de ribera, por parte de particulares sobre ríos y arroyos de la Provincia de Córdoba.

En resolución N° 11.821 aprobada por el Honorable Directorio de la Dirección Provincial de Hidráulica el 07/10/1985 y su ampliatoria la resolución 2.174 aprobada en sesión de fecha 13/10/1988, se autoriza para todos los trabajos de mensura y subdivisión, salvo los loteos, de propiedades ubicadas en zonas rurales, a determinar el límite de la propiedad con el cauce del río o lago en forma provisoria consignando en el plano la siguiente leyenda:

✓ ***“ El límite de la propiedad con el cauce del río (río o arroyo) queda fijada en forma provisoria y al solo efecto de la continuación del trámite, siendo el límite definitivo el que resulta de la oportuna determinación de la línea de ribera ...”***

La Dirección Provincial de Aguas y Saneamiento (Di.P.A.S) como ente regulador del recurso hídrico, a través de la resolución 25/94 y modificatoria, llevo a reglamentar el deslinde de dominios fijando ciertas pautas o criterios:

- Define la línea de ribera en base a la recurrencia (25 años “**como mínimo**”).
- Plantea los métodos de transformación lluvia caudal como alternativa de cálculo.
- Determina líneas de vulnerabilidad hídrica (También llamadas **Líneas de Riesgo**) que acota una zona de inundación potencial (crecidas extraordinarias 300 años).
- En la zona de inundación potencial, solo propone advertencias al uso, no impone restricciones al dominio: **“No hay restricción al dominio, más bien es una restricción al uso. Es el mismo efecto que el espacio verde ...”** (Eduardo Tálamo, Dpto. Explotación Di.P.A.S)

2.3.1 Proyecto de ley para la delimitación de Cuerpos de Agua

En el año 1998, el CIRSA – INA (Centro de la Región Semi Árida del Instituto Nacional del Agua) presenta una propuesta para crear un cuerpo asesor con representantes de la UNC y la Dirección de Aguas y Saneamiento (DAS, actualmente Di.P.A.S) para la elaboración de un proyecto de ley destinado a:

- ✓ “Deslindar el dominio público del privado, en torno a cuerpos de agua fijando derechos y deberes del estado y de los particulares.
- ✓ “ Establecer un régimen especial de uso para áreas bajo riesgo hídrico aplicable al ordenamiento territorial, urbano y rural “

Los autores de dicho documento (Barbeito y otros, 1998) plantean una serie de recomendaciones y una propuesta metodológica para la delimitación de los cursos (ríos, arroyos) y cuerpos de agua (lagos, lagunas) de modo tal que abarque la totalidad del territorio provincial que este cubierto por aguas naturales y/o que pueda estarlo en el futuro, aun en condiciones extraordinarias.

La figura 2.1 muestra un esquema de una sección transversal hipotética de un curso de agua que facilita la comprensión de la terminología técnica que se usara y se tendrá presente para la delimitación de las zonas de riesgo hídrico.

La línea de ribera se calculara adicionando por encima del nivel de crecidas máximas ordinarias, en cada margen del cuerpo de agua, un camino de servicio perimetral.

La frontera de dicho territorio estará dada, en cada caso por **una línea de riesgo hídrico**, fijada según criterios geológicos y geomorfológicos. Dentro de estos ámbitos, se tomarán en cuenta tres zonas que, desde abajo hacia arriba en un corte transversal del cuerpo de agua son las siguientes:

1. Zona de dominio público, limitada superiormente por la línea de ribera.
2. Zona de evacuación, comprendida entre la anterior y la línea de evacuación de inundaciones.
3. Zona de riesgo, acotada por la línea de evacuación de inundaciones y la línea de riesgo hídrico.

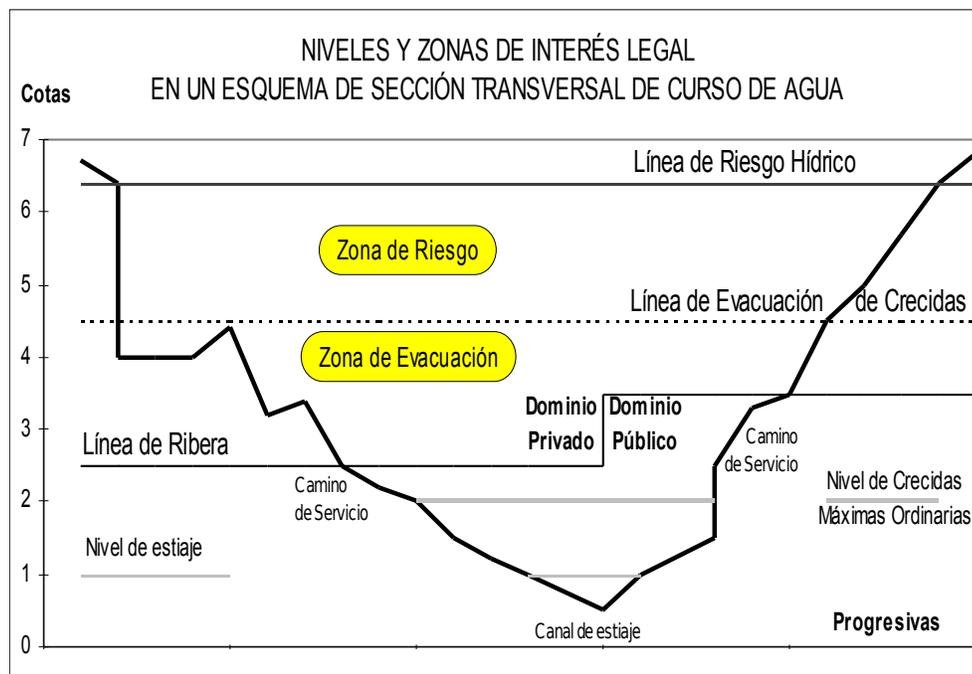


Figura 2.1: Niveles y zonas de interés legal (Barbeito, 1998).

El nivel de crecidas máximas ordinarias se estimara conforme a un criterio hidrológico de la siguiente manera:

- a) "Corresponderá a los fines de esta ley, a eventos de recurrencia cinco años en terrenos de montaña y diez años en terrenos de llanura, según la definición geomorfológica de estos términos fisiográficos.
- b) El órgano de aplicación podrá establecer, fundamentalmente y con carácter general, categorías intermedias a las antedichas y tendrá a su cargo precisar en qué categoría se encuadra cada lugar.

c) La estimación se basara en registros continuos de veinte años, como mínimo del nivel de agua.

d) A falta de esa información, se determinara, por análisis estadístico, la lluvia total sobre la cuenca de aporte de una tormenta de diseño de igual recurrencia, y se evaluara el nivel resultante mediante la aplicación de modelos matemáticos de transformación lluvia-descarga.

e) Cuando no existan suficientes datos locales, la tormenta de diseño se extrapolara de acuerdo a las técnicas hidrológicas más adecuadas.

El camino de servicio o de sirga, continuo y adyacente al nivel de crecidas máximas ordinarias será:

a) "De seis metros de ancho, en planta, como mínimo "

b) Su ancho se fijara en relación creciente con el orden de la corriente o con la superficie del espejo de agua, según corresponda. El órgano de aplicación deberá establecer la escala general de esas relaciones, con el asesoramiento de la Dirección Provincial de Vialidad.

c) En áreas urbanas, podrá coincidir con calles o avenidas costaneras bajo control municipal, siempre y cuando se respeten los valores de ancho mínimo"

La **línea de evacuación** de inundaciones delimita la zona de evacuación cuyas características son:

a) "Corresponde al área más baja de los predios privados, cubierta por las mayores crecidas periódicas que se identifiquen geomorfológicamente, en el terreno y/o imágenes.

b) El órgano de aplicación normalizara recurrencias (tentativamente, según la fisiografía del terreno, entre veinticinco y cincuenta años) para cuando la definición geomorfológica no fuese posible. Por lo demás, se procederá en tales casos como para estimar el nivel de crecidas máximas ordinarias.

c) Es una zona de fuerte restricción al dominio, en la que quedan vedados todo tipo de construcción, rellnamiento, arboles de gran porte y cualquier otro obstáculo que constriña el flujo de las crecidas

La **línea de riesgo hídrico** delimita superiormente la zona de riesgo. Esta zona:

a) "Corresponde al ambiente adicional anegado por las mayores crecidas episódicas, en sentido geomorfológicos "

b) Debe estar protegida por un sistema público de alerta de crecidas.

c) El órgano de aplicación condicionara su uso, si fuese necesario, según su posición geomorfológica y el anticipo de pronósticos vigente, buscando minimizar el riesgo.

d) En caso, del dominio privado se restringirá en menor medida, con regulaciones al tipo y/o la proporción de área cubierta por construcciones.

2.3.2 Metodología vigente para la Línea de Ribera en Córdoba.

La metodología vigente para la Provincia de Córdoba fue aprobada en el decreto N° 448 – serie c del 28/11/52 del poder ejecutivo provincial. Según este decreto, que con posterioridad fue ratificada la metodología planteada es la siguiente:

Artículo 1: Establecer como normas técnicas para la presentación de estudios relativos a fijación de línea de ribera, efectuados por particulares sobre ríos o arroyos de la Provincia, los siguientes requisitos:

Parte 1: Relevamientos

- a) Poligonal de estudio, amojonando en los vértices y estaqueada en cada perfil transversal.
- b) Abalazamiento de mojones (por lo menos dos)
- c) Nivelación de la poligonal en ida y vuelta, debiendo tener el tramo a estudiar como mínimo un (1) kilómetro de longitud.
- d) Perfiles transversales cada 20 o 25 metros normales al cauce del río o arroyo, con un ancho suficiente que sobrepase las líneas de crecidas máximas ordinarias, tomando en cada uno la cota del pelo de agua en ambas márgenes.
- e) Levantamiento de puentes, vados, construcciones, alambrados, calles, caminos, carreteras y demás accidentes de la zona a estudiar.

Parte 2: Planos

- a) Planimetría general de la zona en escala 1: 1000 con la poligonal de estudio, ángulos de la misma, puntos fijos, mojones abalazados, perfiles transversales tomados en el terreno, ángulos que hacen la poligonal, etc... en el que conste: nombre de los propietarios ribereños y colindantes, como así mismo el de calles, caminos colindantes y carreteras.
- b) Perfil longitudinal de la poligonal, indicando piquetes y distancias parciales y acumuladas, cotas de la poligonal de estudio y pendiente de la misma.
- c) Perfil longitudinal del eje de vaguada y del pelo de agua, con pendientes media de los mismos.
- d) Perfiles transversales indicando el número de piquetes, ubicación del eje de la poligonal de estudio, distancia entre los mismos como así también las longitudes al polígono y al eje de vaguada desde las poligonales técnicas y líneas compensadoras.

Parte 3: Cálculos

- a) La línea de ribera deberá trazarse en ambas márgenes del río con alineamientos rectos y curvos, calculándose todos los elementos de estos últimos.

b) Se aplicara la formula de Hermanneck, para el estudio indicando detalladamente todos los cálculos y valores obtenidos.

c) Cuando no se conozca el caudal del rio o del arroyo, se deberá calcular aplicando la formula de Burkli – Ziegler, previa consulta a la Dirección General de Hidráulica, quien suministrara los datos necesarios.

d) Las líneas de ribera compensadas deberán trazarse ajustándose lo más posible a las poligonales teóricas.

Parte 4: Memoria Descriptiva

La memoria descriptiva perfectamente detallada de todo el trabajo realizado con ubicación de la propiedad, lugar, pueblo, pedanía, departamento y provincia.

Parte 5: Replanteo de la Línea de Ribera

Una vez aprobadas las actuaciones por Sección Estudios y previa Resolución de la Dirección General de Hidráulica, se replantearan las líneas de ribera, con mojones de hormigón distante entre sí 20 o 25 metros, solicitando la aprobación del replanteo efectuado a la Sección correspondiente.

Parte 6: Profesionales Intervinientes

Artículo 1: - Todos los trabajos y cálculos, deberán ser realizados por un Ingeniero Civil o Ingeniero Hidráulico, inscripto en el Consejo de Ingenieros de la Provincia de Córdoba, de acuerdo a la ley N° 2.685.

Artículo 2: - Estas normas comenzaran a regir desde la fecha del Decreto aprobatorio de la presente Resolución.

Artículo 3: - Elevar al Poder Ejecutivo la presente Reglamentación a los fines de su correspondiente consideración y aprobación.

Artículo 4: - De forma.

Este decreto se encuentra vigente en la actualidad luego de varias resoluciones, de las cuales la es la N° 058 del 06/03/1996.

2.3.3 Nuevas Propuestas Metodológicas para la Provincia de Córdoba

Actualmente la Di.P.A.S en el marco del Programa de Reordenamiento Territorial y en Cooperación con el ISRH (Instituto Superior de Recursos Hídricos) de la UNC (Universidad Nacional de Córdoba), la UNRC (Universidad Nacional de Rio Cuarto) y el CIRSA – INA está abocada al estudio y definición de nuevas metodologías para la

determinación de áreas inundables y delimitación de Línea de Ribera, adaptadas al marco legal de la Provincia de Córdoba.

Las nuevas técnicas y metodologías a definir serán propias para cada tipo de sistema hídrico (fluvial, lagunar) y surgirán del análisis de las particularidades de cada sector, tramo de río o cuenca a estudiar.

Deberán contemplar los aspectos geomorfológicos, hidrometeorológicos e hidrológicos propios de cada sistema e incorporar nuevas tecnologías que reduzcan los costos de relevamiento, replanteo y amojonamiento.

Al día de hoy la Di.P.A.S ha dado prioridad a la demarcación de tramos inundables en ríos ubicados en zonas turísticas de la región (Tabla 2.1) que fueron oportunamente caracterizados por la comisión en 10 clases diferentes según el grado de organización del sistema fluvial al que pertenecen y al ambiente geomorfológico donde se desarrollan (Tabla 2.2).

Tabla 2.1: Tramos turísticos de ríos seleccionados por la Di.P.A.S.

RÍO	TRAMO	CLASE
San Antonio	Confluencia de los ríos Icho Cruz y El Cajón / Lago	1
Anizacate	5 Km aguas abajo Ruta 36 / 10 Km aguas arriba	2
Río de los	Confluencia de los ríos Panaholma y Mina Clavero /	2
Mina Clavero	10 Km aguas arriba / confluencia con el río	1
Panaholma	10 Km aguas arriba / confluencia con el río Mina	2
Grande de	Villa Giardino / Lago San Roque	1
Yuspe	10 Km aguas arriba / confluencia con el río Grande	1
Santa Rosa	15 Km centrados en el área urbana	1
Los Reartes	Villa Alpina / Dique Los Molinos	1
de Las	Villa Jojoricó / confluencia (tramo urbano)	1

Tabla 2. 2: Clasificación de los tramos Inundables.

