

SUSTENTABILIDAD HIDROLÓGICA DE URBANIZACIONES EN PEDEMONTE

Jorge A. Maza, Víctor Burgos, Patricia López, Verónica Benegas

Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino
Belgrano 210 M5500FIF Mendoza. TeleFax: 0261 428 8251 E-mail: cra@ina.gov.ar

RESUMEN

Se han verificado las implicancias desfavorables, que producen las urbanizaciones de tipo convencional en el pedemonte del Gran Mendoza, en el escurrimiento pluvial en la zona urbana de aguas abajo, ya que generan caudales en un 91 % superior a los que produce la cuenca en su estado natural.

También el estudio ha permitido comprobar, a través de un diseño urbanístico no convencional, que las condiciones hidrológicas así generadas mejoran sustancialmente ya que el porcentaje mencionado baja al 16 %.

Luego de una amplia revisión bibliográfica sobre reglamentaciones y códigos de urbanización en pedemonte este diseño urbanístico no convencional fue modificado en su desarrollo de manera tal que se ajustara a pautas como:

- Desarrollo de calles siguiendo el contorno del terreno.
- Cantidad de lotes o viviendas en proporción inversa a la pendiente natural.
- Desagüe pluvial de las viviendas dirigido al propio lote para su infiltración.
- Aplicación de un índice de fragilidad del territorio en función de parámetros de infiltración, pendiente natural del terreno y distancia a cauces.
- Ubicación estratégica de embalses de retención en excavaciones.

Estas condiciones permitieron lograr una respuesta hidrológica tal, que el escurrimiento generado por una tormenta con TR=5 años, fuera igual al que se generaría en la cuenca natural.

El proyecto para su desarrollo utilizó cartografía digitalizada, fotografía aérea, imagen satelital, sistema de información geográfica, modelo digital de terreno y modelos matemáticos de simulación hidrológica.

El estudio culmina con una propuesta de pautas de sustentabilidad hidrológica para la urbanización del pedemonte del Gran Mendoza.

Palabras clave: urbanización – pedemonte – hidrología urbana

INTRODUCCIÓN

La situación del drenaje pluvial urbano de Mendoza se ha agravado en los últimos años por la excesiva urbanización especulativa y sin criterio urbanístico que se ha llevado a cabo en las primeras estribaciones pedemontanas.

Tales urbanizaciones se han realizado con igual criterio al de las planicies: en forma de damero y, lamentablemente, con calles en dirección de la máxima pendiente, lo cual ha producido un aumento notable de los volúmenes de los escurrimientos pluviales y la disminución de los tiempos de concentración con el consecuente aumento de caudales.

Es decir que ante la presencia de lluvias de igual intensidad, el problema se va agravando, ya que una lluvia de 20 mm en media hora, que en Mendoza hace 30 años producía pocos problemas de crecientes, causa hoy, en cambio, serios inconvenientes (Maza, J. et al., 1994).

Para la construcción de barrios con la forma descrita se realizaron grandes movimientos de tierra que modificaron las redes de drenaje natural de las cuencas lo cual produjo alteraciones en las direcciones del flujo de escurrimiento para los cuales estaba diseñado el sistema de desagües de aguas abajo. Así ahora existen canales que reciben muy poco escurrimiento y otros que se encuentran colapsados en su capacidad.

Esos grandes movimientos de tierra también afectaron considerablemente no solo al paisaje natural, tan valioso para el sentir de los pobladores locales, sino también la flora y fauna autóctona.

Necesidad de sustentabilidad hidrológica

Las laderas pedemontanas poseen problemas que son únicos para la construcción y mantenimiento de asentamientos humanos. Están expuestos a peligros naturales, y topográficamente limitan el diseño de las urbanizaciones. Por esto, los terrenos del pedemonte frecuentemente permanecen sin acciones durante largo tiempo mientras las tierras adyacentes de la planicie se urbanizan (Olshansky, R.B., 1996).

A pesar de las limitaciones, son lugares atractivos para vivir por las vistas que poseen y por el hecho de estar cerca de la naturaleza. Pero la urbanización excesiva puede disminuir las mismas vistas y deteriorar el hábitat de fauna y flora silvestre que los residentes valoran.

La regulación del pedemonte generalmente podría tomar uno de los siguientes tres enfoques filosóficos:

- El primer enfoque está en usar técnicas ingenieriles para, virtualmente, eliminar todos los peligros a la seguridad pública. Esto se realiza frecuentemente por medio de la reconstrucción completa de pendientes siguiendo los estándares de ingeniería.
- El segundo enfoque es el de realizar una nivelación selectiva, mejoramientos en el drenaje, y la revegetación a fin de lograr los objetivos públicos de seguridad reteniendo algunos aspectos naturales valiosos del pedemonte.
- El tercer enfoque es prohibir la urbanización del pedemonte por el valor de su recurso natural y a causa de la desconfianza de las soluciones ingenieriles.

La comunidad necesita escoger cuidadosamente entre estos enfoques; ya que permitir la urbanización intensa del pedemonte puede cambiar el carácter de una comunidad. En la práctica, la mayoría de las planificaciones y ordenanzas contienen elementos de estos tres enfoques. Esto puede ser problemático porque los razonamientos subyacentes en estos enfoques pueden conflictuar a uno con el otro. Muchas comunidades han encontrado que es posible, aunque no fácil, combinar selectivamente partes de los tres enfoques. Emprendimientos de urbanizaciones han encontrado maneras para acomodar exitosamente accesos y estructuras sin hacer peligrar la estabilidad del lugar, el aspecto visual y los valores ecológicos.

Dado el criterio que está siendo aplicado para la regulación del uso del suelo por el derecho de propietarios privados, los gobiernos necesitan dar una atención especial a los contenidos de sus ordenanzas y a los diseños de las soluciones para paliar los problemas.

Los estándares, lineamientos y criterios que debieran ser contemplados deben incluir pero no limitarse a lo siguiente:

- protección al público de peligros naturales de escurrimiento pluvial y erosión.
- minimizar la posibilidad y daños consecuentes del fuego en áreas pedemontanas.
- preservar el ambiente, el hábitat natural y el espacio abierto.
- preservar el acceso público a las áreas pedemontanas y canales naturales de drenaje.
- preservar las características topográficas naturales tales como canales, cauces, altas cumbres, vistas, árboles y otras formaciones vegetales naturales.
- asegurar un adecuado sistema de transporte para las áreas de montaña. El diseño del sistema debe considerar densidades y topografía minimizando movimientos de tierra.
- alentar una variedad de urbanizaciones, diseños y conceptos compatibles con el ambiente natural del área de montaña para preservar el paisaje natural.
- establecer criterios de manejo de uso del suelo que sustenten la protección de elementos naturales permitiendo urbanizaciones armoniosas.

ESTUDIO EN EL PEDEMONTE DEL GRAN MENDOZA

La implementación de la metodología se ha llevado a cabo en un sector del pedemonte del Gran Mendoza donde una empresa inmobiliaria ha propuesto una urbanización (Figuras 1 y 2) (UTN-Fac. Reg. Mendoza, 1998). Tal sector está limitado al Norte con el barrio denominado La Estanzuela, al Oeste y al Sur con otras cuencas del pedemonte y al Este con el Corredor del Oeste.

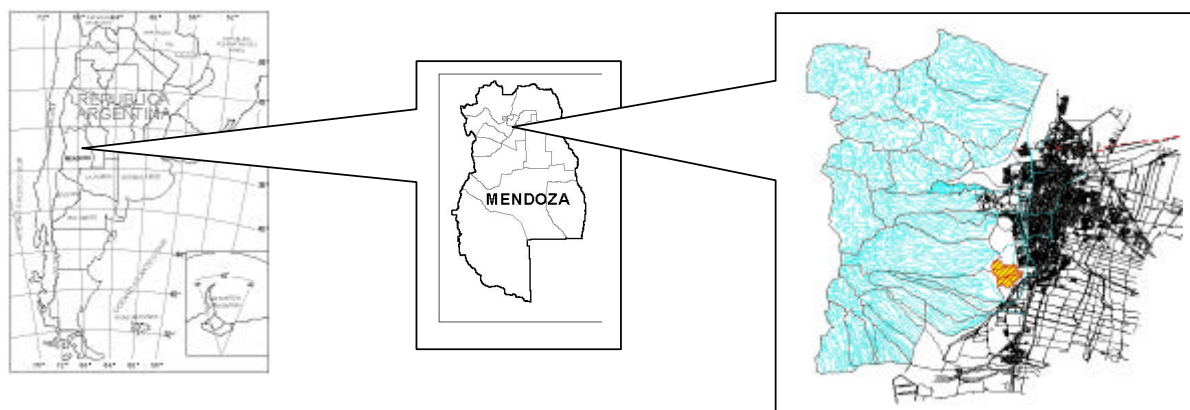


Figura 1. Ubicación relativa

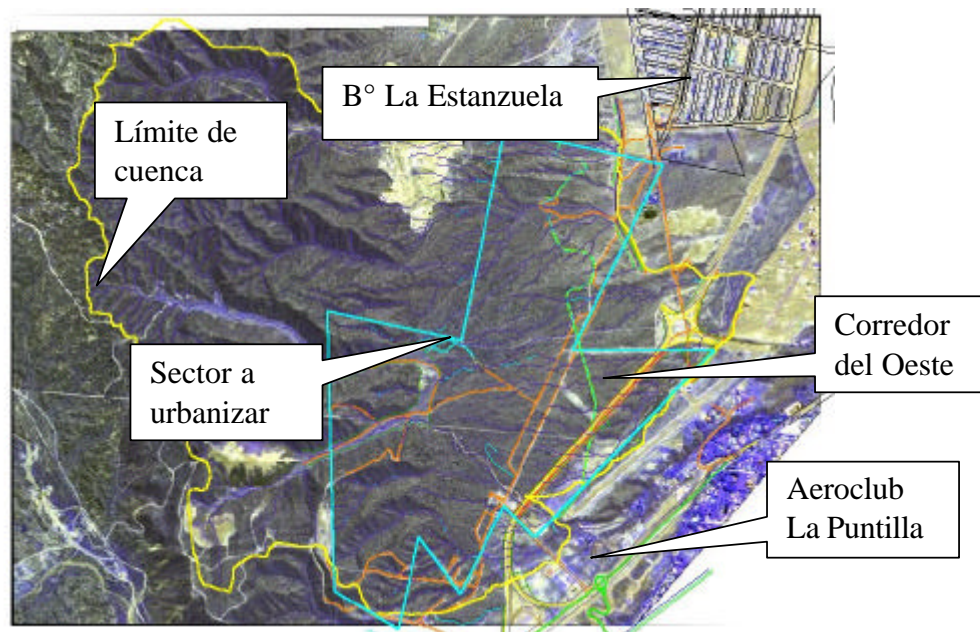


Figura 2. Ubicación relativa con cuenca de estudio y límites de urbanización

La metodología se desarrolló, en líneas generales, con el objetivo de encontrar una tipología urbanística de bajo impacto hidrológico, es decir cuyos escurrimientos sean iguales o menores a los que se generan en la cuenca en su estado natural. Para ello se generaron y analizaron los siguientes escenarios:

- Escenario 1: cuencas en estado natural.
- Escenario 2: urbanización de tipo no convencional (de bajo impacto hidrológico).
- Escenario 3: urbanización de tipo convencional (de alto impacto hidrológico).
- Escenario 4: es el Escenario 2 con restricciones de cantidad de lotes.
- Escenario 5: es el Escenario 2 con restricciones de cantidad de lotes y embalses de detención.

Implementación del S.I.G y M.D.E

En cuencas no aforadas, la cuantificación de los recursos hídricos y de las avenidas máximas ha de basarse en las características propias de las mismas, como su geomorfología, tipos de suelos, usos y aprovechamientos, etc., y en las variables meteorológicas que las afectan, como la precipitación y la evapotranspiración. El tratamiento de las cuencas no aforadas a partir de los datos mencionados ofrece una nueva dimensión con la aparición comercial de sistemas de adquisición de datos mediante sensores remotos y de Sistemas de Información Geográfica (SIG) potentes. Los primeros facilitan la adquisición de la información de la zona de estudio, mientras que los segundos ofrecen grandes posibilidades en el manejo de dicha información y en la simulación de los procesos hidrológicos mediante modelos (Burgos, V., 2005).

La cartografía temática de cobertura y ocupación de la tierra con información espacial actualizada se ha integrado en ambiente S.I.G. a otras capas de información tales como red hidrográfica y subcuencas hídricas, infraestructura vial y férrea, límites político-administrativos e información topográfica, requeridas para modelado espacial y como base para estudios hidrológicos multi-escenarios de manera de calificar y comparar la incidencia hidrológica de dos metodologías

de urbanización. Se ha integrado información vectorial y raster utilizando los sistemas Woditem (Univ. de Padova) y ArcView Gis® con sus extensiones Spatial Analyst® , 3D Analyst® e Image Análisis.®

Modelo Digital de Elevaciones

Mediante la digitalización de curvas de nivel del relevamiento aerofotogramétrico realizado por la Dirección Provincial de Catastro de Mendoza en 1970 de todo el pedemonte mendocino con una equidistancia de 5m en escala 1:5000 y las proporcionadas por una digitalización de una restitución fotogramétrica de 1999 con equidistancia de 1m a escala 1:2500, se logró confeccionar el modelo digital de elevaciones del área de estudio (Figura 3).

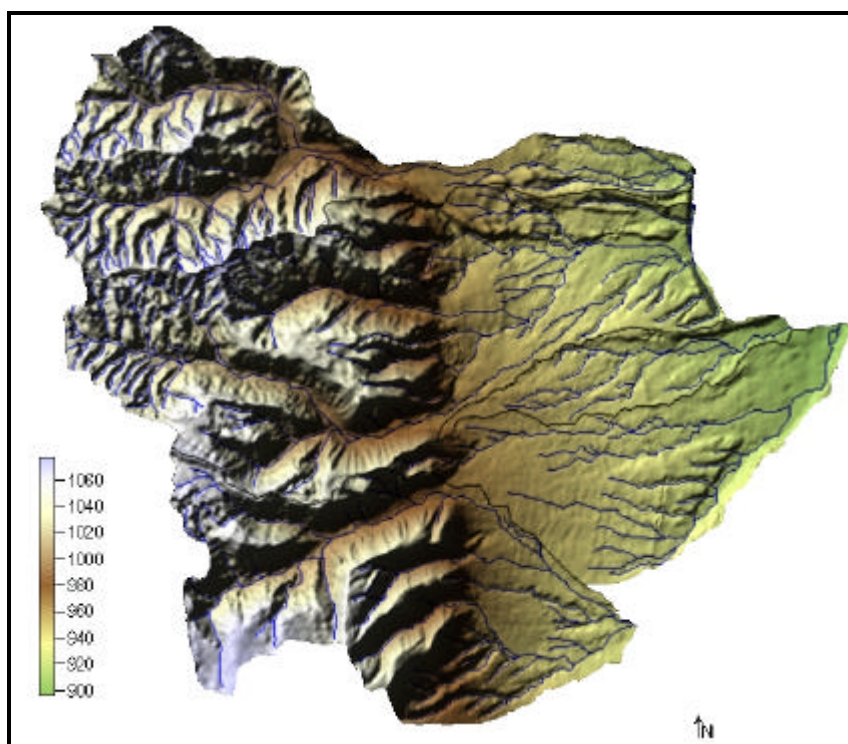


Figura 3. Modelo Digital de Elevaciones (DEM)

Toda la información se almacenó en un SIG, el cual permitió realizar análisis geomorfométricos tales como pendientes, longitudes y jerarquía de cauces, perímetros, diferencias de altura, etc, de forma de confeccionar la tabla de parámetros morfométricos de cada cuenca.

DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS EN ESCENARIO 1: CUENCA EN ESTADO NATURAL

El área total de la cuenca de estudio tiene 5,43 km² y a partir de las curvas de nivel se delimitó manualmente las subcuencas, resultando en una división de 5 subcuencas que oscilan entre los 0,3 km² y 2 km² (Figura 4).

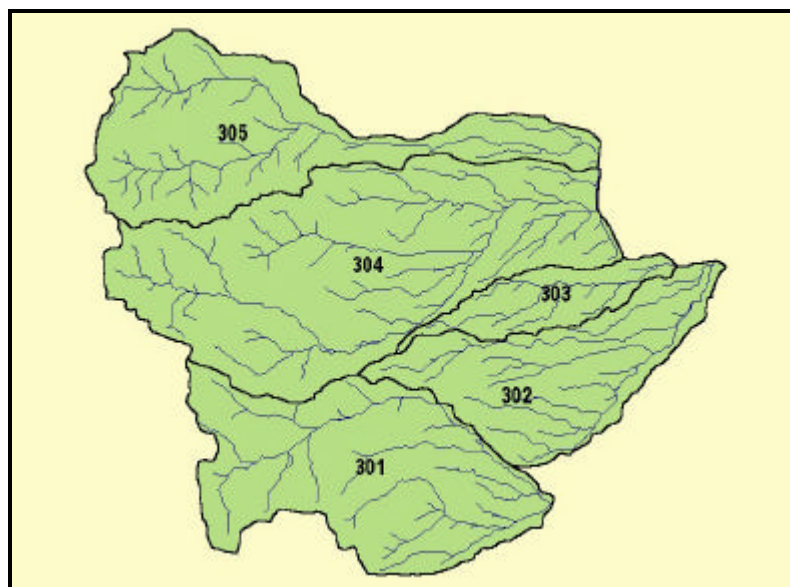


Figura 4. Mapa de Cuencas Rurales

El primer resultado de análisis de los datos espacialmente referenciados fue el de los parámetros morfométricos de las cuencas en estado natural (Tabla 1) que fueron datos de entrada a los modelos hidrológicos.

Tabla 1. Parámetros morfométricos del Escenario 1

Sub cuenca	Area [Km ²]	Perim. [m]	Long. Cauce [m]	cota max cauce [m]	cota min cauce [m]	cota max cuenca	cota min cuenca	DH [m]	Pend. cauce [m/m]
301	1.263	5753	2449	1070	928	1078	928	142	0.058
302	0.808	4881	2159	1010	896	1035	896	114	0.053
303	0.287	3431	1443	962	903	995	903	59	0.041
304	1.935	7046	3310	1045	911	1075	911	134	0.040
305	1.130	6827	2987	1040	911	1075	911	129	0.043
Total	5.424								

Otra de las determinaciones realizadas fue el de derivar el mapa de elevaciones en un mapa de pendientes (Figura 11), el cual se utilizó para restringir zonas de loteos.

Determinación del CN (metodología del U.S. Soil Conservation Service)

La determinación del número de curva (CN) de cada escenario se llevó a cabo en forma distribuida utilizando una tabla de clasificación. El cruzamiento de los mapas de cobertura vegetal (en analogía al uso del suelo) y el de clase hidrológica de suelos se llevó a cabo dentro del SIG.

Por medio de la interpretación de una imagen Ikono del año 2001 (Figura 2), se pudo obtener el estado actual o uso del suelo de la cuenca. Se detectaron tres clases de cobertura vegetal

(monte natural de poca y media cobertura herbácea y suelos desnudos o zonas de alta impermeabilidad).

El procesamiento digital de la imagen satelital se llevó a cabo dentro del mismo SIG, con la extensión Image Analysis del paquete ArcView GIS ®. Luego de rectificar la imagen se obtuvo una clasificación no supervisada de tres categorías utilizando como máscara el borde de cuenca.

El resultado obtenido fue un mapa de cobertura vegetal utilizado como uso de suelo para el cálculo del CN distribuido.

El mapa de clasificación hidrológica de suelos se llevó a cabo por medio de un cruzamiento espacial entre los mapas de pendientes, red hidrográfica y tipo de suelo.

El mapa de valores distribuido de CN se muestra en Figura 10 y los valores medios por cuenca en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de CN medios por cuenca

Sub cuenca	Area [Km ²]	CN
301	1.263	76.0
302	0.808	71.8
303	0.287	69.7
304	1.935	75.6
305	1.130	77.5
Total	5.424	75.2

Tormenta de Diseño

Se aplicó para el modelado hidrológico la tormenta de diseño para Mendoza, desarrollada por el Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino, (INA-CRA), para los tiempos de recurrencia 2, 5 y 10 años.

Las láminas de precipitación, sin decaimiento areal, utilizadas en todas las modelaciones hidrológicas fueron las de la Tabla 3.

Tabla 3. Láminas de precipitación

Duración [min]	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	Total
TR= 2	1.8	1.0	3.7	6.6	9.0	12.4	5.1	2.4	0.7	0.2	0.0	0.0	42.9
TR= 5	2.5	1.4	5.2	9.2	12.5	17.3	7.1	3.3	1.0	0.3	0.1	0.1	60.0
TR= 10	2.9	1.7	6.1	10.8	14.7	20.2	8.4	3.9	1.1	0.4	0.1	0.1	70.4

Modelación con ARHYMO

El modelo ARHYMO es un modelo determinístico de parámetros concentrados que fue ampliamente utilizado en Argentina desde 1993 (Maza, J. et al., 1993). En este proyecto se utilizó la nueva versión en entorno MS-Windows (Fornero, L. et al., 2002).

Como datos de entrada se utilizó la planilla de parámetros morfométricos (Tabla 1), la planilla de los valores de CN medios por cuenca (Tabla 2) y los hietogramas de precipitación de la tormenta de proyecto (Tabla 3) afectados por la reducción areal en función del área de las cuencas.

Mediante el uso combinado de SIG y el modelo HEC-HMS (Burgos, V., 2005) se determinaron los hidrogramas unitarios de Clark para cada una de las cuencas naturales y se obtuvieron ecuaciones de calibración de los parámetros morfométricos de ARHYMO: K (recesión) y TPU (tiempo al pico unitario), verificando en los hidrogramas de salida el ajuste con respecto al hidrograma calculado por método de Clark. Se puede apreciar en la Tabla 4 los buenos resultados de la calibración para el Escenario 1 y los tiempos de recurrencia empleados. En la Figura 5 se muestran los hidrogramas generados por ARHYMO para cada tiempo de retorno en el punto de recolección del escurrimiento (Nodo 100).