TIPO DE SISTEMA HÍDRICO	GRADO DE ORGANIZACIÓN			AMBIENTE GEOMORFOLÓGICO	
	NIVEL DE BASE	VALLE DEFINIDO	CAUCE FIJO	MONTAÑA	LLANURA
FLUVIAL	CON	CON	CON	Clase 1	
			SIN	Clase 2	Clase 3
		SIN	SIN		Clase 4
	SIN	CON	CON	Clase 5	
			SIN	Clase 6	Clase 7
		SIN	SIN		Clase 8
LACUNAR	FINAL			Clase 9	
	LOCAL			Clase 10	

Unos de esos tramos (Rio Santa Rosa), tomado como caso testigo, ya fue estudiado (Bertoni y otros, año 2006) y delimitada la línea de ribera utilizando un modelo lluvia – escurrimiento para la cuenca alimentando con lluvias de diseño (Caamaño Nelli y otros, año 2005) y un modelo de simulación hidráulica en el tramo para el tránsito del hidrograma de proyecto con tiempo de recurrencia de 25 años.

2.4 ANTECEDENTES A NIVEL MUNICIPAL

La municipalidad la ciudad de Villa María, a través del Honorable Concejo Deliberante, ha aprobado una serie de Ordenanzas desde el año 2000 que establecen los condicionantes al dominio y al uso del suelo. Estas normativas son las siguientes:

1. **Ordenanza N° 4580** : Define como Zona Común o de Dominio Público a aquellas que queda comprendida entre las líneas de riberas ubicadas a ambos márgenes de los arroyos y distanciados 25 metros desde el centro del cauce, Esta es aplicable a el Rio Tercero (Chtalamochita). Contempla además que en estos espacios se definirán vías de circulación para uso vial y peatonal.
2. **Ordenanza N° 4720** : Esta complementa la anterior ya que define como " Línea de Edificación" una línea imaginaria paralela a la Línea de Ribera y distanciada de esta ultima unos 20 metros, en el cual está prohibido cualquier tipo de construcción. Además exige que todos aquellos propietarios que no tengan definida la Línea de Ribera se dirijan a la Secretaria de Obras Publicas para que se las determine antes de realizar cualquier loteo o construcción.
3. **Ordenanza N° 4950: Fija** el uso de la superficie publica que rodea los arroyos y establece que tipo de actividad se puede desarrollar en ellos. De esta manera permite la actividad de picnic, pero no el uso de carpas, aleros de carpas, casillas rodantes y tráiler. Prohíbe el campamento en zonas no autorizadas y el establecimiento de usos comerciales en las márgenes del balneario y del Rio Tercero en toda su longitud dentro de la zona urbana. Solo podrá haber en la

costa del río y el balneario el equipamiento recreativo designado, proyectado y/o adjudicado por el Municipio.

4. **Ordenanza N° 4983** : Establece la necesidad de definir la Línea de Ribera del Río Tercero (Chtalamochita) pidiendo apoyo técnico y legal a la Subsecretaría de Obras Públicas y Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Córdoba para tal fin. Además establece que se deberá notificar a todos los ribereños que hayan avanzado con los cercos, alambrados o construcciones más allá de lo permitido a retirarse.

CAPITULO 3

3.1 INTRODUCCION

El río involucrado en este trabajo lleva el nombre de Río Chtalamochita, es la recuperada denominación aborigen de uno de los principales ríos de la Provincia de Córdoba, conocido mayormente como Río Tercero, en alusión al orden en que fue encontrado por los conquistadores españoles en el siglo XVI.

La cuenca del Río Tercero se encuentra ubicada en una planicie extensa cuya posición geográfica es: 32° 10" S 64° 06"O en el departamento San Martín, corriendo este río en casi toda la Provincia de Oeste a Este.

Donde se encuentra el lugar de estudio en cuestión, se halla ubicada la Ciudad de Villa María en la ribera norte, y la ciudad de Villa Nueva en la ribera sur.

La cuenca pertenece a la Cuenca del Plata, teniendo su nacimiento en el Cerro Champaqui, a una altura de aproximadamente 2000 m (s.n.m), su extenso

recorrido de 317 Km cruza toda la Provincia de Córdoba, para terminar desembocando en el Rio Carcarañá, cerca de la Ciudad de Gaboto en la Provincia de Santa Fe.

Toma el curso más definido a partir de la Ciudad de Embalse, en el dique Embalse del rio Tercero al pie de las Sierras de Córdoba.

3.2 CUENCA DE ESTUDIO

Al igual que los otros cuatro ríos de la provincia (Primero, Segundo, Cuarto y Quinto) su curso fluye en sentido oeste – este, siendo este con el rio Cuarto el único que es afluente superficial de la Cuenca del Plata.

En su nacimiento en el Champaqui (fig. 3-1), en una zona cuyo régimen de precipitaciones (pluviales y nivales) varía entre los 600 y 1000 (mm/año), ubicándose su cuenca alta en el valle de Calamuchita.

A poco de salir de ese valle discurre por lo menos elevado y menos ríspido Valle de La Cruz hasta que ingresa en la plenillanura en donde se han construido numerosos lagos artificiales escalonados (entre ellos Cerro Pelado, Embalse Rio Tercero – con su Central Nuclear Embalse y Piedras Moras) con dos principales funciones: obtener energía hidroeléctrica y regular el caudal, aunque la existencia de tales lagos aporta más bien a la economía, son atractivos turísticos y son importantes centros de pesca (pejerreyes, truchas, etc....). Luego de discurrir por la plenillanura, ingresa en la región llamada **pampa húmeda** en donde el régimen de precipitaciones tiene una media de 730 (mm/año).

Aun siendo este rio el más caudaloso de la provincia y recorriéndola prácticamente por toda su mitad, poseyendo un albeo y un aforo regular y un lecho bastante exento de obstáculos, no es un rio navegable para embarcaciones de mediano calado. Solo pequeñas embarcaciones recreativas pueden utilizar esta vía hídrica para esparcimiento.

Al recibir la afluencia del rio **Chocancharava**, (conocido como rio Cuarto) a través del rio Saladillo, este rio pasa denominarse rio **Carcarañá** el cual vierte sus aguas al Paraná en proximidades de la localidad de Gaboto, en la Provincia de Santa Fe.

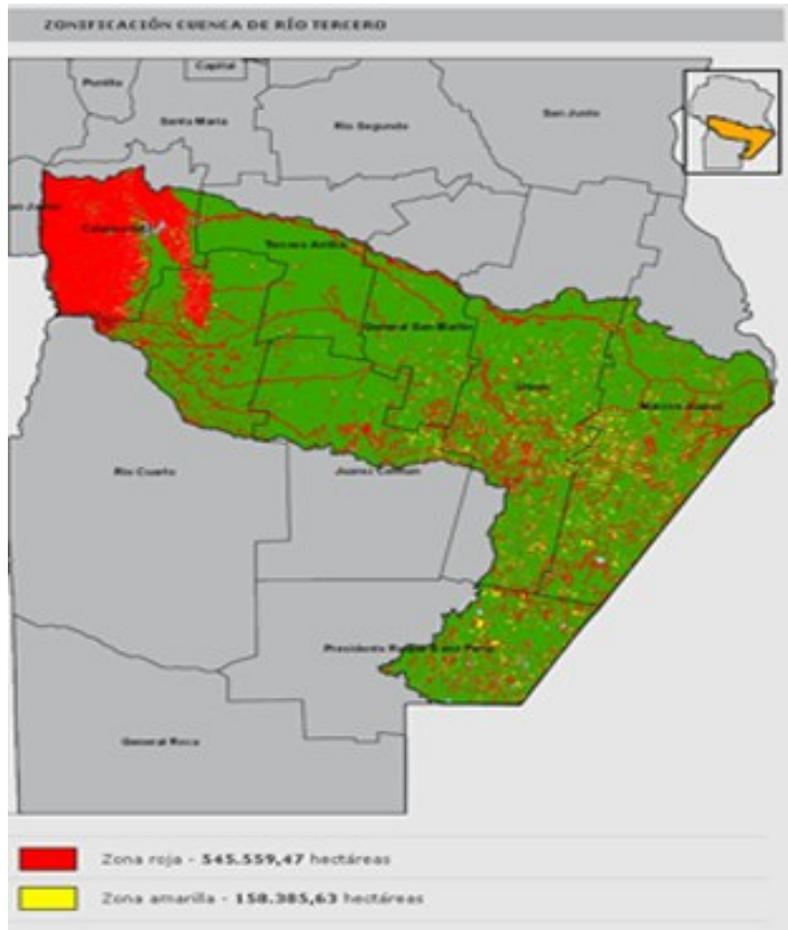


Figura 3-1. Cuenca de rio Tercero

El rio **Tercero** o **Ctalamochita** tiene en sus riberas o en sus proximidades, algunas importantes ciudades de la provincia de Córdoba: Embalse, las ya reseñadas Rio Tercero, Villa María y Villa Nueva, así como las ciudades de Bell Villa, Leones y otras.

La longitud aproximada del Rio Tercero (sin contar su continuación en el Carcarañá) es de aproximadamente 307 Km, teniendo un caudal medio de 21,17 (m3/seg) pero en su paso por la ciudad de Villa María – Villa Nueva , en el tramo en estudio, el caudal medio es de 9,38 (m3/seg).

El Embalse Rio Tercero fue inaugurado en 1936 poseyendo un área de embalse de 54,3 Km².

3.2.1 CARACTERIZACION FISIOGRAFICA DE LA REGION

- **Geología:** Mucho más antiguas que los Andes (del terciario) se formaron a partir del Paleozoico inferior y por su antigüedad están fuertemente erosionadas. El sector oriental (Sierras Chicas) es considerablemente más bajo topográficamente. Las montañas en sus orígenes formaron el límite entre Gondwana y el luego expandido océano Pacífico, y consisten principalmente de roca metamórfica como la migmatitas, esquistos y gneises. En el Devónico, hubo intenso magmatismo que dio origen al Batolito de Achala. Otro periodo volcánico corresponde al Terciario, donde se originaron los Volcanes de Pocho: Poca veliz, Agua en la Cumbre y La Ciénaga todos los cuales se elevan cónicos en medio de los palmares de palma caranday en la Pampa de Pocho cerca de Taninga. En ciertas zonas los suelos y subsuelos kársticos o calcáreos erosionados por las aguas de lluvias y deshielos han originado sistemas de cuevas y grutas como la de los Pajaritos, Ongamira y Los Terrones, especialmente el río subterráneo de La Cumbrecita.

Existen varios valles entre los cordones montañosos o sierras y algunas mesetas llamadas Pampas entre las que se destacan: Pampa de Achala, Pampa de Pocho. El sector sudeste de las sierras de Córdoba aporta sus aguas a la Cuenca del Plata, especialmente por el río Tercero y en ciclos húmedos también por el río Quinto.

- **Relieve:** Villa María – Villa Nueva, se halla dentro de la llanura pampeana donde no existen plegamientos y por lo tanto no se registran accidentes orográficos. Su altura es con respecto al nivel del mar de 196 metros y el suelo registra una suave pendiente con declive hacia el sudeste.

- **Clima:** La temperatura media de invierno actualmente es de 10,8°C y la de verano oscila en una media de 24,8°C. Un clima templado ideal para el desarrollo de la vida vegetal, animal y humana. La temperatura media anual es de 16,5°C y resulta característica de la zona central de la pradera pampeana con una amplitud térmica aproximada del mes más cálido, enero y el más frío, julio de 14,5°C. La fecha media de las primeras heladas para el conglomerado Villa María – Villa Nueva alrededor de la primera quincena de mayo y la fecha media de las últimas heladas se ubica en la segunda quincena de setiembre. En consecuencia el periodo medio libre de heladas es superior a los 212 días.

- **Suelo y uso del suelo:** Las principales materias primas producidas en Villa María – Villa Nueva son: leche, con una gran cantidad de tambos de altísima producción (Figura 3-2), cereales, por tener suelos de gran calidad se obtienen rindes excepcionales, carnes, en mayor cantidad la de vacunos criados en feed-loom obteniendo gran eficiencia en la producción de carnes para la industria frigorífica, forrajes, hortalizas, oleaginosas, pieles, cueros, barro y materia orgánica arena y piedra. Su destino es la industria, el comercio el consumo interno local y nacional y la exportación.



Figura 3-2 La industria lechera tiene tecnología de vanguardia en sus procesos

3.2.2 CARACTERIZACION SOCIOECONOMICA DE LA REGION

- **Actividad económica :**

Villa María – Villa Nueva al encontrarse en un área de agricultura y ganadería intensivas, con importante producción de cereales frutales y oleaginosas (soja, trigo, maíz, girasol, avena, cebada, centeno) ha devenido en un importante centro económico subregional en el cual se han desarrollado industrias y servicio relacionadas con las actividades agropecuarias, ya que la ciudad es el centro de una de las principales cuencas lecheras de Argentina, así como industrias de apoyo a la actividad agraria (agro mecánica, agroquímicos).

La industria en esta ciudad se ha diversificado a partir de la segunda mitad del siglo XX sumándose las industrias alimentarias, metalmecánicas livianas, textiles, vidrio, cementeras y químicas no específicamente ligadas al agro.

Los sectores económicos más relevantes son el comercio minorista, el cual aporta el 63% de la actividad económica, los servicios con un 24% y la industria con un 10%. De acuerdo a la información brindada por el municipio, en los últimos cinco años los sectores que más han crecido son la industria de la construcción y el comercio.

- **Actividad Industrial :**

La ciudad de Villa María participa del Régimen de Promoción Industrial de la Provincia de Córdoba, la ciudad está incluida en la Zona B del régimen. También está incluida en el régimen de promoción de exportaciones a través de la Agencia Pro Córdoba.

- **Parque Industrial:** En Villa María hay un proyecto de Parque Industrial y Tecnológico. El mismo está localizado en la Ruta Nacional N° 9 con acceso por la Ruta Provincial N°2 en la zona designada como de uso industrial, y se encuentra zonificado

según: zona de industrias alimenticias, zona de industrias metal-mecánicas, zona de industrias Pymes, zona de parque tecnológico y zona de industrias varias.

En la actualidad se está construyendo una planta productora de Bioetanol de la firma ACA BIO Cooperativa Limitada. Esta planta (figura 3-3) demanda una inversión de 130 millones de dólares y generara más de 300 puestos de trabajo directos, será puesta en funcionamiento en los primeros meses del año 2014.