Tabla 4. Resultados de la aplicación del método de Clark y el modelo ARHYMO calibrado para el Escenario 1

		Clark	ARHYMO
TR=2	Qp (m ³ /s)	19.29	18.89
	Tp (hs)	0.83	0.85
	V (Hm ³)	0.043	0.044
TR=5	Qp (m ³ /s)	40.28	40.10
	Tp (hs)	0.83	0.84
	V (Hm ³)	0.090	0.091
TR=10	Qp (m ³ /s)	54.61	55.32
	Tp (hs)	0.83	0.84
	V (Hm ³)	0.123	0.140

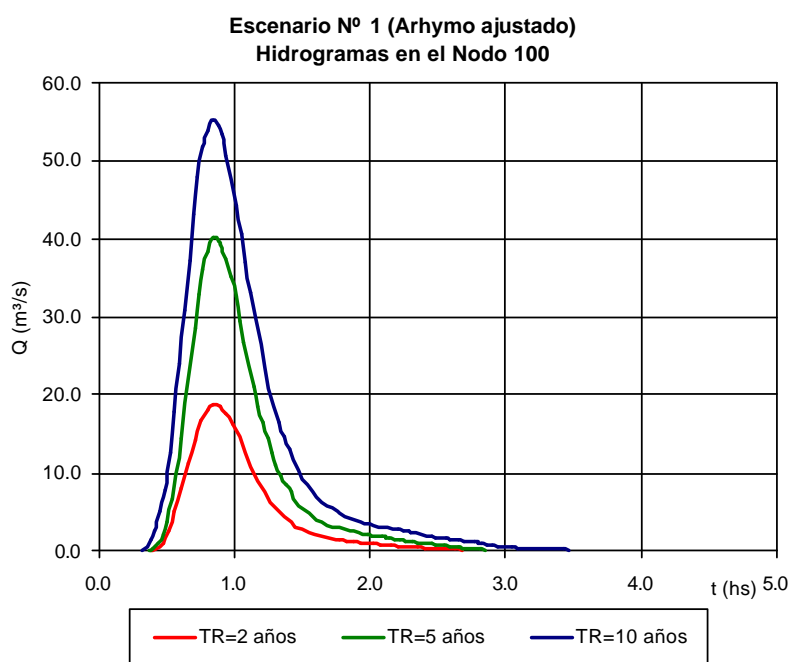


Figura 5. Hidrogramas de salida en ARHYMO para el nodo N100 en el Escenario 1

DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS EN ESCENARIO 2: LOTEEO NO CONVENCIONAL

Se eligió parcialmente como base de este escenario el diseño de loteo denominado *Palmares Valley* (Figura 6) presentado en asamblea pública para la consideración del estudio de impacto ambiental (UTN-FRM, 1998). De los planos de loteo se digitalizaron las manzanas y las calles, así como también el Corredor del Oeste quedando anexado al S.I.G. como capa temática.

Para lograr digitalmente las divisiones de cuenca, se planteó un modelo digital de terreno con cotas de proyecto, el cual posibilitó la verificación de que el escurrimiento fuera por las calles.

En la Figura 6 también se observa en líneas azules, la red sintética de los escurrimientos urbanos, obtenida con el preprocesamiento de HEC Geo-HMS (HEC, 2000).

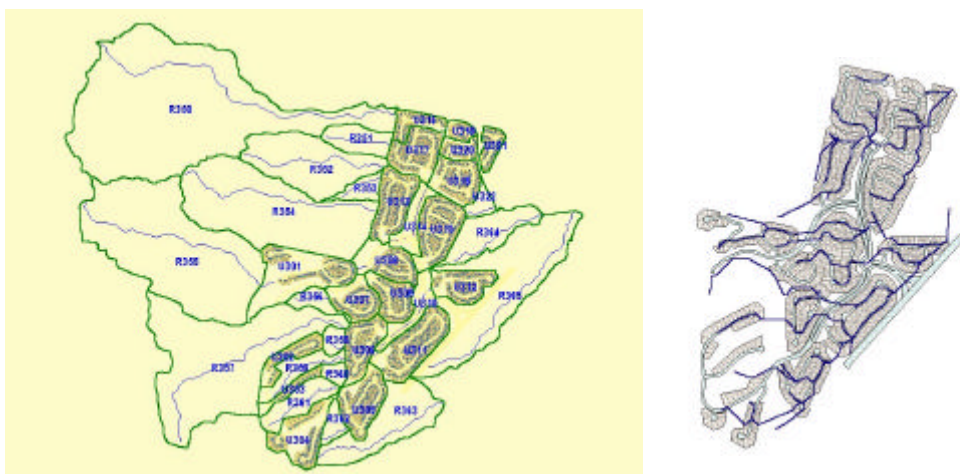


Figura 6. Cuencas urbanas y rurales del Escenario 2 y red sintética de escurrimientos urbanos

Una vez delimitadas las cuencas tanto rurales como urbanas (Figura 6), se determinaron los parámetros morfométricos mediante análisis espacial con el S.I.G. (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros morfométricos del Escenario 2 (Loteo No Convencional).

CUENCAS URBANAS											
Cuenca	Area (Ha)	AREA PERMEABLE					AREA IMPERMEABLE				
		CN	Ia (mm)	Plano de Esguerrimiento			Prop. Área direct. Conect (%)	Prop. Área Total (%)	Plano de Esguerrimiento		
				Pend (%)	Long (m)	Coefic. Rugos.			Pend. (%)	Long (m)	Coefic. Rugos.
U301	15.93	75	11.5	10.0	773	0.25	14.3	21.7	10.0	773	0.02
U302	4.53	75	11.5	8.4	498	0.25	14.7	24.8	8.4	498	0.02
U303	2.47	75	11.5	10.2	394	0.25	16.6	25.4	10.2	394	0.02
U304	9.70	75	11.5	15.8	476	0.25	15.9	25.9	15.8	476	0.02
U305	8.86	75	11.5	4.4	612	0.25	22.9	40.0	4.4	612	0.02
U306	7.36	75	11.5	2.6	469	0.25	20.8	35.3	2.6	469	0.02
U307	6.51	75	11.5	4.5	550	0.25	23.9	37.5	4.5	550	0.02
U308	7.68	75	11.5	3.6	462	0.25	20.5	32.3	3.6	462	0.02
U309	6.20	75	11.5	2.5	565	0.25	18.4	35.6	2.5	565	0.02
U310	5.09	75	11.5	3.9	551	0.25	47.5	47.5	3.9	551	0.02
U311	11.74	75	11.5	3.5	739	0.25	18.9	38.6	3.5	739	0.02
U312	6.92	75	11.5	3.3	471	0.25	18.3	35.8	3.3	471	0.02
U313	9.01	75	11.5	2.6	588	0.25	19.0	36.6	2.6	588	0.02
U314	4.98	75	11.5	3.9	511	0.25	44.5	44.5	3.9	511	0.02
U315	10.26	75	11.5	2.7	510	0.25	21.6	39.4	2.7	510	0.02
U316	3.79	75	11.5	3.8	395	0.25	20.3	32.6	3.8	395	0.02
U317	8.41	75	11.5	3.6	417	0.25	20.6	35.8	3.6	417	0.02
U318	7.47	75	11.5	2.7	483	0.25	21.4	34.9	2.7	483	0.02
U319	1.98	75	11.5	6.2	211	0.25	13.0	24.7	6.2	211	0.02
U320	2.94	75	11.5	5.0	242	0.25	20.2	33.5	5.0	242	0.02
U321	2.82	75	11.5	1.8	278	0.25	19.6	39.1	1.8	278	0.02
U322	2.45	75	11.5	4.2	408	0.25	0.0	0.0	4.2	408	0.02

Tabla 5 (cont.)

CUENCAS RURALES							
Cuenca	Area (km ²)	Dif. Elev. (m)	Lc (km)	Pendiente (m/m)	Imperm (%)	CN	Abstracc. Inicial [mm]
R350	0.999	138.0	2.186	0.063	0.0	78.85	10.2
R351	0.066	35.0	0.419	0.084	0.0	69.81	13.3
R352	0.232	120.0	0.986	0.122	0.0	75.26	11.4
R353	0.035	30.0	0.284	0.106	0.0	69.40	13.4
R354	0.481	134.0	1.345	0.100	0.0	77.07	10.8
R355	0.633	89.0	1.381	0.064	0.0	79.16	10.1
R356	0.034	68.0	0.231	0.294	0.0	78.14	10.4
R357	0.559	114.0	1.614	0.071	0.0	78.76	10.2
R358	0.022	48.0	0.149	0.322	0.0	77.49	10.7
R359	0.058	97.0	0.649	0.150	4.2	80.07	9.8
R360	0.018	49.0	0.145	0.338	2.5	74.82	11.5
R361	0.072	90.0	0.581	0.155	10.0	80.42	9.7
R362	0.027	27.0	0.195	0.139	0.0	73.06	12.1
R363	0.182	63.0	0.937	0.067	5.1	70.27	13.1
R364	0.110	35.0	0.686	0.051	0.0	69.12	13.5
R365	0.378	44.5	1.551	0.029	12.6	72.37	12.4

Hidrología

Con los parámetros así determinados y con las tormentas de TR= 2, 5 y 10 años se corrió el modelo ARHYMO. Los resultados de las corridas del modelo ARHYMO, ya calibrado, se pueden apreciar en los valores característicos del escurrimiento de la Tabla 6 y en los hidrogramas de la Figura 7.

Tabla 6. Resultados de la modelación hidrológica para el Escenario 2

TR2	Qp (m ³ /s)	26.89
	Tp (hs)	0.67
	V (Hm ³)	0.063
TR5	Qp (m ³ /s)	53.30
	Tp (hs)	0.66
	V (Hm ³)	0.119
TR10	Qp (m ³ /s)	70.33
	Tp (hs)	0.66
	V (Hm ³)	0.155

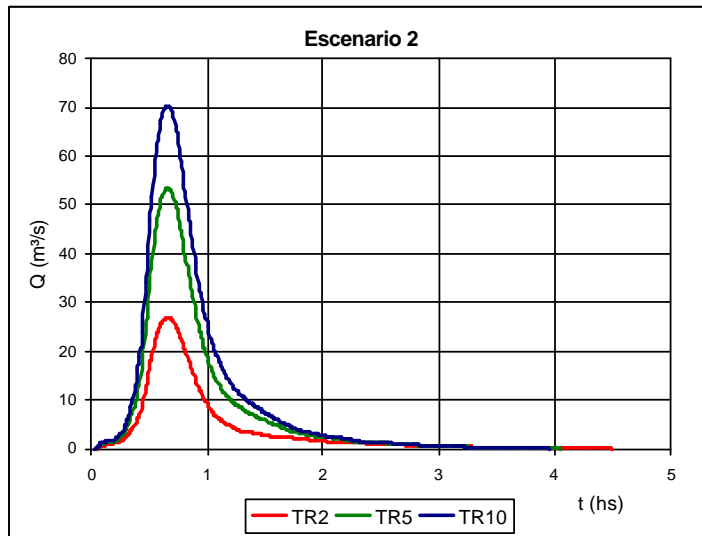


Figura 7. Hidrogramas de TR= 2, 5 y 10 años para el Escenario 2

DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS EN ESCENARIO 3: LOTEO CONVENCIONAL

El objetivo de simular con este escenario es permitir la comparación de resultados con la urbanización de loteo no convencional. El diseño del mismo corresponde al típico estilo de construcción del tipo “damero” con calles perpendiculares, lotes pequeños, y manzanas rectangulares o cuadradas. Para tal simulación se tomó como esquema el trazado del Barrio “La Estanzuela” (al Norte de las cuencas estudiadas) y se insertó en la misma superficie utilizada por el Escenario 2 (Figura 8).

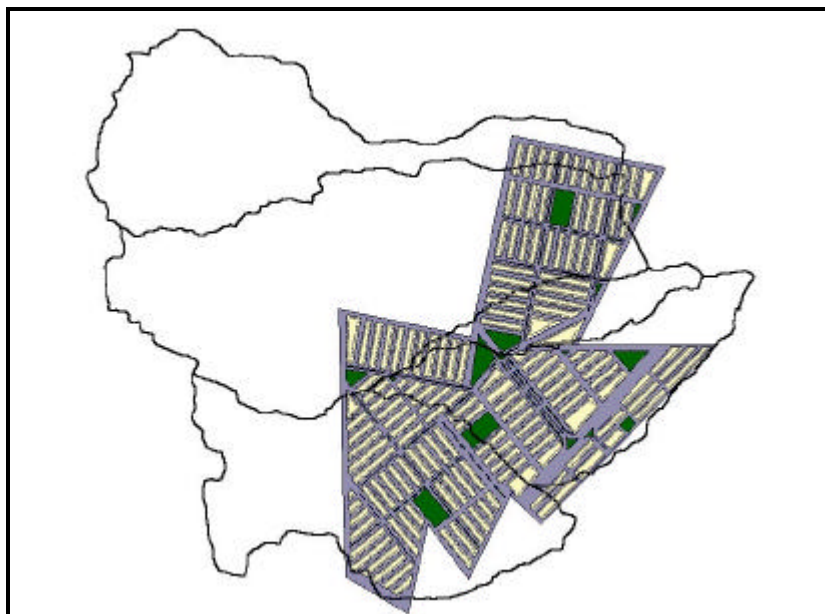


Figura 8. Escenario 3 Urbanización Convencional tipo damero (Lámina 6)

Los parámetros morfométricos (Tabla 7) se obtuvieron de igual manera que en el caso del Escenario 2.

Tabla 7. Parámetros morfométricos del Escenario 3

CUENCAS URBANAS											
Cuenca	Area (Ha)	CN	AREA PERMEABLE				AREA IMPERMEABLE				
			Ia (mm)	Plano de Esgurrimento			Prop. Área direct. Conect (%)	Prop. Área Total (%)	Plano de Esgurrimento		
				Pend (%)	Long (m)	Coefic. Rugos.			Pend. (%)	Long (m)	Coefic. Rugos.
U301	63.19	75	11.5	4.06	1405	0.25	64.6	64.6	4.06%	1405	0.02
U302	63.87	75	11.5	3.23	1394	0.25	63.3	63.3	3.23%	1394	0.02
U303	18.33	75	11.5	2.94	919	0.25	62.5	62.5	2.94%	919	0.02
U304	49.20	75	11.5	2.35	1319	0.25	65.3	65.3	2.35%	1319	0.02
U305	6.02	75	11.5	4.66	665	0.25	72.3	72.3	4.66%	665	0.02

CUENCAS RURALES							
Cuenca	Area (km ²)	Dif. Elev. (m)	Lc (km)	Pendiente (m/m)	Imperm (%)	CN	Abstracc. Inicial [mm]
R301	0.631	82.0	1.614	0.051	0.0	76.03	11.1
R302	0.170	44.5	1.551	0.029	0.0	71.84	12.6
R303	0.104	27.0	0.686	0.039	0.0	69.67	13.3
R304	1.455	110.0	2.092	0.053	0.0	75.59	11.3
R305	1.070	97.0	2.186	0.044	0.0	77.54	10.6

Hidrología

Con los parámetros así determinados y con las tormentas de TR= 2, 5 y 10 años se corrió el modelo ARHYMO. Los resultados de las corridas del modelo ARHYMO, ya calibrado, se pueden apreciar en los valores característicos del escurrimento de la Tabla 8 y en los hidrogramas de la Figura 9.

Tabla 8. Resultados de la modelación hidrológica para el Escenario 3

TR=2	Qp (m ³ /s)	46.59
	Tp (hs)	0.64
	V (Hm ³)	0.092
TR=5	Qp (m ³ /s)	76.46
	Tp (hs)	0.62
	V (Hm ³)	0.119
TR=10	Qp (m ³ /s)	96.44
	Tp (hs)	0.62
	V (Hm ³)	0.193

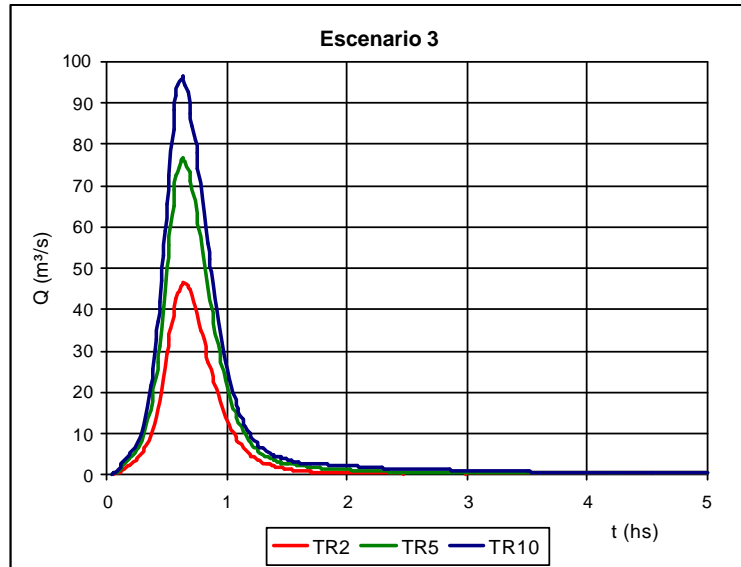


Figura 9. Hidrogramas de TR= 2, 5 y 10 años para el Escenario 3

FRAGILIDAD DEL TERRITORIO Y SUSTENTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LA URBANIZACIÓN

Existen diversas propuestas de indicadores de fragilidad que han sido elaboradas por instituciones internacionales o nacionales, pero no existe todavía un indicador estándar. En este caso se resolvió utilizar un concepto de fragilidad hidrológica propuesto por (CaZorzi, F., 2002).

Es posible clasificar el territorio en términos de fragilidad, siendo frágiles las áreas en las cuales la modificación no conservacionista produce un marcado efecto negativo a escala local o a nivel de cuenca. (Cazorzi, F., 2002).

El índice de fragilidad propuesto combina los efectos que pueden producir cambios en variables como el CN (número de curva de la cuenca) (Figura 10), la pendiente del terreno (Figura 11) y la cercanía a cauces naturales y queda definido como:

$$F = \frac{(100 - CN) + (100 - D) + P}{3}$$

siendo:

- F = Índice de Fragilidad (de 0 a 100)
- CN = Número de Curva
- D = Distancia a red hidrográfica, en metros
- P = Pendiente del terreno, en %

Para obtener un mapa de distancias a cauces en forma distribuida se utilizó una operación de análisis espacial conocida como *multibuffering*. El resultado fue un mapa de distancias (Figura 12) en el cual se observan las zonas de intersección entre cauces y urbanización.