Figura 3-3 Construcción de planta de Bioetanol

El parque entiende como actividad industrial a la que **“aplicando los procesos tecnológicos, transforme mecánica o químicamente, sustancias orgánicas o inorgánicas en productos de consistencia, aspecto, forma o utilización distinta al de los elementos constitutivos o que permita ser utilizado o consumidos como sustitutos de sus materiales originales”**. Se excluyen: las actividades artesanales, las actividades de mera reparación reforma, renovación o reconstrucción, las actividades de mera extracción de minerales explotación agrícola, ganadera y/o forestal, los depósitos que no estén asociados a una actividad industrial radicada en el Parque y las industrias nocivas y y/o peligrosas.

En la adjudicación de lotes se prioriza la instalación de establecimientos industriales nuevos o que busquen re-localizarse y que utilicen mano de obra y productos intermedios de Villa María principalmente. Es relevante que se trate de industrias complementarias de otras ya existentes en el Parque o en la zona, que su producción este orientada al incremento o diversificación de las exportaciones y que en sus procesos utilicen principalmente maquinas y equipos de origen principalmente nacional.

Algunos requisitos para el comprador son que las superficies cubierta del proyecto sea mayor al 20% de la superficie del lote y la obra proyectada esté finalizada y funcionando en el plazo máximo de 12 meses, a partir de la aprobación del proyecto, el propietario debe dar comienzo a las obras de construcción en el plazo máximo de 60 días hábiles.

En cuanto a la forma de pago del lote, si el mismo es en efectivo se hará un 10% de descuento sobre el precio total.

Se consideran servicios del Parque los siguientes: agua, alumbrado, energía eléctrica, extinción de incendios, barrido y limpieza, guardia de seguridad las 24 horas, servicio de medicina laboral, seguridad e higiene del trabajo, teléfono fax internet banda ancha, desagües pluviales, desagües cloacales, desagües para desechos industriales con proceso de tratamientos adecuados, mantenimiento de espacios verdes, gas natural en red en volúmenes industriales.

Gracias a la política del Municipio en la actualidad el número de industrias en el Parque Industrial es de 83 y sigue en un paulatino crecimiento.

- **Turismo y Hotelería:**

Hay radicados en la ciudad de Villa María, 8 hoteles, entre los que se encuentran tres que son los de mayor relevancia, estos son: Howard Johnson (5 estrellas y 41 plazas), el hotel Samaran Suites (5 estrellas y 25 plazas) y el República (4 estrellas y 60 plazas).

Una opción indiscutible es llegar al Balneario Municipal Juan Carlos Mulinetti, (figura 3-2) allí un pequeño embalse sobre el majestuosa rio Ctalamochita



Figura 3-2 Balneario Municipal realizado en el embalse del rio Ctalamochita

El balneario posee inmensas arboledas que aparecen por doquier, brindando su frondosa sombra, también ofrecen un camping con asadores, mesas y bancos, que ameritan un almuerzo en familia o con amigos, el lugar resulta ideal para quienes gusten de relajarse en un ambiente de radiantes verdes y en contacto con la naturaleza cordobesa.



Figura 3-3 Balneario Municipal deportes acuáticos en el embalse del rio Ctalamochita

La ciudad de Villa María es encantadora, dinámica y con propuestas que harán regresar a sus visitantes para que este disfrute con todos los sentidos (Figura 3-3). Alternativas urbanas, opciones que invitan a sumergirse en la naturaleza que la invade, junto a excelentes opciones gastronómicas y hotelera, conforman una tentadora cartelera.



Figura 3-4 Vistas de la ciudad de Villa María

. El circuito histórico cultural traza un itinerario por espacios verdes, edificios públicos y sitios emblemáticos para la comunidad (Figura 3-4). Parte de la Plaza Centenario, para luego continuar por el Sub-Nivel Ferroviario Estación Ferroviaria, Plaza Independencia, la Asociación Española de Socorros Mutuos, la Biblioteca y Mediateca Mariano Moreno, Catedral Inmaculada Concepción, Ex Mercado Mitre, Palacio Municipal y el Anfiteatro Centenario



Figura 3-5 Vistas de parte del circuito turístico de la ciudad de Villa María

3.3 ESTUDIO DEL RIO CTALAMOCHITA EN SU PASO POR VILLA MARIA

Sobre la margen del río Ctalamochita (figura 3-6) se extiende una costanera de más de 16 Km, centro de esparcimiento de la ciudad, sus amplios espacios verdes sus playas con fina arena y su lago, son un recorrido atractivo para quienes la visitan.

Figura 3-6 Vista satelital de la ciudad de Villa María

El imponente anfiteatro y sus espacios aledaños son una postal de de Villa María.

Pero sin lugar a dudas que la obra del embalse, que aporta a la ciudad un espejo de agua especial para la práctica de deportes acuáticos, como así también un amplio camping con bellas playas, es sin dudas una marca especial de la ciudad.

3.3.1 Aspectos urbanísticos y sociales de la ciudad de Villa María.

- **Características Demográficas**

El Censo Provincial de Población 2008 registró 78.551 habitantes en el municipio de Villa María. La tasa anual de crecimiento de la población de Villa María es de 1,27 %. La esperanza de vida de los habitantes de la ciudad es de 69 años y 4 meses. Para las mujeres la esperanza de vida es de 72 años y 10 meses y para los varones de 67 años.

La pirámide poblacional de Villa María para el año 2001 muestra una proporción de 52,32% de mujeres y de 47,68% de varones. También es posible notar que los jóvenes de 15 a 29 años representan el 23,81% de la población, mientras que los adultos de 30 a 60 años constituyen el 34,75%. La población mayor a los 60 años es del 16,94% y menor a los 15 años del 24,5%.

La distribución de la población (Figura 3-7) por grupos de edad y sexo se muestra a continuación:

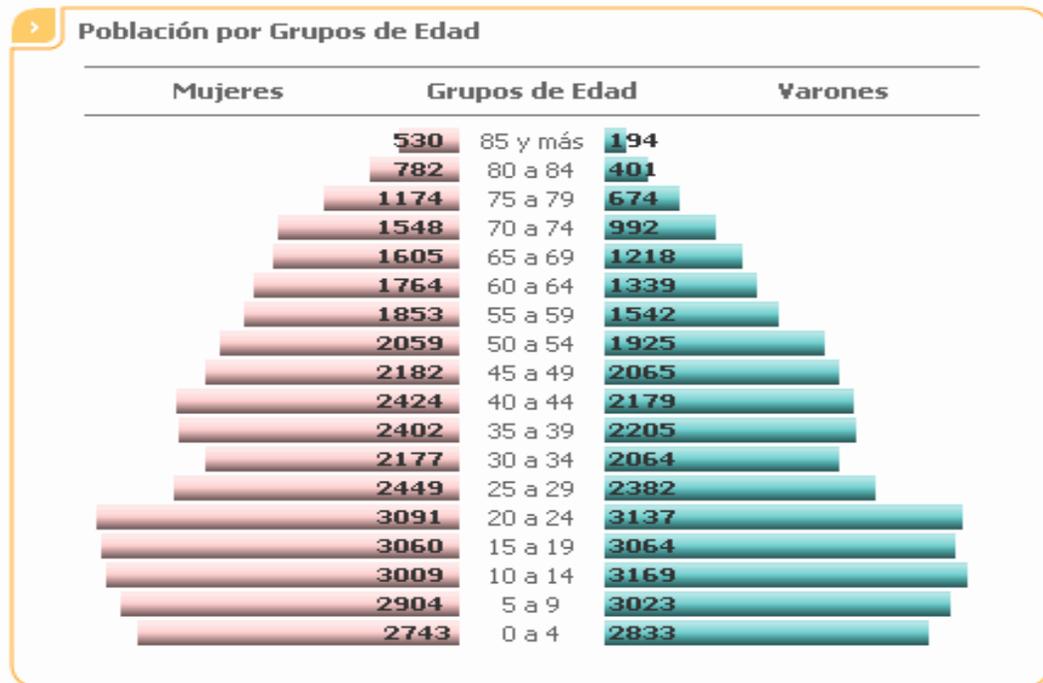


Figura 3-7 Pirámide poblacional de la ciudad de Villa María (Censo 2008)

- **Nivel Educativo.**

En Villa María el 45% de la población mayor de 15 años ha realizado estudios secundarios pero no los ha completado, el 16% no tiene instrucción alguna o bien posee educación primaria incompleta, el 28% tiene el secundario completo o incluso estudios superiores pero sin finalizar, y el 11% ha logrado finalizar estudios universitarios o terciarios.

- **Establecimientos Educativos**

Villa María cuenta con 23 escuelas públicas primarias y 6 escuelas privadas primarias. Hay 12 escuelas secundarias, 7 públicas y 5 privadas. Hay 2 escuelas técnicas de nivel medio. Se dispone de 9 colegios terciarios privados y la posibilidad de acceso a dos universidades públicas (se destaca la Universidad Nacional de Villa María) y a tres privadas.

Hay disponibilidad de formación técnica en electricidad, electrónica, equipos e instalaciones electromecánicas, informática, mecánica, química y técnico en industria de los alimentos.

- **Establecimientos de Salud**

Se disponen en el Municipio de 6 establecimientos de salud con internación que aportan un total de 270 camas, 37 establecimientos sin internación y 20 unidades de ambulancias equipadas con unidad coronaria, etc....

La ciudad cuenta con 11 Centros de Atención Primaria de la Salud (CAPS), un centro Municipal de Atención a la Víctima del Delito, un centro de salud mental, un Centro Odontológico Comunitario, un Hospital de Día y centros privados de atención de la salud de diferentes niveles de complejidad.

3.3.2 Infraestructura y Servicios

- **Agua Potable**

El 80% del total de la superficie urbanizada permitida para la instalación de industrias está cubierta por el servicio de agua potable en red. El 100% del agua que se distribuye por la red es superficial y está bajo tratamiento de cloración. Villa María dispone de infraestructura para albergar industrias de alto consumo de agua y de una alta calidad de la misma.

La que presta el servicio de agua potable en red es La Cooperativa de Trabajo 15 de Mayo Limitada.

- **Red de Cloacas.**

Aproximadamente el 85% del total de la superficie urbanizada con permiso de localización de empresas está cubierta por el servicio de cloacas. Teniendo los afluentes cloacales algún tipo de tratamiento.

Para los meses de abril-mayo de 2010 se prevé la terminación de la Planta Depuradora de Líquidos Cloacales. La misma consta de un modulo de 3 lagunas aeróbicas con ventilación mecánica. En un segundo término cada una de estas lagunas se comunica con una laguna de mayor tamaño donde el líquido va a contemplar su estabilización biológica. Luego pasara por una cámara de contacto o cloración donde el agua sufre un proceso de desinfección para luego ser volcado al río.

- **Suministro de Energía Eléctrica**

La cobertura de energía eléctrica en Villa María es amplia si se tiene en cuenta que prácticamente la totalidad de la superficie urbanizada está cubierta con este servicio. A continuación se muestra el número de conexiones (Fig. 3-8) realizadas en el municipio según tipo de cliente:

Tabla 3: Total de Contratos por Tarifa en Villa María al	247
Cooperativas	48
GUMAS	1
General	4004
Gobierno y Usr. Especiales	322
Grandes Consumos	124
Residencial	30.016
Servicio de Agua	8
Tarifa Rural	13
Varios	18
Total	34.801

Figura 3-8 Clientes a los cuales se les suministra el servicio de energía eléctrica

Asimismo, esta localidad tiene la capacidad de albergar industrias de bajo, medio y alto consumo eléctrico. No existen frecuentes cortes de energía eléctrica, los mismos pueden producirse esporádicamente en los meses de verán, ocasionados por una fuerte tormenta que afecte alguna zona determinada.

La empresa que provee la energía eléctrica es la Empresa Provincial de Energía Eléctrica de Córdoba (E.P.E.C.).

- **Regulación, Recolección y Tratamiento de Residuos.**

En Villa María se generan todo tipo de residuos industriales, incluidos residuos peligrosos, especiales, patógenos y radioactivos. Estos residuos reciben una recolección y tratamiento diferenciado que es controlado por el Gobierno provincial.

En cuanto a la disposición final de residuos sólidos domiciliarios recolectados, los mismos se entierran en enterramientos sanitarios, estos enterramientos están en el orden de las 86 toneladas diarias.

La prestación del servicio de recolección y tratamiento esta tercerizado. La empresa Medio Ambiente S.A está a cargo de la recolección, la empresa EMRE está a cargo de disposición y tratamiento. Participa también la Cooperativa 7 de Febrero Limitada, la cual tiene a su cargo la separación y clasificación de los materiales que permiten ser reciclados.

- **Servicios de Transporte.**

Los servicios de transporte disponibles en el municipio son camiones de carga, ferrocarriles de pasajeros y de carga. El número de camiones registrados en la tasa de impuesto al automotor es de 1826. El número de estaciones de servicios proveedoras de combustibles es de 8. También la ciudad posee de un servicio de transporte urbano de pasajeros.

- **Accesibilidad.**

La infraestructura pública para carga se compone de una terminal de ómnibus, una estación de ferrocarril y actualmente se termino de construir un aeropuerto dotado de la última tecnología para el tránsito aéreo. Además se está terminando de construir un moderno centro de transferencia de carga y descarga.

Del total de calles en el municipio, un 70% se encuentran pavimentadas. En cuanto a la accesibilidad del municipio (Fig. 3-9), las Rutas Nacionales que pasan por Villa María son la N° 9 y la N° 158 (autopista). Mientras que las provinciales, son las Rutas N° 2, N° 4, N°6 y N° 10.

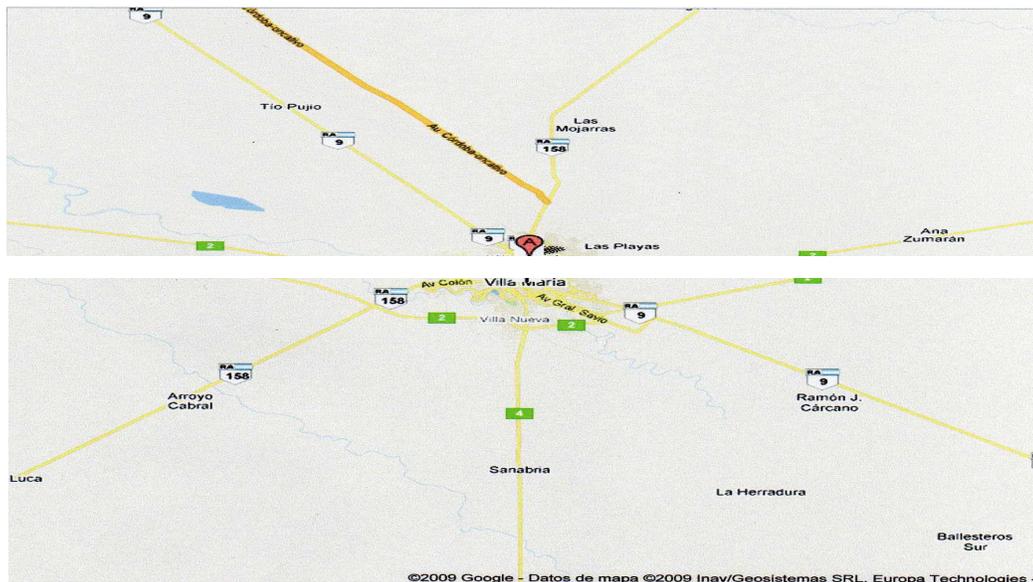


Figura 3-9 Rutas de acceso a la ciudad de Villa María

Como se ve en la figura son numerosas las vías de acceso a la ciudad de Villa María, en lo que se refiere a vías terrestres de pavimentos.