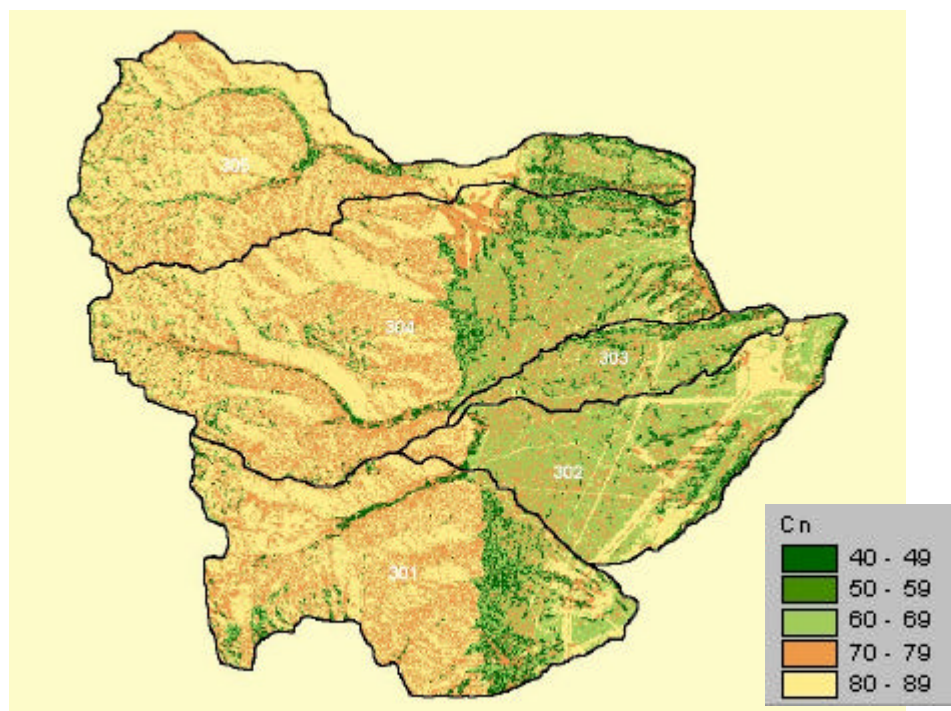


Figura 10. Mapa de CN distribuido

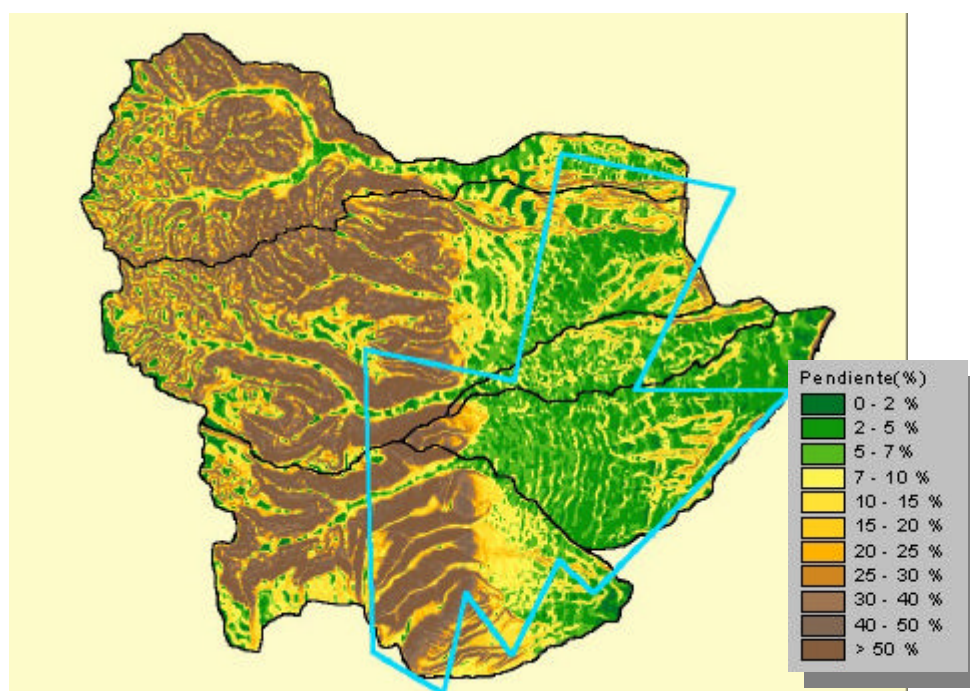


Figura 11. Mapa de Pendientes y límite de loteo

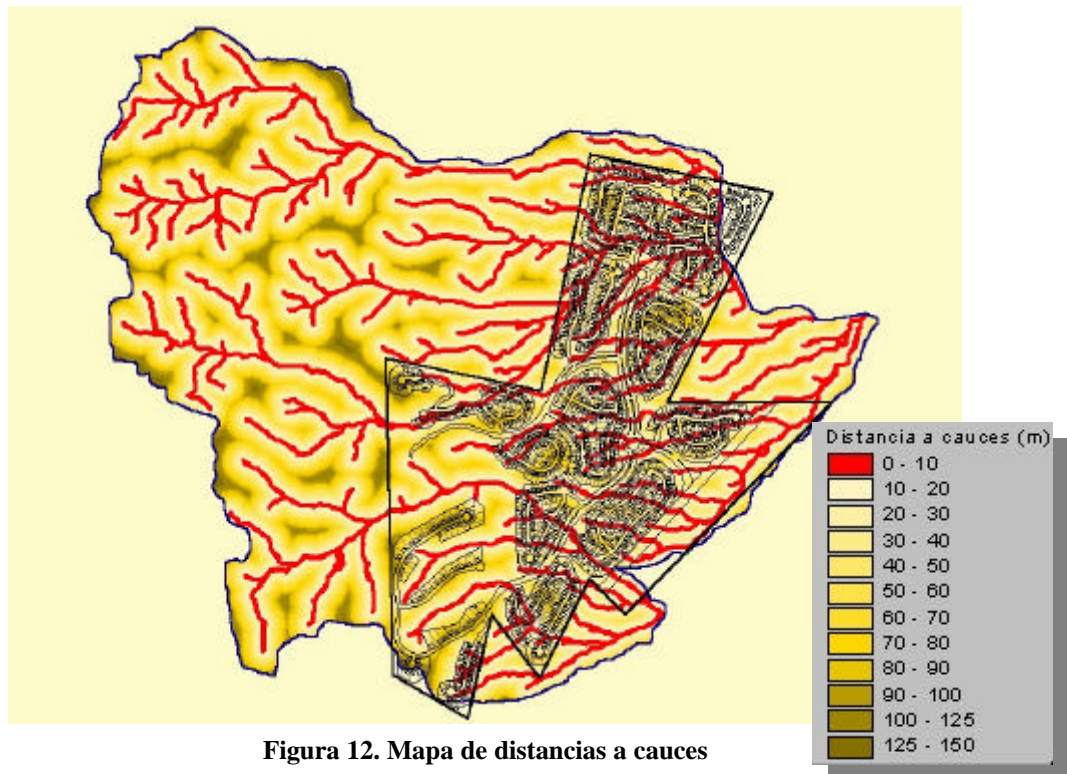


Figura 12. Mapa de distancias a cauces

Con los mapas en forma de raster de CN, pendiente y distancia a cauces, mediante álgebra de mapas, se pudo calcular el indicador de fragilidad en forma distribuida y con una reclasificación se obtuvieron 4 clases de fragilidad con colores que van del verde (fragilidad de 0 a 30), hasta el rojo (fragilidad de 70 a 100). (Figura 13).

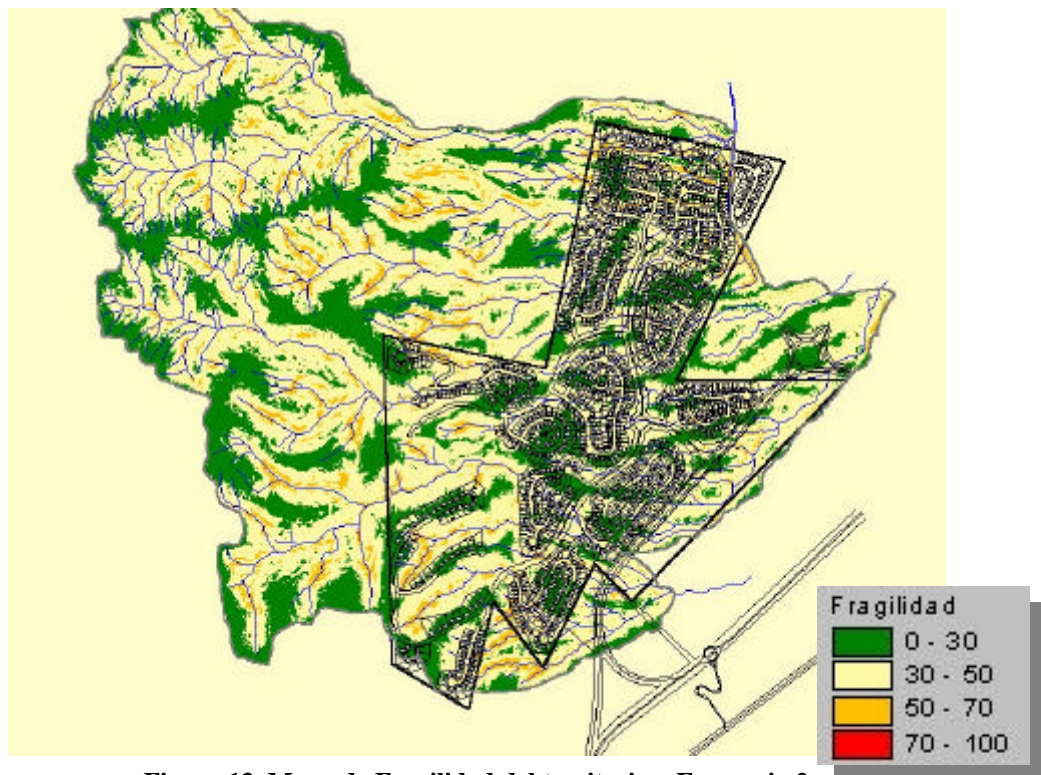


Figura 13. Mapa de Fragilidad del territorio y Escenario 2

Como uno de los objetivos específicos de este análisis era la determinación de una metodología de restricción de loteo que se fundamentara en el análisis espacial de variables que influyeran en el escurrimiento, es que este indicador de fragilidad junto con los mapas de movimientos de suelos, de interrelación de lotes con cauces de 3° orden (Figura 14) y el de pendiente media por lote sirvieron para restringir la urbanización no convencional propuesta como sistema de loteo hidrológicamente sustentable.



Figura 14. Mapa de Interrelación entre lotes y cauces de 3° orden.

Una de las premisas para considerarlo sustentable hidrológicamente fue que el escurrimiento producido por el escenario urbanizado sea como máximo el producido por las cuencas en estado natural para un tiempo de retorno de 5 años ($Q_{\text{máx escen. } 1_{TR=5}} = Q_{\text{máx escen. } 4_{TR=5}}$). Este criterio se propone considerando que el tiempo de recurrencia de 5 años es internacionalmente aceptado para el diseño de los elementos que componen los sistemas menores de drenaje, los cuales son los más sensibles a las actividades de la población cuando son superados en su capacidad.

Se determinó el histograma de frecuencias de los lotes por pendientes clasificadas por medio de una tabulación cruzada entre el mapa distribuido de pendientes y los lotes de los escenarios 2 y 3 (Figura 15). En la Figura 15 se puede visualizar claramente la enorme diferencia de cantidad de lotes entre los Escenarios 2 y 3.

Partiendo del M.D.E. original y el proyectado para el Escenario 2, se pudo confeccionar un mapa de movimientos de suelo expresado tanto en volumen (m^3) como en desviación estándar debido a la diferencia entre el terreno natural y el proyectado. En la Figura 16 se presentan en color azul los terraplenes y en rojo los desmontes a realizarse.

Asimismo se realizaron perfiles transversales automáticos desde el S.I.G. (Figura 17) para los Escenarios 2 y 3, de manera de obtener un análisis de movimiento de suelos a nivel de lote.

Los perfiles transversales, como los de la Figura 17, permitieron el cálculo de terraplén o desmonte medio por lote, determinados a través de la medición de las áreas de desmonte y las áreas de terraplén por unidad de lote representativo. Se definieron tres clases de zonas para perfilar dependiendo de la pendiente media.

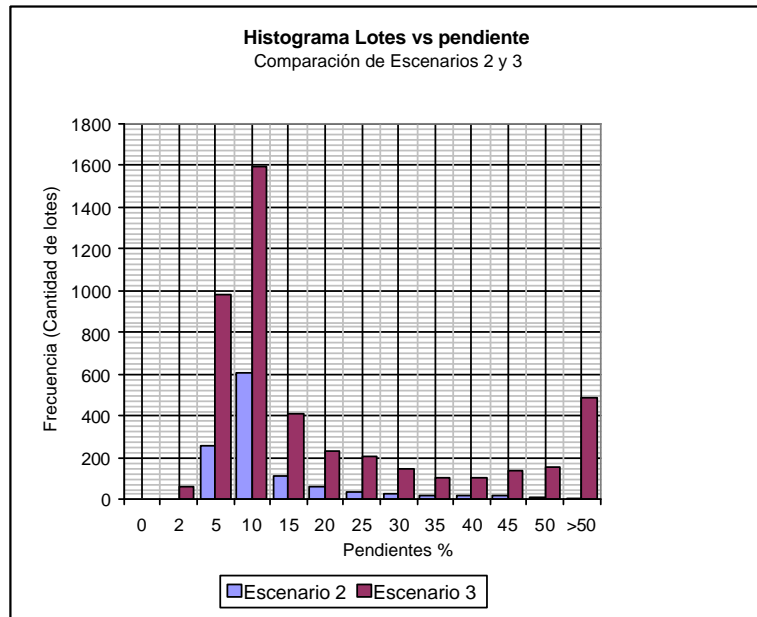


Figura 15. Histograma de lotes vs pendientes

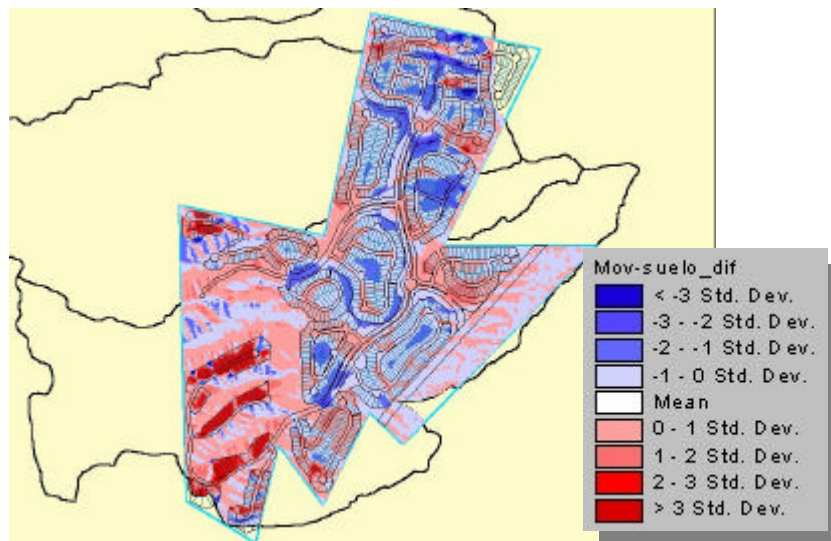


Figura 16. Mapa de movimientos de suelo

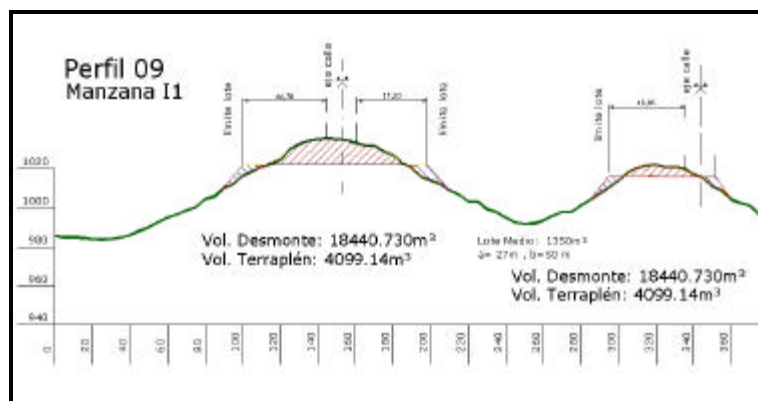


Figura 17. Perfiles transversales de clase 3 (pendiente de 36 a 84%)

El análisis se completó por medio de una planilla de cálculo (Tabla 9), comparando los Escenarios 2 y 3.

Tabla 9. Resumen de movimientos de suelo para Escenarios N° 2 y N° 3

Escenario 2						Escenario 3				
CLASE (pendiente)	VOLUMEN REPRESENTAT. / LOTE		Cant. Lotes/clase	Volumen final		VOLUMEN REPRESENTAT. / LOTE		Cant. Lotes/clase	Volumen final	
	Desm.	Terrap		Desm.	Terrap	Desm.	Terrap		Desm.	Terrap
	[m³]	[m³]		[Hm³]	[Hm³]	[m³]	[m³]		[Hm³]	[Hm³]
1 (0-18%)	1257.1	1239.5	1244	1.6	1.5	466.3	640.3	3433	1.6	2.2
2 (18-36%)	3091.4	1572.0	111	0.3	0.2	436.1	795.5	612	0.3	0.5
3 (36-84%)	3151.9	3110.2	46	0.1	0.1	2892.2	3151.7	908	2.6	2.9
			$\Sigma=$ 1400	2.0	1.8			$\Sigma=$ 4952	4.5	5.6

DESCRIPCIÓN Y ESTUDIOS EN ESCENARIO 4: LOTEO NO CONVENCIONAL MODIFICADO

Este escenario surge de la necesidad de encontrar métodos de evaluación y restricción de loteo de forma tal que verifique la sustentabilidad hidrológica es decir que para TR= 5 años el caudal máximo correspondiente al Escenario 4 sea igual al caudal máximo correspondiente al Escenario 1 ($Qp4_{TR=5} = Qp1_{TR=5}$).

Como se puede apreciar existe una alta incidencia de los loteos convencionales frente a los loteos no convencionales. Pero dentro de estos últimos es aún viable restringir o marcar pautas para que se cumpla con la sustentabilidad hidrológica.

Una de las pautas que se ha considerado para elaborar el Escenario 4 es la de tener en cuenta el Índice de Fragilidad. Mediante el mapa de fragilidad (Figura 13) se determinaron zonas de restricción de loteo que dio lugar a una transformación de cuencas urbanas en rurales debido a la eliminación de algunas manzanas o una disminución del porcentaje impermeabilizado de la cuenca urbana (Figura 18).

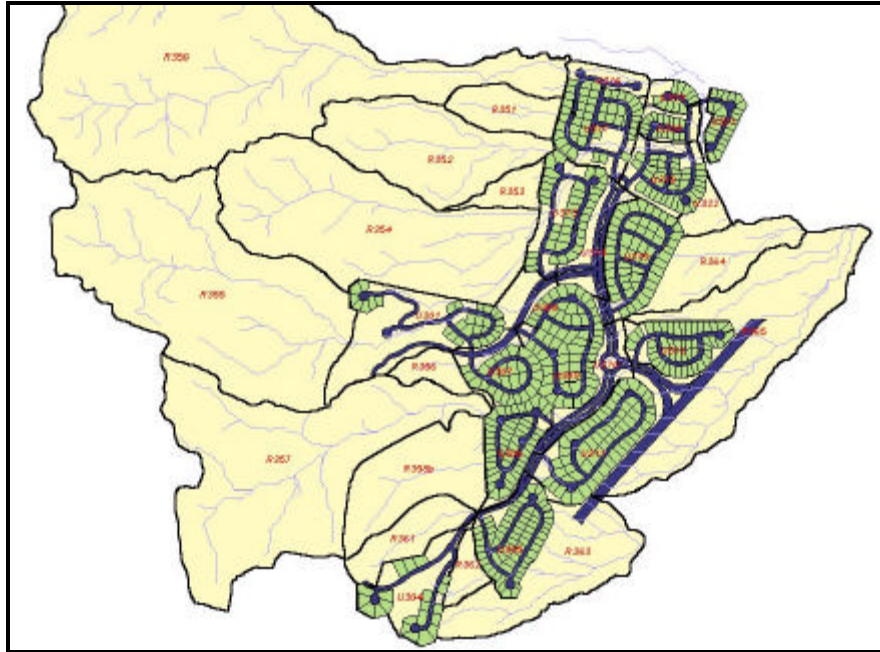


Figura 18. Delimitación de cuencas urbanas y rurales del Escenario 4

La relación N° de lotes/ha en función de la pendiente se puede visualizar en al Figura 19.

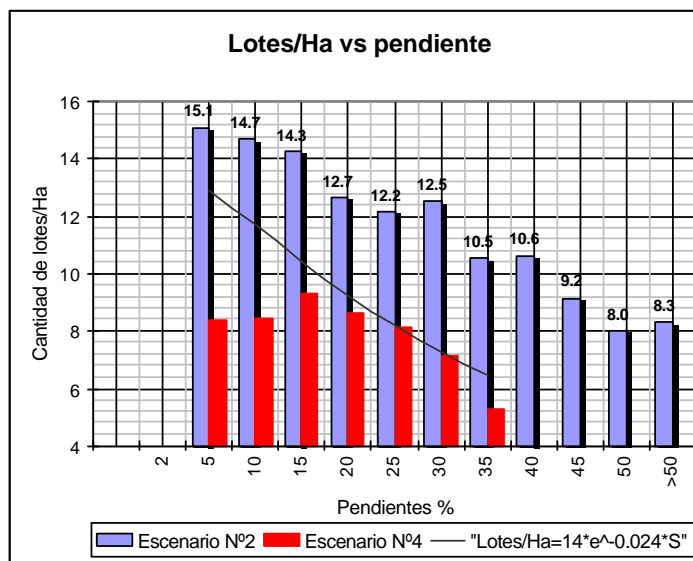


Figura 19. Cantidad de lotes por ha en el Escenario 4 en función de la pendiente

En la Figura 19 también se ha indicado una función exponencial negativa que vincula el N° de lotes/ha con la pendiente. Esta función se ha generado en base a una amplia revisión bibliográfica internacional al respecto (Maza, J. et al., 2004).

Una vez delimitadas las cuencas tanto rurales como urbanas (Figura 18), se determinaron los parámetros morfométricos mediante análisis espacial con el S.I.G. (Tabla 10).

Tabla 10. Parámetros morfométricos del Escenario 4

CUENCAS RURALES								
Nombre	Area (km ²)	Recorrido más largo (m)	Pendiente (m/m)	% Imperm.	INFILTRACION		Dif. Elevac. [m]	Long. cauce [km]
					CN	Ia [mm]		
R350	0.999	2186	0.063	0.0%	78.85	10.2	138.0	2.186
R351	0.066	419	0.084	0.0%	69.81	13.3	35.0	0.419
R352	0.232	986	0.122	0.0%	75.26	11.4	120.0	0.986
R353	0.035	284	0.106	0.0%	69.40	13.4	30.0	0.284
R354	0.508	1345	0.100	0.0%	77.07	10.8	134.0	1.345
R355	0.734	1795	0.059	0.0%	79.16	10.1	105.5	1.795
R356	0.034	231	0.294	0.0%	78.14	10.4	68.0	0.231
R357	0.582	1614	0.071	0.0%	78.76	10.2	114.0	1.614
R358	0.218	649	0.149	0.0%	77.49	10.7	96.5	0.649
R362	0.027	195	0.139	0.0%	73.06	12.1	27.0	0.195
R363	0.182	937	0.067	2.5%	70.27	13.1	63.0	0.937
R364	0.110	686	0.051	0.0%	69.12	13.5	35.0	0.686
R365	0.378	1551	0.029	12.1%	72.37	12.4	44.5	1.551

CUENCAS URBANAS										
CUENCA	A (Ha)	AREA PERMEABLE					AREA IMPERMEABLE			
		CN	Ia (mm)	Plano de Escurrimiento			Prop. Área direct. Conect (%)	Plano de Escurrimiento		
				Pend (%)	Long (m)	Cofic. Rugos.		Pend. (%)	Long (m)	Cofic. Rugos.
U301	15.93	75	11.5	9.7	500	0.25	14.27%	9.7	500	0.02
U304	9.70	75	11.5	15.8	476	0.25	16.06%	15.8	476	0.02
U305	8.86	75	11.5	4.4	612	0.25	22.89%	4.4	612	0.02
U306	7.36	75	11.5	2.6	469	0.25	20.76%	2.6	469	0.02
U307	6.51	75	11.5	4.5	550	0.25	23.91%	4.5	550	0.02
U308	7.68	75	11.5	3.6	462	0.25	20.55%	3.6	462	0.02
U309	6.20	75	11.5	2.5	565	0.25	18.42%	2.5	565	0.02
U310	5.09	75	11.5	3.9	551	0.25	47.41%	3.9	551	0.02
U311	11.74	75	11.5	3.5	739	0.25	18.99%	3.5	739	0.02
U312	6.92	75	11.5	3.3	471	0.25	18.28%	3.3	471	0.02
U313	9.01	75	11.5	2.6	588	0.25	18.98%	2.6	588	0.02
U314	4.98	75	11.5	3.9	511	0.25	44.57%	3.9	511	0.02
U315	10.26	75	11.5	2.7	510	0.25	21.61%	2.7	510	0.02
U316	3.79	75	11.5	3.8	395	0.25	20.29%	3.8	395	0.02
U317	8.41	75	11.5	3.6	417	0.25	20.63%	3.6	417	0.02
U318	7.47	75	11.5	2.7	483	0.25	21.42%	2.7	483	0.02
U319	1.98	75	11.5	6.2	211	0.25	13.02%	6.2	211	0.02
U320	2.94	75	11.5	5.0	242	0.25	20.20%	5.0	242	0.02
U321	2.82	75	11.5	1.8	278	0.25	19.41%	1.8	278	0.02
U322	2.45	75	11.5	4.2	408	0.25	0.00%	4.2	408	0.02

Con los parámetros así determinados y con las tormentas de TR= 2, 5 y 10 años se corrió el modelo ARHYMO. Los resultados de las corridas del modelo ARHYMO, ya calibrado, se pueden apreciar en los valores característicos del escurrimiento de la Tabla 11 y en los hidrogramas de la Figura 20.