CAPITULO 4

CAUDALES MAXIMOS E HIDROGRAMAS PARA DISEÑO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para planificar y regular el uso del suelo, en torno a ríos y lagos, especialmente emplazados en áreas urbanizadas, se requiere elaborar medidas que provean los instrumentos técnicos y legales que permitan armonizar las características naturales de las cuencas involucradas con el crecimiento de la ciudad.

Tanto para las obras hidráulicas como los planes de ocupación se deben plantear en torno a la magnitud de lo que se conoce como la creciente de proyecto, que solo es posible estimar en forma probabilística a partir de series de caudales históricos medidos que permitan predecirla.

Este requisito limitado por la insuficiencia estadística de registros hidrométricos, conlleva a estimarla indirectamente a partir de las precipitaciones generadoras del proceso buscando **la lluvia de diseño**. Es decir eventos hipotéticos de lluvia de distintas duraciones y con probabilidades asociadas, con los cuales se pueda alimentar a los modelos de transformación lluvia-escurrecimiento y de tránsito de crecidas, para obtener un hidrograma a la salida de la cuenca que se adopta como equivalente a la **creciente de proyecto**.

En este capítulo se predicen las lluvias de diseño siguiendo la metodología desarrollada para la Provincia de Córdoba (Caamaño Nelli y Dasso 2003) a fin de que sirvan de entrada a modelos hidrológicos que permitan estimar la descarga máxima de las cuencas y generar los hidrogramas de proyecto para diferentes periodos de retorno.

Los modelos implementados son: el Método Racional Generalizado (Rüle 1966) y el Modelo Hidrológico HEC-HMS (Centro de Investigación del U.S Army Corps of Engineers). El primero es un procedimiento de cálculo sencillo en su planteo que permite realizar una estimación de los caudales máximos, mientras que el segundo es un programa operativo que permite simular el proceso de lluvia-escurrecimiento y obtener los caudales en función del tiempo (hidrogramas).

Estos modelos se aplicaron para lluvias de distintas duraciones y recurrencias, haciendo especial énfasis en los resultados para recurrencias de 25, 100, 300 años que dan los caudales que fijan los umbrales de inundación de interés en este estudio.

4.2 PREDICCIÓN DE LLUVIAS DE DISEÑO.

Las lluvias de diseño son eventos pluviales idealizados para reflejar las exigencias de origen hidrometeorológicas a las que se verían sometidas las obras y los planes de ocupación del suelo.

Los rasgos o componentes que caracterizan a una lluvia de diseño son:

- Magnitud: valor que alcanzaría la intensidad o la altura precipitada en un punto.
- Persistencia: duración del intervalo de lluvia para la cual se predice.
- Probabilidad: frecuencia futura estimada o período de retorno anual del evento.
- Ubicación: patrón de valor temporal interna de la lluvia de diseño (hietogramas tipo).
- Atenuación: reducción de la lluvia local a escala de cuenca, para predecir descargas.

La metodología para obtener las lluvias de diseño comprende básicamente tres aspectos: a) La estimación de láminas y transposición de parámetros. b) La atenuación espacial de las lluvias para ser utilizadas a nivel de cuenca y c) La distribución temporal interna o hietogramas tipo de la lluvia.

4.2.1 ESTIMACIÓN DE LÁMINAS: MODELO DIT

La estimación de láminas de diseño demanda conocer una función que relacione la intensidad (i), la duración (d) y la recurrencia (T) de las lluvias, conocida como función i-d-t. Caamaño Nelli y García (1999), desarrollaron un algoritmo conceptual denominado MODELO DIT, que permite encontrar la relación i-d-T a partir de series de lluvias máximas diarias. Fue calibrado utilizando información de más de 150 estaciones de lluvia de la Provincia de Córdoba.

El algoritmo parametriza el rol de la lluvia diaria en el vínculo i-d-T y permite transponer este como una superficie tridimensional continua. El modelo asume distribución probabilística log normal de las láminas máximas anuales de cualquier duración y se calibra sobre ternas i-d-T extraídas de funciones de distribución lognormal (FDP) de las duraciones elegidas. El modelo se basa en la ecuación, en forma logarítmica:

$$\ln(i_{d,T}) = A + \frac{B}{C} \ln T + \frac{D}{E} \ln d \quad (4.1)$$

donde Φ_y es el factor de frecuencia normal y δ_y es el factor de persistencia, que dependen a su vez de las variables independientes, es decir, la recurrencia y la duración de la lluvia. La aproximación algebraica del primero es

$$\Phi_y = 2,584458 \times (\ln T)^{0,375} - 2,252573 \quad (4.2)$$

en tanto que

$$\Phi_y = [\ln(x)]^q \quad (4.3)$$

DIT tiene 4 parámetros: A , B , y C de la ecuación (5.1) y q de la ecuación (5.3), El exponente q y B son parámetros de cada zona, mientras que A y C .

dependen de las características locales. Estos últimos fueron deducidos como sumas, entre cuyos términos se cuentan, respectivamente, μ y σ , la media y el desvío estándar de los logaritmos de la serie de láminas máximas diarias anuales.

Para los pluviómetros, la información local sobre lluvias máximas está contenida en esa serie y se expresa a través de sus estadísticos en la función. Esa propiedad permite transponer la i-d-T a cada puesto, sustituyendo los valores de μ y σ para incorporar sus rasgos específicos.

Calibrado DIT para un pluviógrafo, la transposición a los puestos pluviométricos asociados es muy sencilla: Basta con sustituir dos estadísticos (de los logaritmos de láminas diarias máximas), la media (μ) y del desvío estándar (σ) de la primer serie, por los de la segunda, μ' y σ' .

El reemplazo se efectúa en los parámetros C y A de la ecuación (5.1), ajustada para el pluviógrafo, y se obtienen los correspondientes C' y A' del pluviómetro sin nueva calibración:

$$A' = A - \sigma + \sigma' \quad C' = C - \mu + \mu'$$

Tal proceder es válido debido a que el significado conceptual de los parámetros (y la forma modular resultante de la ecuación), permite identificar qué cambia de uno a otro sitio, amén de incorporar valiosa información local.

Tal como está planteado el modelo, su aplicabilidad está sujeta a cuatro requisitos:

- Las láminas de lluvias máximas, de duración dada, son representables por funciones de densidad lognormales.
- La expresión no paramétrica de Φ_y permite sustituir en forma biunívoca el factor de frecuencia normal por el período de retorno.
- Las relaciones entre láminas (para d y T) se mantienen en la zona de cada pluviógrafo base, lo que permite transponer la función i-d-T a los pluviómetros satélites.
- Por la forma en que está planteado el factor de persistencia, es válido estimar en conjunto todos los términos afectados por la duración de la lluvia.

4.2.2 TRANSPOSICIÓN DE PARÁMETROS

Los datos transferidos deben someterse a técnicas racionales de adaptación de los valores desde el lugar de medición al lugar de utilización, lo que se conoce como métodos de transposición.

Para el estudio de las Lluvias de Diseño (Caamaño Nelli, Dasso, 2003) la provincia de Córdoba fue dividida en siete zonas, en función de 141 estaciones pluviométricas existentes, representada cada zona con una estación base pluviográfica. A cada estación base se le asignó representatividad sobre los pluviómetros satélites existentes en cada zona. La Figura 5.1 muestra las siete zonas en que fue dividida la provincia y la ubicación de los 141 pluviómetros y pluviografos base.

Figura 5.1: División en zonas

4.2.3 FUNCIÓN i-d-T EN ALTA GRACIA.

Para la obtención de una i-d-T que provea las láminas de diseño propias para este estudio se requieren series pluviográficas largas, ausentes en la cuenca. Por ello, del análisis realizado por Bridera y Soria (2006) se obtuvieron los datos de la estación pluviométrica situada en la ciudad de Alta Gracia, de los cuales se rescató una serie de 25 años que cumple con la condición de estacionariedad y se obtuvo la media (μ') y el desvío estándar (σ') con la intención de transponer regionalmente la i-d-T a la zona de estudio.

De la estación base pluviográfica Córdoba Observatorio perteneciente a la Zona Centro, se obtuvieron los parámetros calibrados que requiere el DIT y cuyos valores son:

$$A = 0.3371$$

$$B = 0.1579$$

$$C = 5.1897$$

$$q = 1.67$$

$$\mu = 4.2476$$

$$\sigma = 0.3439$$

Con los parámetros transpuestos y las ecuaciones 5.1, 5.2 y 5.3, se obtuvo la i-d-T en Alta Gracia para períodos de recurrencia de 5 a 500 años (ver anexo A.2). En la Figura 4.2 se muestran las curvas i-d-T para las recurrencias de interés en este estudio. Los valores de las intensidades medias máximas se dan en el anexo A.3.

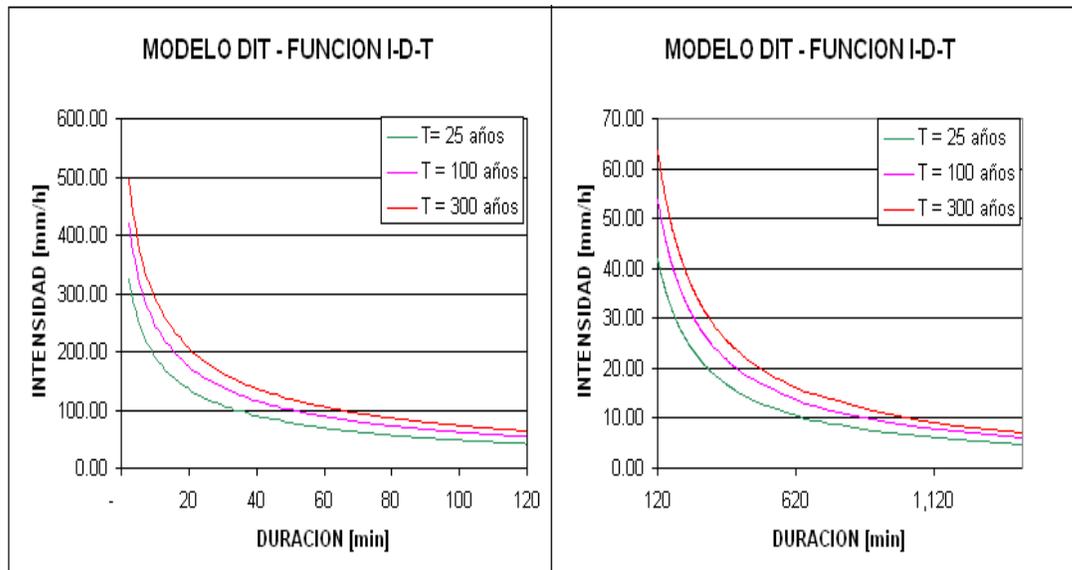


Figura 4.2: Curvas i-d-T según modelo DIT

4.2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL: MODELO CoDA.

La lámina obtenida de la función i-d-T es una lámina local que representa un área en torno al pluviómetro que varía entre 2.5 y 25 Km² según características climáticas y topográficas de la región. Para mayores superficies la lámina caída sobre la cuenca es diferente a la lámina puntual de lluvia máxima obtenida, debiendo ser atenuada mediante coeficientes.

El algoritmo de atenuación espacial denominado *CoDA* fue desarrollado y calibrado (García, Catalini y Caamaño Nelli) para una cuenca serrana de la Provincia de Córdoba, relacionando el decaimiento areal, con el área y la duración de la lluvia. El modelo de atenuación es una función potencial del área y responde a la expresión:

$$CDA = 25^{-k} \cdot A^k \quad \text{o bien} \quad \ln CDA = k \cdot \ln A - k \cdot \ln 25$$

donde

CDA: es el coeficiente de decaimiento areal

A: es el área de la cuenca

k : es el parámetro del modelo, ajustado en función de la duración de la lluvia

d: es la duración de la lluvia

$$k = 2.1438 \cdot d^{-0.4774}$$

Esta expresión es válida cuando $A > 25 \text{ Km}^2$ y $k < 0$. La estructura asume que el valor de la lámina local de lluvia es un estimador válido en toda el área, cuando *A* es menor que 25 Km², y más allá decae.

Debido a que la cuenca de estudio cuenta con 62 Km², se aplicó el algoritmo *CoDA*, con el fin de atenuar las láminas de lluvia a ingresar en la cuenca.

La metodología implica la elección de una estación núcleo donde estimar la lámina (Modelo DIT) que luego se reducirá para hallar la media areal. Tal estación debe cumplir dos requisitos: ser representativa de las lluvias críticas sobre la cuenca y responder a una función i-d-T conocida, de la cual extraer la lámina local. En nuestro caso la estación núcleo que posee las condiciones anteriormente mencionadas es la Estación Alta Gracia, ubicada en una zona urbana de la ciudad de Alta Gracia cercana al tramo analizado, cuya función i-d-T ha sido calibrada según el modelo DIT.

En la Tabla 5.1 se muestran los valores del coeficiente de decaimiento areal obtenidos para las duraciones analizadas, para un área total de la cuenca de 62.33 km² y en el anexo A.3 las láminas atenuadas.

Tabla 4. 1: Coeficientes de Decaimiento Areal

Duración	k	CoDA
30	-0,4227	0,68
60	-0,3036	0,76
90	-0,2502	0,80
120	-0,2181	0,82
180	-0,1797	0,85
180	-0,1797	0,85
360	-0,1291	0,89
720	-0,0927	0,92
1440	-0,0666	0,94

4.2.5 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL: HIETOGRAMA TIPO

Para los eventos críticos de lluvia de diseño, resulta de interés modelar la distribución temporal interna (hietograma tipo) por su incidencia en la forma del hidrograma de proyecto, ya que de éste interesa conocer su máximo, su volumen y su permanencia.

En este estudio se adoptaron hietogramas tipo sintetizados con la técnica de Pilgrim, a partir de Intervalos de Máxima Intensidad Anual registrados en la estación pluviográfica base La Suela (Zona Sierras), por considerarse representativas de una red de estaciones pluviométricas satélite, que incluyen a los principales centros urbanos turísticos de la región serrana.

En él se observan los hietogramas tipo adimensionales adoptados, para láminas de 30 a 1440 minutos de duración, los cuales distribuidos en seis

intervalos de igual probabilidad (sextil) indican el porcentaje de lámina correspondiente. En el anexo A.3 se dan los hietogramas dimensionalizados.

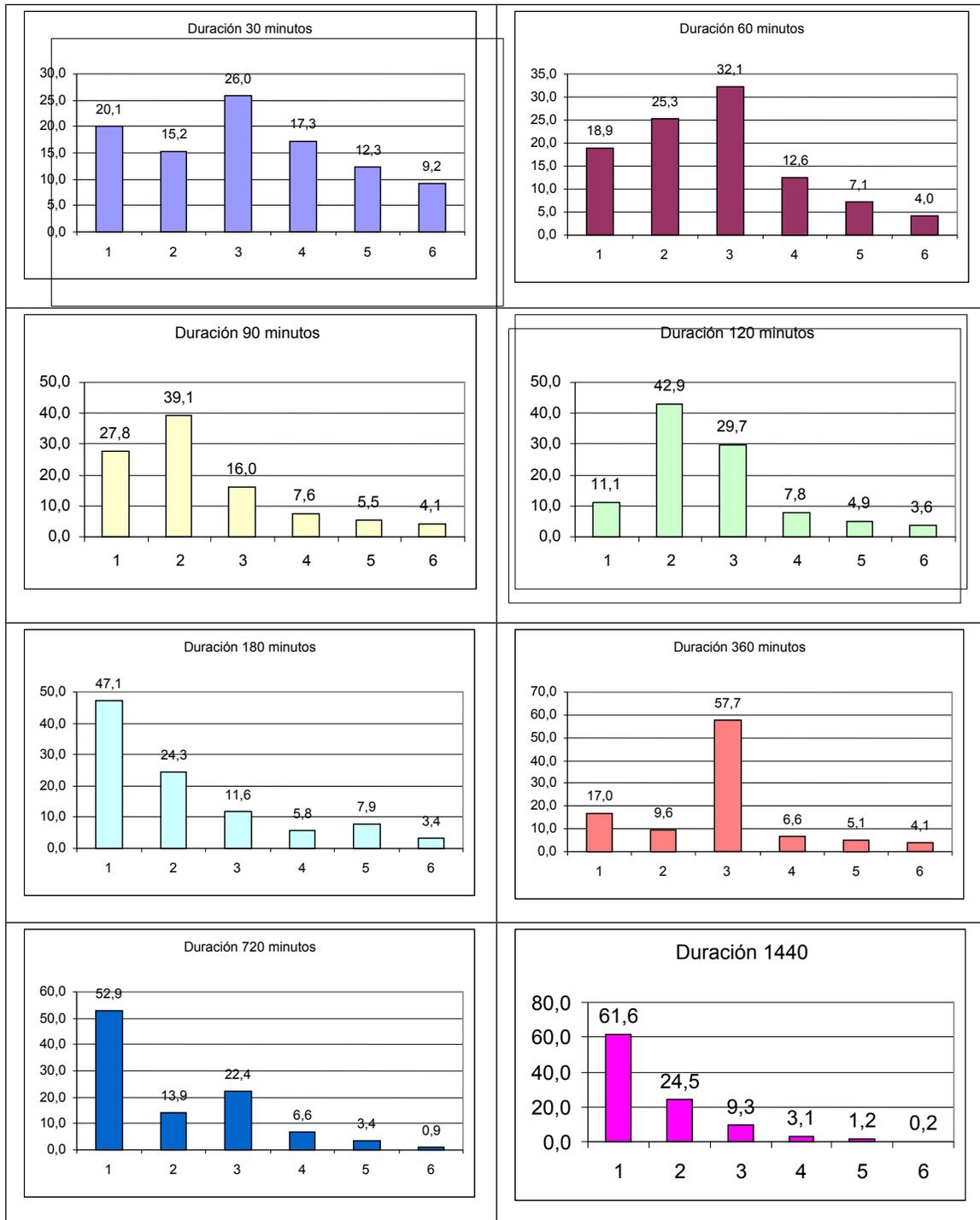


Figura 4.3: Hietogramas Tipo Adimensionales

4.3 ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

Con el fin de conocer la capacidad máxima de descarga que pueda ocurrir en la cuenca estudiada, se estimaron en primer medida caudales máximos a través del Método Racional Generalizado (MRG) desarrollado y adaptado para nuestro país (Rühle, 1966). Este método, si bien tiene varias décadas de aplicación en nuestro país, particularmente en estudios de drenaje de vías de comunicación, en el presente, el empleo de la versión original tiene limitaciones debido a la desactualización de algunos de sus parámetros, en especial, los relacionados con la precipitación. Sin embargo, la gran cantidad de estudios de lluvias realizados a la fecha en distintas regiones del país permite salvar este inconveniente.

El valor del caudal máximo está dado por la siguiente expresión:

$$Q = \alpha \beta M C R / 360 \quad (4.4)$$

Donde:

- α : Coeficiente que tiene en cuenta la distribución espacial de la tormenta;
- β : Coeficiente que tiene en cuenta la retención en cauces o depresiones;
- M: Área de la cuenca, en hectáreas;
- C: Coeficiente que tiene en cuenta las características de la cuenca;
- R: Intensidad de la lluvia según el periodo de recurrencia, en mm/h.

La estimación de cada uno de estos coeficientes se realiza en función de las características locales, tanto pluviales como físicas de las cuencas. Los coeficientes β y C dependen de las configuraciones físicas de las subcuencas, que deberán ser relevadas in-situ.

Uno de los aspectos de especial consideración de este método es el referido a la precipitación. La concepción de este parámetro se basa en un mapa de isohietas provisionarias a escala nacional confeccionado con datos anteriores a la publicación del método. La expresión analítica propuesta para una recurrencia de 25 años es:

$$R_{25} = a / (t^b + c) \quad (4.5)$$

Donde

- R_{25} : es la intensidad media de lluvia (mm/h) que cae durante el lapso t, igualada o superada en promedio, solo una vez en 25 años.
- t: es el tiempo de duración de la lluvia de intensidad media R_{25} (minutos).
- a y c: coeficientes que dependen de la intensidad de la precipitación horaria R_H .
- b: constante.

R_H : es la intensidad de la precipitación horaria (mm/h) correspondiente a un intervalo de recurrencia de 25 años.

Para periodos de recurrencia diferentes de 25 años se aplica la relación.

$$R = R_{25} [1 + 0,44 \cdot 50 / (50 + R_H^{0,5}) \log (T / 25)] \quad (4.6)$$

Una de las hipótesis planteadas por el Método Racional Generalizado es la de considerar la duración de la tormenta "t" igual al tiempo de concentración de la cuenca "tc." La ecuación 4.4 muestra la variación de la precipitación con respecto al tiempo de concentración o duración de la lluvia, a mayor "tc" resulta menor intensidad media R_{25} y a menor "tc" mayor R_{25} .

Las características de las cuencas sobre las cuales es posible aplicar este método con resultados aceptables, deben satisfacer las siguientes condiciones:

- Superficie de hasta 2.000 Km² (es decir 200.000 hectáreas);
- Longitud del cauce principal hasta de 100 Km;
- Tiempos de concentración hasta de 9 hs (540 minutos).

4.3.1 APLICACIÓN DEL MRG

El método se aplicó por separado a cada una de las subcuencas que aportan al tramo en estudio, es decir en las cuencas de los arroyos de la Buena Esperanza y Los Paredones, para luego con ambos aportes estimar el caudal de entrada al inicio del arroyo Chicamtoltina.

El método se aplicó bajo dos alternativas diferentes de la intensidad de la lluvia para una recurrencia de 25 años: una, siguiendo los procedimientos propuestos en la versión original, o sea partiendo de la intensidad horaria para obtener el valor de R_{25} función del tc de la cuenca y la otra utilizando la lámina de diseño para una duración predeterminada de 120 minutos y T= 25 años predicha por el Modelo DIT.

En la Tabla 4.2 se muestran los valores de los parámetros de entrada que intervienen en el cálculo de ambas aplicaciones, manteniendo el mismo valor para C que es característico de la cuenca y en la los tiempos de concentración obtenidos con la expresión del MRG. **Capítulo 4**

Tabla 4. 2: Parámetros de entrada Método Racional Generalizado

Cuenca	L [km]	H _i [m]	A [ha]	RH [mm/h]	C
Primera aplicación					
A° de la Buena Esperanza	14.85	655	2671.00	60	0.30
A° Los Paredones	12.86	655	2862.00	60	0.30
Segunda aplicación					
A° de la Buena Esperanza	14.85	655	2671.00	68.6	0.30
A° Los Paredones	12.86	655	2862.00	68.6	0.30

Siendo:

L = Longitud real del cauce [Km]

H_i = Desnivel real [m]

A = Área de la cuenca [ha]

RH = Precipitación horaria para un período de recurrencia de 25 años [mm/h] (obtenido del mapa de isohietas que brinda el método)

C = Características de la cuenca. Se obtuvo en función del tipo de cubierta vegetal y permeabilidad del suelo.

Con respecto al valor α , se utilizó el valor obtenido a través del modelo CoDA para una duración de la lluvia de 120 minutos, es decir $\alpha=0.82$.

Tabla 4. 3: Tiempos de concentración del MRG

Cuenca	T _c	
	1° aplicación	2° aplicación
A° de la Buena Esperanza	121	120
A° Los Paredones	106	120

Los derrames máximos obtenidos para un período de recurrencia de 25 años para ambas cuencas se ven en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4: Caudales pico según el MRG

Cuenca	Q _{pico} [m ³ /s]	
	1° aplicación	2° aplicación
A° de la Buena Esperanza	26.10	41.90
A° Los Paredones	37.40	40.60

Para la primera aplicación, debido a la poca diferencia existente en los valores de los tiempos de concentración de las cuencas, se puede suponer el caudal al inicio del tramo del arroyo Chicamtoltina como la suma de los caudales en las cuencas de los arroyos de la Buena Esperanza y Los Paredones.

En la segunda aplicación se supuso tiempos de concentración iguales en ambas cuencas, por los que el caudal total el inicio del tramo suma $82.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Basado en los caudales máximos dados por MRG, se toma como parámetro de control de los resultados a generar por el modelo HMS un caudal estimativo en el orden de los $75 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.4 GENERACIÓN DE HIDROGRAMAS DE PROYECTO

4.4.1 Modelo Hidrológico HEC-HMS

La obtención de los hidrogramas de escorrentía para lluvias de distintas recurrencias se obtuvo a través del Modelo HEC-HMS. Este modelo permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces. Las siglas HEC significan Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), del Centro de Investigación del U. S. Army Corps of Engineers, en Davis, California, donde fue desarrollado.

El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia – caudal mediante una simplificación de la realidad.

La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (versión 3.1.0), requiere de las siguientes especificaciones:

- El primer conjunto, llamado Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.
- El segundo conjunto llamado Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos en especial la precipitación y de la información requerida para procesarlos.
- El tercer conjunto, llamado Especificaciones de Control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

Modelo de Cuenca:

Con objeto de poder representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma, que refleje de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En dicha representación esquemática se utilizan generalmente diversos tipos de elementos, dentro de los cuales se desarrollan los procesos hidrológicos. En este sentido, el programa HEC-HMS incluye los siguientes elementos:

a). *Subcuenca*: Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe ningún flujo entrante y da lugar a un único flujo saliente, que es el que se genera en la subcuenca a partir de los datos meteorológicos, una vez descontadas las pérdidas de agua, transformado el exceso de precipitación en escorrentía superficial y añadido el flujo base. Se utiliza para representar cuencas vertientes de muy variado tamaño.

b) *Tramo de cauce*: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente. Los flujos entrantes, que provienen de otros elementos de la cuenca, tales como subcuencas u otros tramos de cauce, se suman antes de abordar el cálculo del flujo saliente. Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce el tránsito de un determinado hidrograma.

c) *Embalse*: Es un tipo de elemento que recibe uno o varios flujos entrantes, procedentes de otros elementos, y proporciona como resultado del cálculo un único flujo saliente. Se utiliza para poder representar fenómenos de laminación de avenidas en lagos y embalses.

d) *Confluencia*: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente dicha de ríos o arroyos, aunque ello no es imprescindible, ya que los flujos entrantes pueden proceder también de subcuencas parciales.

e) *Derivación*: Este tipo de elemento se caracteriza porque da lugar a dos flujos salientes, principal y derivado, procedentes de uno o más flujos entrantes. Se puede utilizar para representar la existencia de vertederos laterales que derivan el agua hacia canales o zonas de almacenamiento separadas del cauce propiamente dicho.

f). *Fuente*: Junto con la subcuenca, es una de las dos maneras de generar caudal en el modelo de cuenca. Se suele utilizar para representar condiciones de contorno en el extremo de aguas arriba, y el caudal considerado puede proceder del resultado del cálculo efectuado en otras cuencas.

g) *Sumidero*: Recibe uno o varios flujos entrantes y no da lugar a ningún flujo saliente. Este tipo de elemento puede ser utilizado para representar el punto más bajo de una cuenca endorreica o el punto de desagüe final de la cuenca en cuestión.

La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

Modelo Meteorológico:

Precipitación: por lo general la entrada a un sistema de cálculo es la precipitación ya sea de un evento histórico o uno hipotético con una probabilidad asociada.

Cuantificación de las pérdidas de agua: contempla diferentes alternativas:

- Establecimiento de un umbral de precipitación, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y una tasa constante de pérdidas por encima del citado umbral.

- Utilización del concepto de número de curva (CN), desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), teniendo en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo al episodio lluvioso que se considera.

- Método de Green y Ampt, que tiene en cuenta, entre otros, aspectos tales como la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.

- Modelo SMA (Soil Moisture Accounting), que permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y almacenamiento en diferentes zonas, y el escurrimiento superficial del exceso.

En cuanto a la evapotranspiración no se requiere de información cuando se simula eventos ya que este proceso se considera despreciable mientras ocurre una precipitación.

Determinación del hidrograma Unitario: El programa HEC-HMS contempla dos posibles alternativas, basadas en modelos de tipo empírico o conceptual, respectivamente.

Entre los modelos de tipo empírico, basados todos ellos, en mayor o menor medida, en el concepto de hidrograma unitario, propuesto originalmente por Sherman en 1932, el programa permite seleccionar uno de los siguientes:

- Hidrograma unitario definido por el usuario.
- Hidrograma sintético de Snyder.
- Hidrograma del Soil Conservation Service.
- Hidrograma de Clark (original y modificado).