Como última restricción se consideró que el porcentaje directamente conectado de las cuencas urbanas sea nulo (la escorrentía de la cuenca urbana drena e infiltra totalmente en la parte permeable de la misma)

Tabla 11. Resumen de los resultados de la modelación hidrológica para el Escenario 4

TR=2	Qp (m ³ /s)	22.58
	Tp (hs)	0.70
	V (Hm ³)	0.055
TR=5	Qp (m ³ /s)	46.84
	Tp (hs)	0.69
	V (Hm ³)	0.109
TR=10	Qp (m ³ /s)	63.59
	Tp (hs)	0.69
	V (Hm ³)	0.145

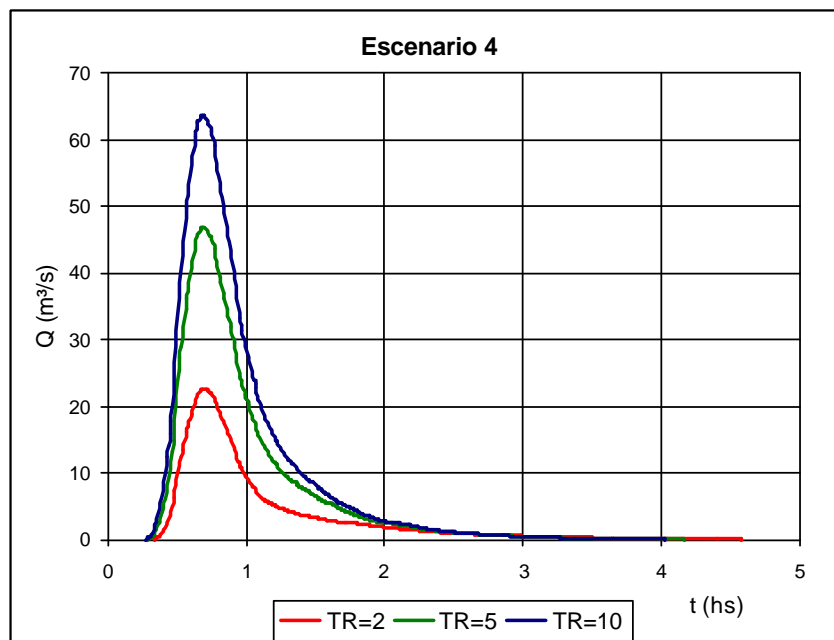


Figura 20. Hidrogramas de TR= 2, 5 y 10 años para el Escenario 4

LOTEO NO CONVENCIONAL ESCENARIO 5: ESCENARIO 4 CON EMBALSES DE RETENCIÓN

Este escenario surge debido a que con las restricciones realizadas para el Escenario 4 no se logra alcanzar la sustentabilidad hidrológica.

Se lograron reducir los caudales pico considerando 3 embalses de retención, ubicados estratégicamente (Figura 21) dentro de los límites del loteo, los cuales fueron dimensionados con ARHYMO mediante la analogía de boca de tormenta considerando caudal pasante y caudal derivado (este último es el que ingresa al embalse).

En la Tabla 12 figuran las dimensiones de los embalses de retención necesarios para cumplir el criterio de que para TR= 5 años el caudal máximo correspondiente al Escenario 5 sea igual al caudal máximo correspondiente al Escenario 1 ($Q_{p5TR=5} = Q_{p1TR=5}$).

Tabla 12. Dimensiones de los embalses

Embalse Nro	Area [Ha]	Vol [Hm ³]	h nec [m]
1	0.592	0.008	1.35
2	0.963	0.006	0.62
3	0.885	0.007	0.79

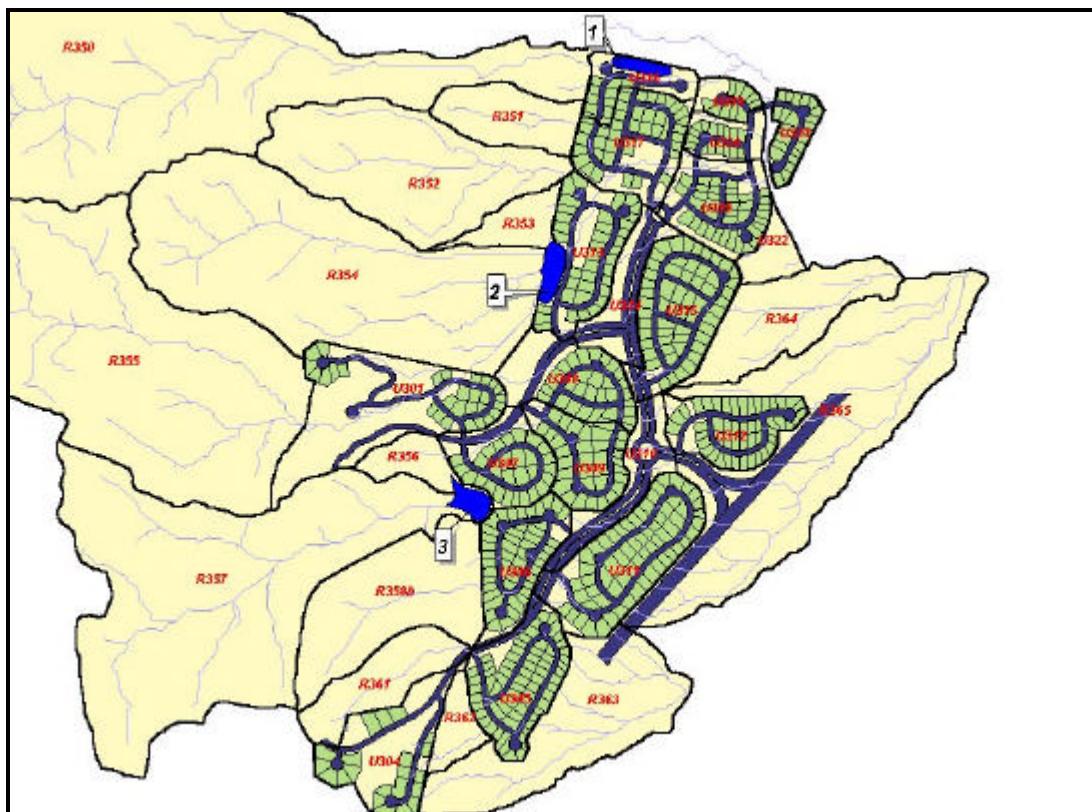


Figura 21. Cuencas rurales y urbanas del Escenario 5 con embalses de retención

Con los parámetros morfométricos iguales a los del Escenario 4 y con las tormentas de TR= 2, 5 y 10 años se corrió el modelo ARHYMO. Los resultados de las corridas del modelo ARHYMO, ya calibrado, se pueden apreciar en los valores característicos del escurrimiento de la Tabla 13 y en los hidrogramas de la Figura 22.

Tabla 13. Resumen de los resultados de la modelación hidrológica para el Escenario 5

TR=2	Qp (m ³ /s)	15.62
	Tp (hs)	0.70
	V (Hm ³)	0.039
TR=5	Qp (m ³ /s)	39.84
	Tp (hs)	0.69
	V (Hm ³)	0.088
TR=10	Qp (m ³ /s)	56.59
	Tp (hs)	0.69
	V (Hm ³)	0.121

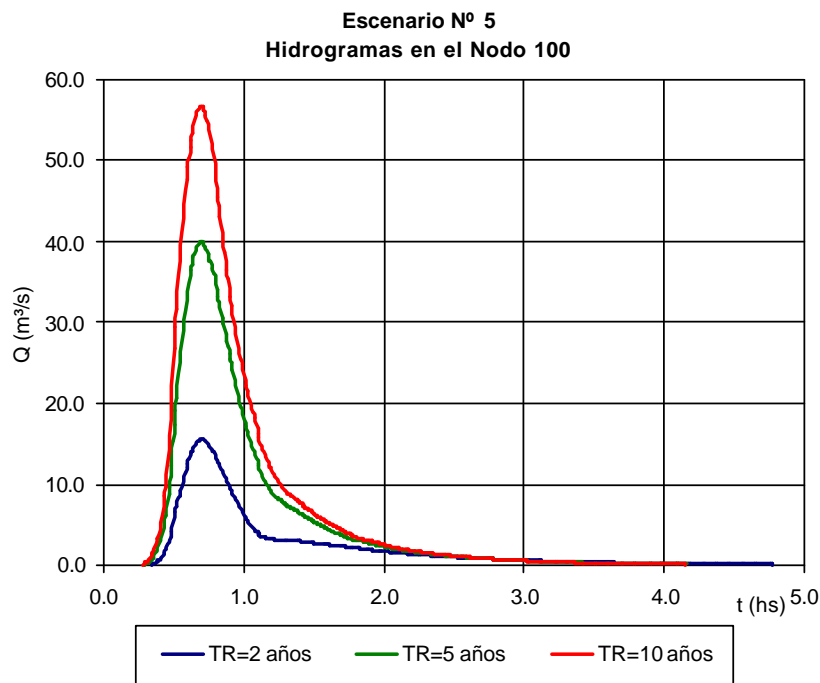


Figura 22. Hidrogramas de TR= 2, 5 y 10 años para el Escenario 5

PROPUESTA DE PAUTAS DE SUSTENTABILIDAD HIDROLOGICA PARA LA URBANIZACION DEL PEDEMORTE DEL GRAN MENDOZA

Como desafortunadamente los objetivos de seguridad, estética y protección ambiental pueden ser conflictivos entre si, una cuidadosa planificación puede tener un rol importante en el desarrollo de la información básica, analizando los inconvenientes e identificando los requerimientos y valores de la comunidad.

El Pedemonte del Gran Mendoza es un sistema de delicado equilibrio ecológico, donde una de las manifestaciones de su alteración, que afectan a los habitantes de aguas abajo, son las crecidas aluvionales.

Se realizó una amplia revisión bibliográfica sobre reglamentaciones y códigos de urbanización en pedemonte de la cual se pudo extraer información correspondiente a 33 ciudades de Estados Unidos y una de Canadá (Maza, J. et al., 2004).

Tal información se reagrupó en los siguientes aspectos:

- Limitaciones sobre área cubierta y densidad de lotes
- Limitaciones sobre movimientos de tierra (nivelaciones)
- Requerimientos sobre superficies con espacios inalterados (naturales)
- Pautas sobre el desarrollo de calles
- Pautas sobre el drenaje pluvial
- Pautas sobre el diseño arquitectónico

Para evitar que el Pedemonte del Gran Mendoza se continúe desarrollando sin tener en cuenta los necesarios conceptos de urbanización en áreas con pendientes pronunciadas sobre la base de:

- los antecedentes mencionados anteriormente,
- la experimentación hidrológica realizada en el presente trabajo y
- la experiencia del INA-CRA en estudios de hidrología urbana en diversas partes de la región andina del país

se realiza esta propuesta de pautas que tienen como objetivo:

- que el diseño de cada urbanización sirva para proteger o restaurar la hidrología natural del lugar protegiendo la integridad ecológica de la cuenca
- crear un paisaje “hidrológicamente” funcional utilizando a la hidrología como base de diseño.

Es por lo expresado que los proyectos de urbanización en áreas de pedemonte deben emplear técnicas que reducen el impacto en las superficies, disminuyen la cantidad de calles y pavimentos, maximizan el espacio abierto y minimizan la reestructuración del sistema de drenaje natural.

Para el diseño de la urbanización se deberá contar con el siguiente material cartográfico georeferenciado:

- Plano de mensura del sitio de la urbanización
- Planialtimetría general en escala 1:5.000 y equidistancia 5m
- Restitución aerofotogramétrica en escala 1:2.500
- Imagen satelital digital de resolución mínima (píxel) 10x10m
- Relevamientos topográficos de detalle en el sitio de la urbanización de apoyo a la restitución aerofotogramétrica

El material señalado deberá ser procesado en el marco de un S.I.G. y un M.D.E. con la finalidad de conocer:

- La delimitación de cuencas que afectan e involucran al terreno de la urbanización
- Los parámetros morfométricos y red de drenaje de tales cuencas
- La distribución espacial de las pendientes y altitudes (hipsometría)

La imagen satelital digital deberá ser procesada adecuadamente a efectos de obtener la distribución espacial de la cobertura vegetal y del tipo de suelo lo que podrá ser apoyado con la fotografía aérea y con relevamientos a campo.