Transito del hidrograma por el cauce: La agrupación de caudales de agua de diversa procedencia (superficial, etc.) en un punto de un cauce y su variación a lo largo del tiempo constituye un hidrograma. El discurrir de estos caudales hacia aguas abajo, a lo largo de un determinado tramo de cauce, da lugar a un nuevo hidrograma en el extremo de aguas abajo del mismo. El programa permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta la onda de crecida entre el inicio y final de un tramo de cauce:

- Modelo Lag.
- Modelo de Puls modificado.
- Modelo de Muskingum.
- Modelo de Muskingum-Cunge.
- Modelo de onda cinemática

Control del modelo:

Además de establecer un modelo de cuenca y un modelo meteorológico, es preciso definir, previamente a la ejecución del programa un conjunto de variables de control:

- Fecha y hora del comienzo del período de tiempo que se pretende analizar.
- Fecha y hora del final del período de tiempo que se pretende analizar.
- Incremento de tiempo de cálculo.

Es importante resaltar que esta estructuración del programa en tres bloques independientes es muy versátil, ya que permite representar diferentes situaciones de manera muy sencilla, sin más que realizar modificaciones en alguno de los bloques. Así, por ejemplo, se pueden tener diferentes modelos de cuenca, con distintos valores de parámetros, o modelos meteorológicos, correspondientes a distintas lluvias, o bien conjuntos de variables de control, con distintos períodos de tiempo o incrementos de tiempo de cálculo, todos susceptibles de ser combinados entre sí.

Con respecto al tiempo de cálculo, su valor está definido por el usuario y determina la resolución del modelo, es decir, el intervalo de tiempo en el que se proporcionan los resultados correspondientes a una determinada ejecución.

Aunque el rango de valores posibles se sitúa, en principio, entre 1 minuto y 24 horas, pueden existir restricciones directas o indirectas, en función del modelo concreto que se considere en la representación de algunos de los procesos.

La utilización del modelo de Muskingum para representar el tránsito de hidrogramas a lo largo de tramos de cauce introduce una restricción de tipo indirecto, en relación con el incremento de tiempo de cálculo. En este caso, con objeto de garantizar la precisión y la estabilidad de la solución, se recomienda dividir la longitud total del tramo de cauce considerado en una serie de subtramos, de manera que la longitud de cada uno coincida aproximadamente con la distancia recorrida por el flujo durante el incremento de tiempo de cálculo.

4.4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO.

Modelo de cuenca:

Lo primero que se definió fue la esquematización del sistema de la cuenca, del Arroyo Chicamtoltina que se corresponde con la subdivisión de las subcuencas tal como se definieron en el Capítulo 4.

El modelo se implementó con dos alternativas de discretización de las cuencas urbanas que drenan al tramo de estudio. Una, para obtener los hidrogramas de entrada y salida del tramo con ingreso lateral sin discretización de cuencas urbana; la otra, en función de los requerimientos del modelo hidráulico, o sea con ingreso de aportes laterales correspondientes a la discretización de las cuencas urbanas. Las Figuras 4.4 y 4.5 muestran respectivamente ambas alternativas.

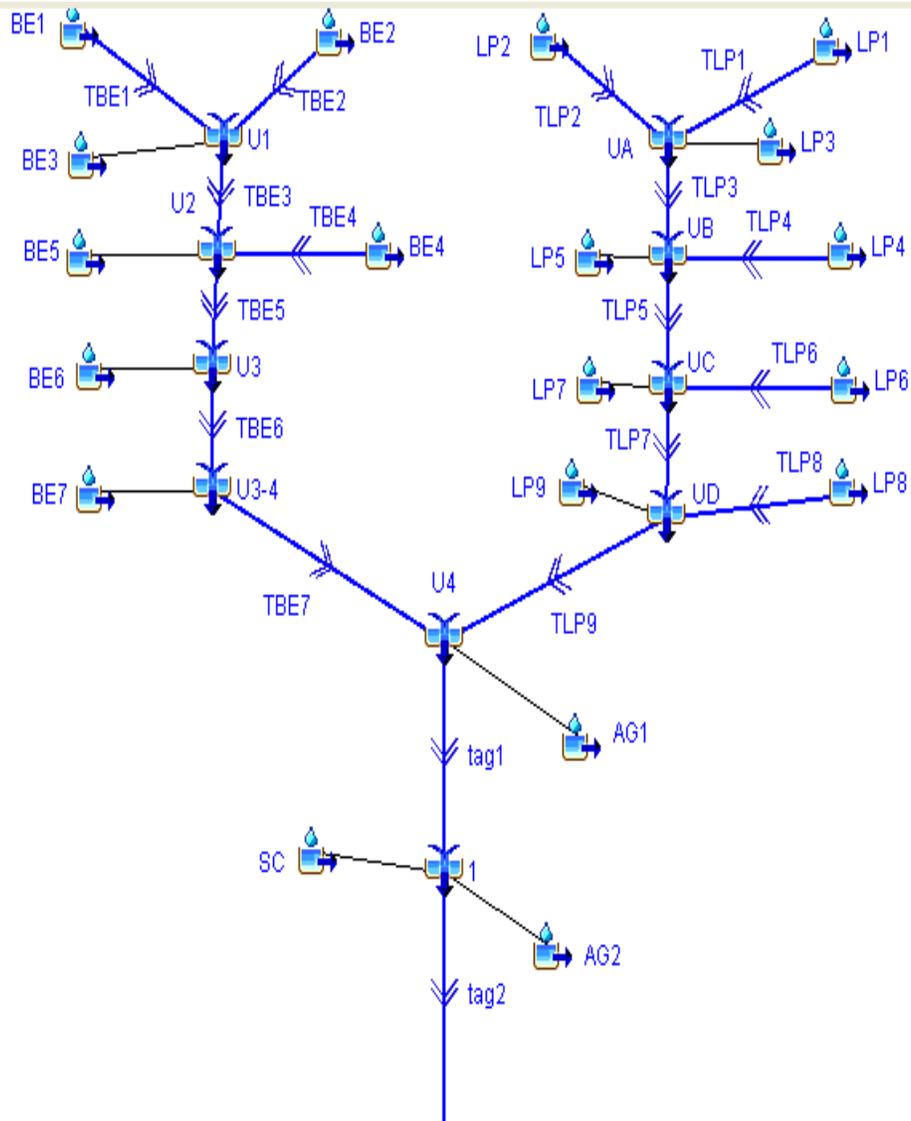


Figura 4.4: Esquematación de la cuenca sin discretización de cuencas urbanas

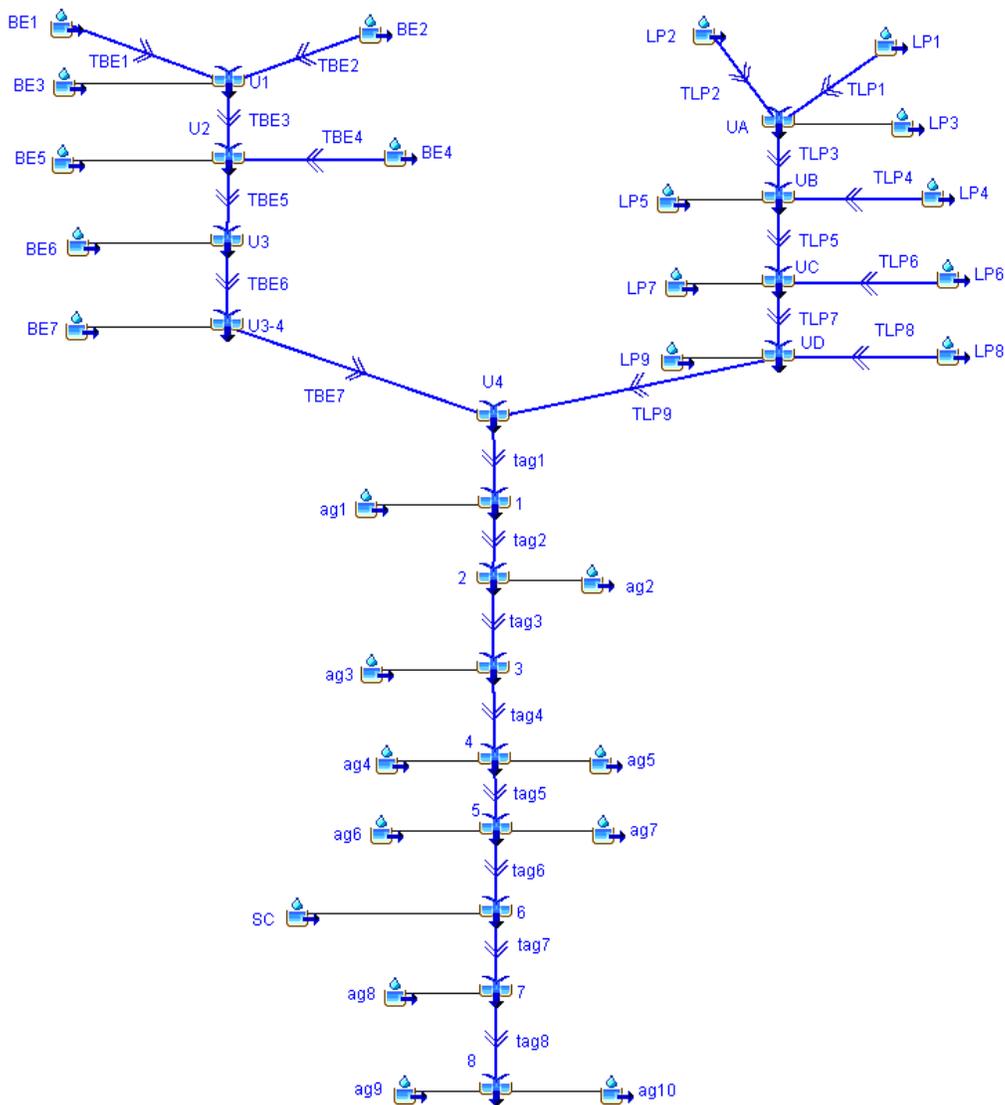


Figura 4.5: Esquematización de la cuenca con discretización de cuencas urbanas

Otros requerimientos exigidos por el modelo de cuenca son las áreas, los CN y los parámetros para el Hidrograma Unitario y el modelo de tránsito a utilizar. En este caso en particular fueron los Tlag que necesita el HU del SCS y los parámetros "k" y "x" del método de Muskingum, cuyos aspectos teóricos y conceptuales para determinarlos se dan el anexo A.4.

El Tlag o tiempo de retardo es el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación neta hasta el tiempo en que se produce el caudal pico en el hidrograma y es aproximadamente el 60% del tiempo de concentración.

$$T_{lag} = 0.60 \frac{L^2}{v}$$

Los valores de t_c fueron deducidos con la fórmula de Branby-Williams en cuencas rurales y la fórmula de Kirpich en las cuencas urbanas.

Los valores ingresados al modelo fueron: (Tablas 4.5 y 4.6):

Tabla 5. 5: Tiempo de retardo de cuencas rurales y urbanas sin discretización

Subcuencas rurales	Tlag [min]	Subcuencas rurales	Tlag [min]	Subcuencas urbanas	Tlag [min]
<i>Los Paredones</i>		<i>Buena Esperanza</i>		<i>Chicamtoltina</i>	
LP1	60.7	BE1	43.1	AG1	18.9
LP2	45.6	BE2	36.8	AG2	8.9
LP3	40.1	BE3	15.9		
LP4	53.0	BE4	51.3		
LP5	24.0	BE5	18.4		
LP6	47.8	BE6	88.1		
LP7	19.9	BE7	63.4		
LP8	26.4	<i>Santa Cruz</i>			
LP9	52.0	SC	40.0		

Tabla 4. 6: Tiempo de retardo de cuencas urbanas con discretización

Subcuencas urbanas	Tlag [min]	Subcuencas urbanas	Tlag [min]
<i>Chicamtoltina</i>			
ag1	3.2	ag6	5.4
ag2	12.1	ag7	13.7
ag3	4.2	ag8	3.1
ag4	5.9	ag9	3.2
ag5	3.0	ag10	4.6

En cuanto a los parámetros necesarios para el cálculo del tránsito por el método de Muskingum, se utilizó el siguiente procedimiento:

Para el tramo, con la longitud del curso de agua, el desnivel y la pendiente del curso, y adoptando un valor de $x = 0.2$ y $\Delta t = 10$ minutos, se obtuvo la velocidad media a través de la fórmula de Manning:

$$v = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n}$$

Donde v = velocidad media [m/s]

R = Radio hidráulico [m]

I = pendiente del cauce [m/m]

n = número de Manning

Estimando las variables hidráulicas en base a las características del tramo, siendo el radio hidráulico (R) promedio en el tramo de 1.03 m y la pendiente promedio de 0.0105 [m/m] y adoptando un valor de $n = 0.3$.

Luego se calcula la velocidad de onda como:

$$U = k \cdot v$$

Posteriormente el valor de k , que es la relación entre el almacenamiento y la descarga en horas, se calculó dividiendo la longitud del cauce principal por la velocidad de onda, o sea en este caso: $L = 2007.173$ m y $U = 5.15$ m/s

$$k[\text{seg}] = \frac{L}{U}$$

Luego se establece el límite superior del número de pasos, para el cálculo de los parámetros. Estas condiciones se obtienen de la siguiente manera:

$$C_1 = \frac{2 \cdot (1-x) \cdot 60 \cdot k}{\Delta t} \quad (4.7)$$

$$C_2 = \frac{2 \cdot x \cdot 60 \cdot k}{\Delta t} \quad (4.8)$$

Finalmente el número de pasos se obtiene de la siguiente manera:

$$\frac{1}{2 \cdot (1-x)} \leq \frac{60 \cdot k}{\Delta t \cdot N^{\circ} \text{ pasos}} \leq \frac{1}{2 \cdot x} \quad (4.9)$$

Por último los datos ingresados al modelo hidrológico para el tramo fueron:

$$\begin{aligned} N^{\circ} \text{ pasos} &= 1 \\ k &= 0.108 \\ x &= 0.2 \\ \Delta t &= 10 \text{ min} \end{aligned}$$

Para las cuencas rurales, debido a la falta de datos, se utilizó la siguiente fórmula para la velocidad:

$$v = 2 \cdot \sqrt{S}$$

Siendo S la pendiente del cauce.

Los valores calculados para el tránsito en correspondientes a los cursos de las cuencas rurales se dan en la Tabla 4.7:

Tabla 4.7: Valores de los parámetros de Muskingum para cursos rurales.

TRAMO	L (m)	H (m)	S (m/m)	N	K	X
TBE1	3521,5	350	0,09939	-	-	-
TBE2	3199,5	400	0,12502	-	-	-
TBE3	886,8	50	0,05638	-	-	-
TBE4	4272,8	450	0,10532	1	0,122	0,20
TBE5	1097,6	30	0,02733	-	-	-
TBE6	5617,6	30	0,00534	4	0,712	0,20
TBE7	3726,4	70	0,01878	2	0,252	0,20
TLP1	4916,8	435	0,08847	1	0,153	0,20
TLP2	3898,1	435	0,11159	1	0,108	0,20
TLP3	2938,2	120	0,04084	1	0,135	0,20
TLP4	4383	430	0,09811	1	0,130	0,20
TLP5	1274	36	0,02826	-	0,070	0,20
TLP6	3752,8	296	0,07887	1	0,124	0,20
TLP7	931,1	14	0,01504	-	-	-
TLP8	2108,2	215	0,10198	-	-	-
TLP9	2794,6	50	0,01789	-	-	-

Los tramos que no poseen valores en los parámetros de k y x se debe a que para el intervalo de tiempo de cálculo elegido no se cumplían las condiciones (4.7), (4.8) y (4.9) simultáneamente.

Modelo Meteorológico

Aquí la información ingresada es la que corresponde a las dadas para las lluvias de diseño. O sea, las láminas predichas por el Modelo DIT, posteriormente atenuadas con el modelo Coda y distribuidas temporalmente según un hietograma tipo.

Pero como el objetivo de este estudio es obtener hidrogramas de proyecto que tengan la misma probabilidad de ocurrencia que la lluvia dada, lo primero que se requiere es conocer la duración de la lluvia causal para las recurrencias preestablecidas de 25, 100 y 300 años.

Duración de la lluvia causal: en general para cuencas urbanas o cuencas rurales pequeñas e intermedias, la duración que se adopta suele ser igual o superior al tiempo de concentración. Sin embargo, como la finalidad última es obtener el valor de la máxima descarga posible tratando de identificar si existe una duración de lluvia causal del caudal pico que explique razonablemente el tiempo de respuesta de cada evento en la cuenca produciendo para la recurrencia

adoptada el mayor nivel a la salida de la cuenca se ensayó el siguiente procedimiento.

Con el modelo de cuenca ya implementado y con las lluvias de diseño predichas por el DIT (atenuadas y distribuidas) para T=25 años y para siete duraciones (30, 60, 90, 120, 180, 360, 720 y 1440 minutos) se obtuvieron los picos de los hidrogramas de respuesta correspondiente. A través de la correlación entre los caudales y la duración como se observa en la Figura 4.6.

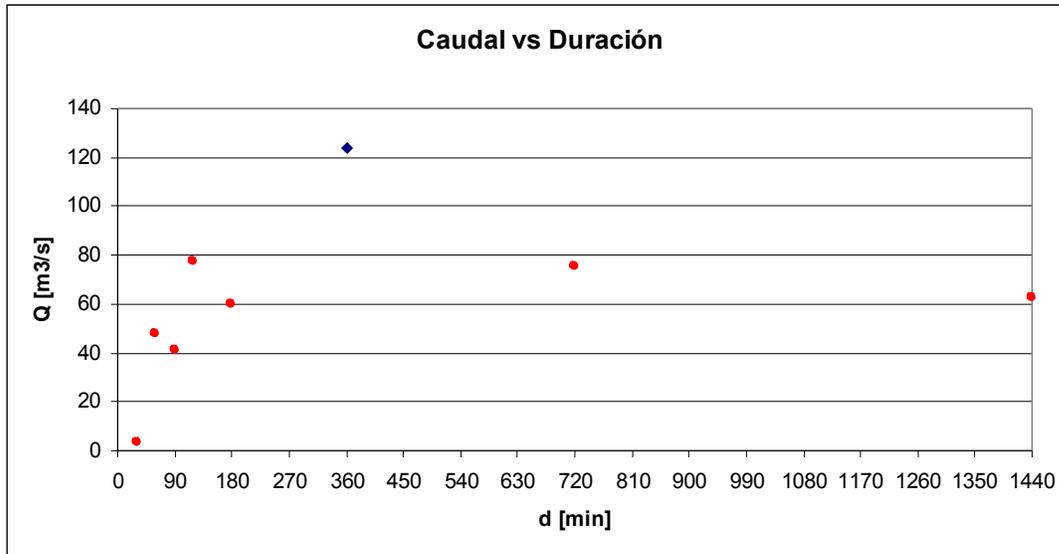


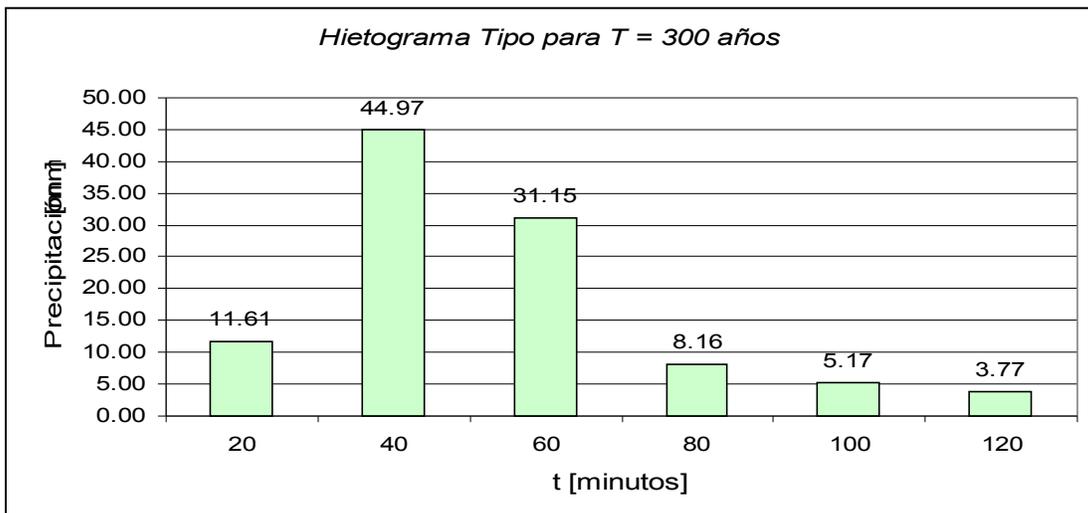
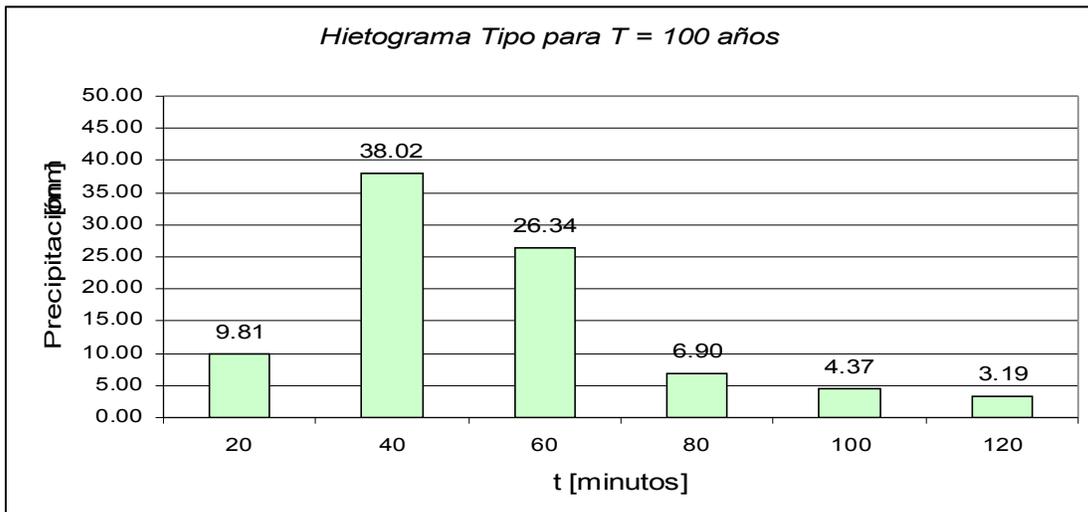
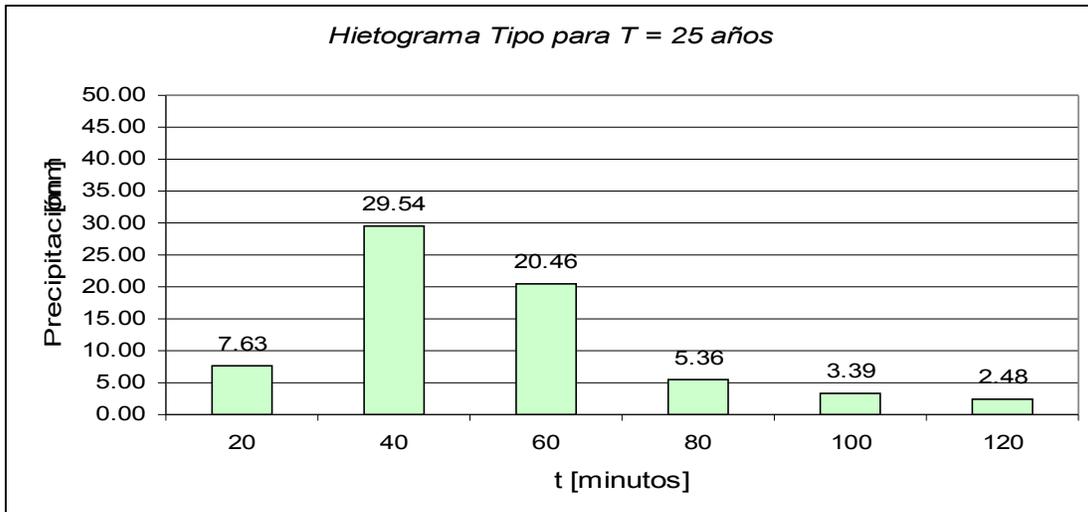
Figura 4.6: Análisis de respuesta de la cuenca para diferentes duraciones de lluvia

Se puede inferir que el valor máximo más confiable estaría dado para una duración de 120 minutos, ya que el valor para 360 minutos se considera fuera del rango más probable. Bajo esta concepción se adopta como duración de la lluvia causal 120 minutos.

Las intensidades y láminas predichas por DIT, y atenuadas por Coda se dan en la Tabla 4.8 y los hietogramas dimensionalizados en la Error: Reference source not found para los períodos de recurrencia de 25, 100 y 300, distribuidos temporalmente a través de hietogramas tipo adimensionales para la Zona Sierras.

Tabla 4.8: Intensidades y láminas obtenidas para d= 120 minutos

T (años)	Intensidad (mm/h)	Lámina (mm)	Lámina Atenuada (mm)
25	41.87	83.74	68.96
100	53.89	107.79	88.63
300	63.74	127.48	104.82



4.4.3 RESULTADOS DE LA MODELACION HIDROLOGICA

En las Láminas 04 y 05 (ver Anexo de Láminas), se observan los resultados obtenidos de la modelación hidrológica según la discretización realizada para el tramo urbano.

La primera configuración de cuenca contempla un total de 17 cuencas rurales y 2 urbanas mientras que en la segunda mantiene la cantidad de cuencas rurales y se incrementa el número de cuencas urbanas debido a la discretización de las mencionadas cuencas urbanas.

En las láminas se indican los hietogramas de lluvia total con la fracción de lluvia efectiva que surge de la aplicación del método de infiltración del SCS considerando distintos CN en las cuencas y los hidrogramas correspondiente obtenidos a partir de la convolución con el hidrograma unitario del SCS y transitado según los parámetros de Muskingum. También se observan los hidrogramas obtenidos al inicio del tramo del Arroyo Chicamtoltina, en el punto de ingreso del Arroyo Santa Cruz, al Arroyo Chicamtoltina y el hidrograma total en el cierre hidrológico para ambas configuraciones.

En las Tablas 4.9 y 4.10 se dan los caudales máximos para cada una de las subcuencas rurales y urbanas para ambas configuraciones adoptadas.

Tabla 4. 9: Caudales máximos en subcuencas rurales y urbanas sin discretizar.

Subcuencas	CAUDALES MAXIMOS EN LAS SUBCUENCAS RURALES Y URBANAS [m ³ /s]		
	T: 25 años	T: 100 años	T: 300 años
LP1	13.4	21.7	29.2
LP2	16.8	27.4	37.1
LP3	4.3	11.7	20.1
LP4	1.9	5.3	9.2
LP5	0.5	1.3	2.3
LP6	2.2	5.7	9.7
LP7	0.8	1.9	3.0
LP8	2.5	6.4	10.8
LP9	1.2	2.9	4.6
BE1	14.1	22.8	30.8
BE2	18.2	29.7	40.0
BE3	0.4	0.9	1.4
BE4	13.8	22.3	30.3
BE5	0.1	0.4	1.1
BE6	3.9	8.6	13.6
BE7	5.4	12.2	19.3
AG1	3.6	7.6	11.6
AG2	0.6	1.2	1.8
SC	8.0	15.6	23.0

Tabla 4.10: Caudales máximos en subcuencas urbanas discretizadas.

Subcuencas urbanas	CAUDALES MAXIMOS EN LAS SUBCUENCAS URBANAS [m ³ /s]		
	T: 25 años	T: 100 años	T: 300 años
ag1	0.3	0.6	0.8
ag2	1.6	3.1	4.7
ag3	0.4	0.8	1.1
ag4	0.7	1.4	2.1
ag5	0.5	1.0	1.4
ag6	0.3	0.6	0.8
ag7	1.1	2.2	3.3
ag8	0.2	0.4	0.6
ag9	0.2	0.3	0.5
ag10	0.4	0.7	1.0

En la Tabla 4.11 se dan los caudales pico ocurridos en el tramo de interés en el inicio del tramo, en el ingreso del arroyo Santa Cruz y en el punto de cierre hidrológico de la cuenca.

Tabla 4. 11: Caudales pico en el tramo de estudio

Configuraciones	Caudales Pico [m ³ /s]	
	Inicio del tramo	
	Sin discretización de cuencas urbanas	Con discretización de cuencas urbanas
T: 25 años	77.60	77.30
T: 100 años	139.10	138.10
T: 300 años	199.20	197.90
Configuraciones	Al ingreso del A° Santa Cruz	
	Sin discretización de cuencas urbanas	Con discretización de cuencas urbanas
	T: 25 años	81.40
T: 100 años	145.70	144.90
T: 300 años	209.00	207.60
Configuraciones	Cierre de la cuenca	
	Sin discretización de cuencas urbanas	Con discretización de cuencas urbanas
	T: 25 años	80.80
T: 100 años	145.20	144.20
T: 300 años	208.50	207.20

En el anexo A.5 se dan los caudales máximos de todas las cuencas para períodos de recurrencia de 25 a 500 años.

CAPITULO 5

DETERMINACION DE LINEAS DE INTERES LEGAL

5.1 INTRODUCCION

Con frecuencia los ríos y arroyos desbordan sus cauces de estiaje normales invadiendo terrenos a lo largo de sus márgenes, causando muchas veces daños y poniendo en riesgo a personas y bienes económicos. De allí que es necesario delimitar áreas inundables asociadas a distintos tirantes de los cursos naturales de agua. Algunos de esos límites tales como la Línea de Ribera y las Líneas de Riesgo Hídrico, deben ser definidos desde una perspectiva técnico – jurídica, ya que su determinación implica la toma de decisiones que deben ser analizadas desde esos puntos de vista.

La Línea de Ribera, es el límite que permite deslindar en los cursos de agua del dominio público del privado en terrenos ribereños demarcando así los deberes y derechos del estado y de los particulares.

En este capítulo se determinan líneas de interés legal, en especial la Línea de Ribera a través de la metodología vigente para la Provincia de Córdoba y a partir del tránsito hidráulico de asociados a distintas recurrencias.

5.2 RELEVAMIENTO TOPOGRAFICO

Para el trazado de estas líneas se requiere de un relevamiento topográfico de detalle tanto del cauce como de sus planicies de inundación.

El tramo del río Tercero o Ctalamochita de interés para el trazado de estas líneas tiene aproximadamente 600 metros de longitud aproximadamente, y no posee obras de interés en dicho tramo, está el tramo en estudio en plena zona urbana, siendo utilizados los terrenos de la costa para recreación (Fig. 5-1), con camping (Fig. 5-2), balnearios, paseos en la costanera (Fig. 5-3).



Figura 5-1 Recreación en el embalse



Figura 5-2 Camping en la orilla del embalse de la ciudad de Villa María



Figura 5-3 Paseo en la costanera de Villa María a orillas del embalse

Teniendo presente los aspectos meteorológicos dados en el Capítulo 2, realizaron relevamientos topográficos, midiendo perfiles transversales aproximadamente perpendiculares al curso principal del río, como así también la poligonal de apoyo. Para esto se utilizó como herramienta principal una Estación Total TOPCON, serie GST-300.

Se relevaron en total 22 perfiles cuyas distancias parciales y progresivas se dan en la TABLA 5.1

Tablas 5 – 1

Perfil Transversal	Distancia Parcial (m)	Distancia Acumulada (m)
1	33,65	33,65
2	13,65	47,30
3	13,56	60,86
4	13,54	89,04
5	14,64	104,47
6	15,43	120,36
7	15,89	139,65
8	19,29	177,83
9	38,18	203,70
10	35,87	226,91
11	23,21	245,44

Perfil Transversal	Distancia Parcial (m)	Distancia Acumulada (m)
12	18,53	195.548
13	23,78	218.376
14	12,27	238.760
15	10,03	242.918
16	23,79	266.929
17	22,24	271.740
18	19,98	305.748
19	10,22	312.297
20	9,67	312.452
21	9,78	311.796

En la Figura 5-4 se muestra uno de los 22 perfiles transversales obtenidos de los puntos relevados topográficamente. Las siglas MD y MI corresponden a Margen Derecha e Izquierda, con la particularidad que en la margen Izquierda en muchos perfiles transversales a lo largo de la costa esta indefinido.

M.I

M.D

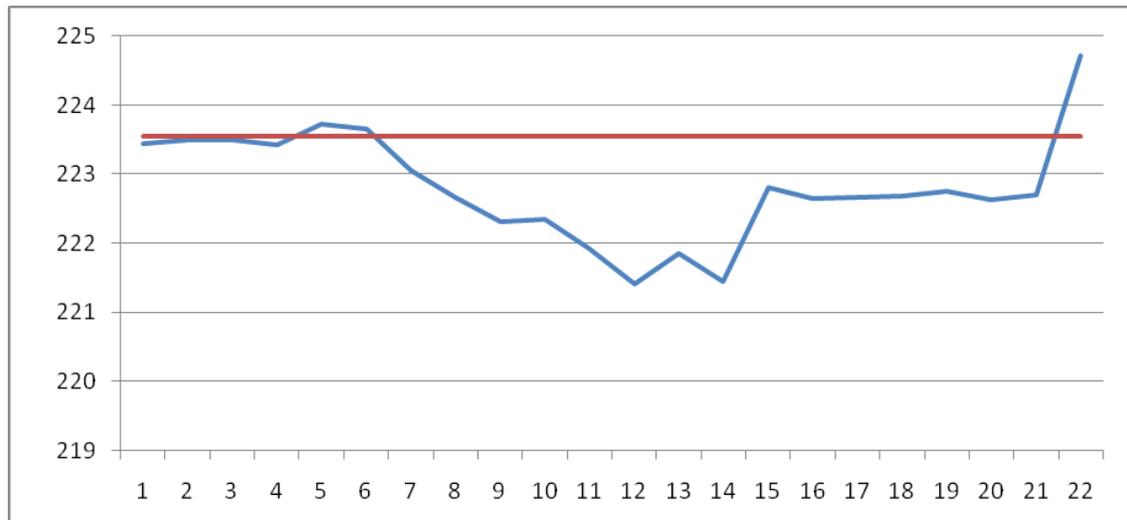


Figura 5-4 Perfil Transversal numero 1

5-3 APLICACION DE LA METODOLOGIA VIGENTE

Estimación de los niveles de Inundación – Formula de Hermanneck

Con la información obtenida y desarrollada, se puede calcular los niveles de inundación para los cuales los caudales estimados con una recurrencia de 25 años. La fórmula propuesta por Di.P.A.S para esta metodología, es la denominada formula de Hermanneck y se describe su procedimiento a continuación:

- Las variables son:

A_i = Área de paso inicial en m^2

A_f = Área de paso final en m^2

B = Ancho de pelo libre en m

i = Pendiente media de pelo de agua y eje de vaguada

H_m = Altura media en cada perfil transversal, en m

V = Velocidad, en m/seg

Q = Caudal en m^3/seg

Entre las hipótesis que toma como valida esta fórmula, se encuentra:

- El caudal es la única variable considerada constante entre dos perfiles transversales consecutivos.
- La pendiente media adoptada es la del pelo de agua, considerándola paralela a la pendiente media del eje de vaguada. Se asume que el flujo es uniforme

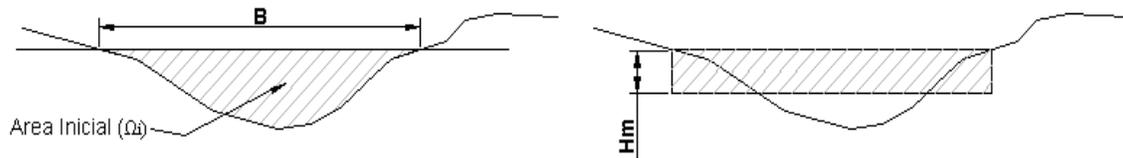


Figura 5 – 5 Esquema perfiles para formulación de Hermanneck

- Se calcula:

$$H_m \leq A_r / B$$

Luego existen tres formulas distintas para calcular la velocidad (V) con la que el flujo atraviesa el área final (Af) teniendo en cuenta los valores que pueden tomar Hm para la pendiente (i) del tramo.

- | | |
|--------------------------------------|--|
| a) Para $H_m \leq 1,50$ m | $V = 30,7 \times H_m \times i^{1/2}$ |
| b) Para $1,50$ m < $H_m \leq 6,00$ m | $V = 34 \times H_m^{1/3} \times i^{1/2}$ |
| c) Para $6,00$ m > H_m | $V = 44,5 \times H_m^{0,6} \times i^{1/2}$ |
| d) También se puede utilizar | $V = (50,2 + H_m/2) \times H_m^{1/2} \times i^{1/2}$ |

Luego se calcula el área de paso final (A_f) con el caudal (Q) y la velocidad (V) antes obtenida. De esta forma quedaría:

$$Q \text{ (m}^3/\text{seg)} = A_f \text{ (m}^2) \times V \text{ (m/seg)} \Rightarrow A_f = Q/V$$

Si $A_i = A_f$, se considera que el perfil esta calculado. En caso contrario se aumenta o disminuye el nivel del pelo de agua y se comienza nuevamente a calcular H_m .

Repitiendo este procedimiento tramo a tramo se obtiene en cada perfil transversal el nivel de agua correspondiente al caudal y recurrencia establecida en este procedimiento (Ver tabla 5 – 2).

Pendiente i =

Caudal Q (m³/s) =

Perfil	B	V _i	H _m	Velocidad	Q de paso	Diferencia
--------	---	----------------	----------------	-----------	-----------	------------

1	Ancho de Boca de la Sección Propuesta	Área inicial de la Sección Propuesta	Altura media = $H_m = \frac{1}{2} i / B$	$H_m \leq 1.50 \text{ m. ; } V = 30.7 \times H_m \times i^{1/2}$	$\frac{1}{2} 1.50 \text{ m.} < H_m \leq 6.00 \text{ m. ;}$	$H_m > 6.00 \text{ m. ; } V = 44.5 \times H_m 0.6 \times i 0.5$	$Q_{(paso)} = \frac{1}{2} i \times V$	$Q_{(paso)} - Q \leq 0.01 Q$
2								
3								
n								

Tabla 5 – 2 Resumen para el procedimiento para la Formula de Hermanneck

De la aplicación de esta fórmula surgen los niveles de agua en los perfiles como se muestran en la Tabla 5 – 3.

El caudal de inicio del tramo es de 1137 (m³/s) (Tabla 5-11) y contempla no solo el proveniente del Rio Tercero (Ctalamochita), sino también de las cuencas urbanas que aportan directamente sobre el curso de agua y que quedan definidas aguas abajo. En el punto que se analiza en este trabajo que es sobre el Rio Tercero a la entrada a la ciudad de Villa María, el caudal de referencia que suministra la Di.P.A.S es Q = 1137 (m³/seg).

Tabla 5 – 3 Aplicación del Método de Hermanneck

Los perfiles transversales se muestran en el Plano 2 y 3 en la parte de planos

Perfil	B	Área Inicial	Hm	Velocidad	Q de paso	Diferencia		
0	170,822	309,550	1,812	3,679	1138,861	1,861		Bajar
100	167,750	306,980	1,830	3,706	1137,746	0,746		Bajar
130	164,376	304,728	1,854	3,742	1140,427	3,427		Bajar
160	163,873	304,382	1,857	3,748	1140,781	3,781		Bajar
200	198,360	329,981	1,664	3,450	1138,583	1,583		Bajar
225	186,280	321,111	1,724	3,544	1137,945	0,945		Bajar
250	194,010	326,251	1,682	3,479	1134,873	-2,127		Subir
275	214,046	340,897	1,593	3,340	1138,439	1,439		Bajar
300	205,190	334,550	1,630	3,399	1137,075	0,075		Bajar
330	178,850	316,858	1,772	3,617	1146,162	9,162		Bajar
360	196,942	328,877	1,670	3,460	1138,032	1,032		Bajar
400	195,548	327,548	1,675	3,468	1136,032	-0,968		Subir
425	218,376	343,600	1,573	3,309	1137,074	0,074		Bajar
450	238,760	356,081	1,491	3,172	1129,523	-7,477		Subir
475	242,918	360,348	1,483	3,155	1136,956	-0,044		Subir
500	266,929	377,745	1,415	3,010	1137,001	0,001		Bajar
530	271,740	381,127	1,403	2,983	1136,959	-0,041		Subir
560	305,748	404,267	1,322	2,812	1136,925	-0,075		Subir
600	312,297	408,596	1,308	2,783	1137,050	0,050		Bajar
630	312,452	408,694	1,308	2,782	1137,031	0,031		Bajar
660	311,796	408,250	1,309	2,785	1136,949	-0,051		Subir
700	311,361	408,002	1,310	2,787	1137,154	0,154		Bajar

al final de este trabajo.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES.

Los antecedentes técnicos y legales revisados sobre la estimación de umbrales de inundación, a pesar de sus distintas concepciones, facilitó encarar e

implementar una metodología hidrológica e hidráulica adecuada para definir los niveles de interés legal como son las Líneas de Ribera y de Riesgo Hídrico.

La caracterización del sistema físico a partir de índices morfométricos y parámetros físico-hidrológicos, permitió inferir que los escurrimientos generados por una lluvia se encauzan rápidamente, con gran velocidad de evacuación y alta probabilidad de que el pico máximo de la creciente se produzca en menor tiempo. La red de drenaje está bien definida por pertenecer a un terreno de alta pendiente, presentando un relieve montañoso en la zona alta de la cuenca y el resto un relieve ondulado de transición hacia la planicie. El tramo en estudio presenta un curso de trazo estable por los controles de obras y la geomorfologicos.

Por la ausencia de registros hidrométricos en la cuenca (cuenca no aforada), el trazado de la línea de ribera y las de riesgo hídrico, exigieron predecir lluvias de diseño que, al alimentar un modelo hidrológico lluvia-caudal, proveyeron los hidrogramas de proyecto para las recurrencias de interés.

La técnica utilizada en la predicción de las lluvias de diseño fue especialmente desarrollada y calibrada recientemente para la provincia de Córdoba. Su eficacia y representatividad ha sido comprobada en numerosas aplicaciones en la región. De manera que los resultados alcanzados sobre lluvias máximas de distintas recurrencias, garantizan el comportamiento de las lluvias críticas en esta cuenca.

Los valores de CN obtenidos en las subcuencas están basados en una tabla que refleja las características de suelos y vegetación propias para cuencas serranas de la provincia, permitiendo una mejor aplicación del método de infiltración del SCS.

La aplicación del Método Racional Generalizado brindó una aproximación del caudal estimativo en la cuenca con la utilización de intensidades dadas por el modelo DIT.

La utilización de modelos como HEC-HMS y HEC-RAS para representar la transformación lluvia-caudal y el tránsito de hidrogramas en el cauce, además de contar con antecedentes satisfactorios para estudios de este tipo en la Provincia de Córdoba, son herramientas de libre uso, versátiles y de fácil aplicación.

Los resultados de la modelación hidrológica referidos a la zona urbana bajo los dos enfoques analizados permiten inferir que no existe una variación significativa en los hidrogramas dados en el cierre de la cuenca realizando una mayor discretización de las subcuencas urbanas desde el punto de vista hidrológico. El motivo de tal discretización se realizó para poder ingresar caudales entre los perfiles relevados en el modelo hidrológico.

A partir de la determinación de los niveles de agua para una recurrencia de 25 años, se deberán modificar las normativas locales que restringen el dominio de las tierras que son cubiertas por estos niveles debido a los aspectos dinámicos hidráulicos no considerados en las ordenanzas vigentes. Para recurrencias mayores como son las de líneas de riesgo analizadas, se deberá comunicar a los propietarios de las construcciones que podrían ser

alcanzadas por ellas del riesgo que corren y controlar el uso de las tierras que aun no son ocupadas para evitar el asentamiento permanente en dichas zonas.

Además se deberán realizar mediciones hidrometeorológicas e hidrométricas en las cuencas y cursos permanentes para poder tener registros del comportamiento del sistema que influye sobre el Arroyo Chicamtoltina. Con el tiempo esto permitiría entender aun más las variaciones de todo el sistema y ajustar los resultados que en este trabajo se presentan con las metodologías aplicadas.