Con la información así procesada se requerirá la determinación de los hidrogramas de escurrimiento generados por las Tormentas de Proyecto para el Gran Mendoza (INA, 1997) con tiempos de retorno de 2, 5 y 10 años sobre las cuencas en su estado natural que afectan e involucran al terreno de la urbanización.

Se determinará un Índice de Fragilidad (F) para cada píxel basado en la siguiente expresión:

$$F = \frac{(100 - CN) + (100 - D) + S}{3}$$

donde:

F = Índice de Fragilidad (de 0 a 100)

CN= N° de Curva de la metodología del U.S. Soil Conservation Service (actualmente U.S. Natural Resources Conservation Service) que es función del tipo y densidad de la cobertura vegetal, del tipo de suelo y de la condición de humedad antecedente

D = Distancia a red hidrográfica (cauce natural) de cada píxel (m)

S = Pendiente del terreno, en %

Diseño de la urbanización

Teniendo en cuenta la distribución espacial del F, pendientes en el terreno a urbanizar y ubicación de la red natural de drenaje se podrán individualizar las superficies aptas para la delimitación de los lotes. Se propone no urbanizar en áreas donde: $F > 50$ y/o $D < 30\text{m}$ (cauces de orden 1) y/o $S > 35\%$.

Para cauces de orden superior a 1 se deberá verificar mediante un estudio hidrológico e hidráulico la línea de inundación correspondiente a TR= 100 años con la finalidad de comprobar la condición $D < 30\text{ m}$.

A efectos de verificar que se ha dejado una superficie libre de alteraciones (naturales) se propone aplicar:

$$\text{Máxima área alterada (\%)} = 74.5 - 1.7 * S(\%) \quad \text{para } 15\% < S < 35\%$$

luego se adoptará la situación de mínima área alterada.

Se propone que se facilite y se incentiven loteos que implementen urbanizaciones con divisiones en forma de *cluster* de manera tal de que existan espacios abiertos (inalterados) comunes (“propiedad de división vertical”), permitiendo así una gran flexibilidad de acomodamiento de las viviendas en función de los accidentes naturales del terreno (pendientes, cauces, áreas vegetadas).

La subdivisión *cluster* permite, además de la disponibilidad de espacios abiertos comunes, optimizar el desarrollo de calles y minimizar nivelaciones del terreno.

El diseño de la urbanización en la superficie a alterar se realizará contemplando que:

$$N^{\circ} \text{ lotes} / \text{ha} = 14 * e^{-0.024 * S (\%)} \quad \text{para } 15\% < S \leq 35\%$$

donde S= pendiente y considerando que para S > 35% no se admite urbanización.

En base a la distribución espacial de pendientes se podrá tener un mapa, en las áreas aptas para urbanizar, de cantidad de lotes por ha, lo cual permitirá, luego, avanzar en el diseño de la urbanización.

Los sectores urbanizables se conectarán a través de calles cuyos desarrollos deberán verificar que:

- Pendiente máxima de calles=12%
- Pendiente máxima de calles en intersecciones=5%
- Las calles deben seguir los contornos naturales
- La cantidad máxima de superficie impermeable de calle debe ser el 20% de la urbanización total.

Aspectos hidrológicos

Se propone que la sustentabilidad hidrológica se verifique si el caudal máximo del hidrograma de escurrimiento generado por la cuenca con urbanización no supera al del estado natural para TR= 5 años.

A tal efecto se podrán implementar soluciones estructurales como:

- que el escurrimiento generado por las superficies impermeables de cada lote drene hacia las áreas permeables del lote para su infiltración y/o retardo
- la utilización de dispositivos de retardo y/o infiltración del escurrimiento, para minimizar el incremento de volumen y caudal pico debido a la urbanización. A efectos de disminuir riesgos y los consecuentes costos se propone que tales embalses se implementen en base a excavaciones, evitándose así la construcción de terraplenes potenciales de fallas.

El urbanizador deberá presentar los resultados de la modelación matemática que permitieron en distintas etapas optimizar el diseño y la verificación del funcionamiento para tiempos de retorno de 2 y 10 años.

Diseño edilicio

A efectos de que la disrupción visual del paisaje natural sea mínima se proponen las siguientes pautas:

- El diseño arquitectónico de las viviendas, los materiales de construcción y los colores de pintura deben proveer una suave transición entre las viviendas y los alrededores.
- Todo proyecto debe ubicarse en promedio a 90 m horizontalmente desde una cumbre
- Se deberá tener en cuenta que los lotes podrán ser nivelados verificando que no se supere:

$$\text{Vol}_{\text{movtierra}} (\text{m}^3) = \left[\frac{[4 - 10 * S(\text{m/m})] * 4 + 16.2}{19.06} \right] * A_{\text{lote}} (\text{m}^2)$$

- Los desniveles naturales del terreno se tendrán en cuenta para el diseño arquitectónico

CONCLUSIONES

Se ha podido verificar el elevado impacto hidrológico que produce una urbanización convencional sobre el terreno natural ($Q_{p3TR=5}$ es 90,7% mayor que $Q_{p1TR=5}$) (Figura 24).

Se ha comprobado que urbanizaciones del tipo del Escenario 2 tienden a disminuir el riesgo hidrológico aguas abajo ($Q_{p2TR=5}$ es 32,9% mayor que $Q_{p1TR=5}$) (Figura 24), pero que no es suficiente para que se logre un escurrimiento que no afecte la infraestructura del sistema de drenaje de aguas abajo.

Las modificaciones introducidas en el marco del Escenario 4 tienen un mediano impacto en la disminución del escurrimiento ($Q_{p2TR=5}$ es 13,9% mayor que $Q_{p4TR=5}$) (Figura 24).

La solución de los embalses de retención considerada en el Escenario 5 ha resultado eficiente para alcanzar el criterio de sustentabilidad hidrológica aumentando ínfimamente el costo de la urbanización (son excavaciones con una pequeña obra de alivio a efectos de conducir ordenadamente los excedentes ya que no hay terraplén que defender).

Son de resaltar las siguientes comparaciones, como se pueden apreciar en las Figuras 23, 24 y 25 los hidrogramas de escurrimiento en el punto de recolección de todas las cuencas involucradas:

- para TR= 5 años $Q_{p5TR=5} \cong Q_{p1TR=5}$.
- para TR= 2 años $Q_{p5TR=2}$ es 17,5 % menor que $Q_{p1TR=2}$
- para TR= 10 años $Q_{p5TR=10}$ es 2 % mayor que $Q_{p1TR=10}$
- para TR= 2, 5 y 10 años es notable la diferencia del Escenario 3 con respecto a los otros escenarios considerados

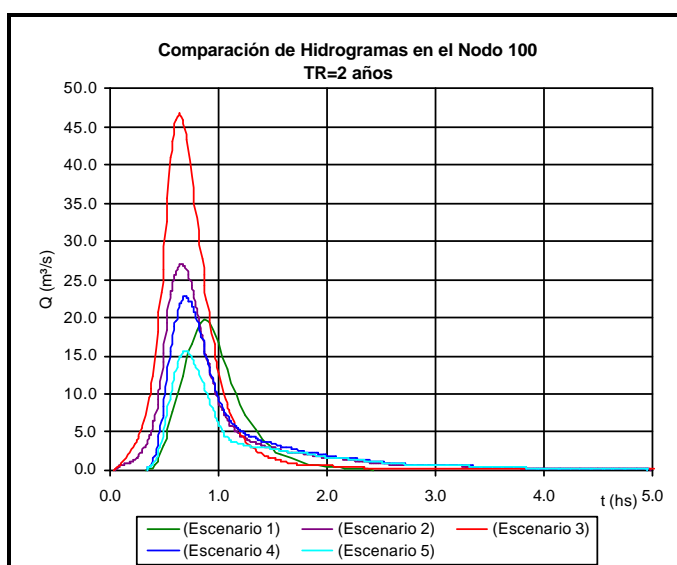


Figura 23. Comparación de hidrogramas de distintos escenarios para TR= 2 años

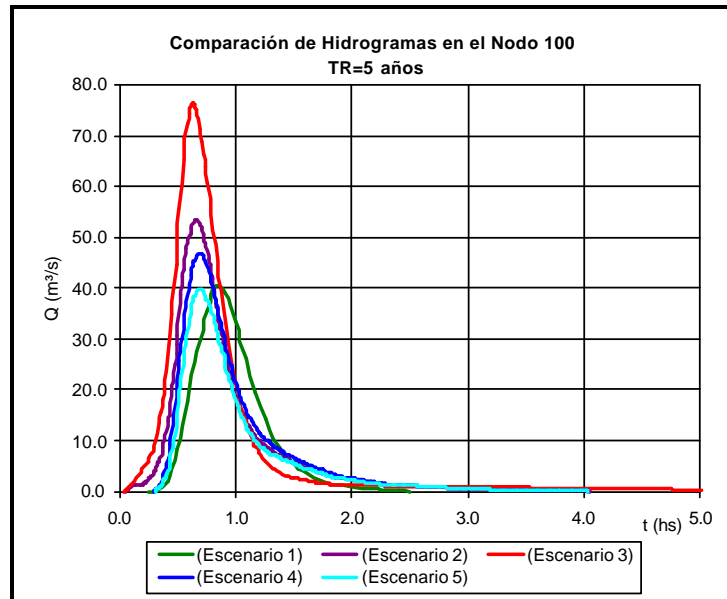


Figura 24. Comparación de hidrogramas de distintos escenarios para TR= 5 años

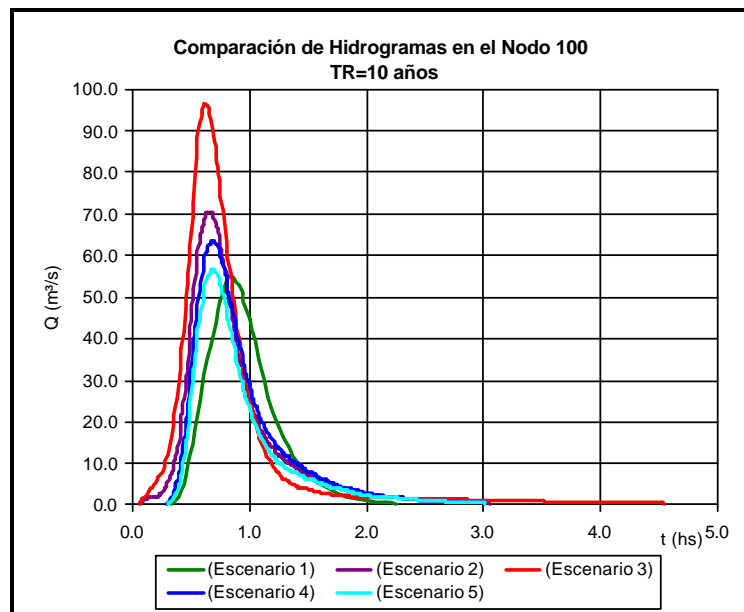


Figura 25. Comparación de hidrogramas de distintos escenarios para TR= 10 años

Para poder alcanzar la condición de sustentabilidad hidrológica ha sido necesario realizar una serie de acciones que confluyen a que la urbanización minimice su impacto sobre el terreno natural. Esas acciones están en concordancia con las pautas urbanísticas propuestas y también contribuyen a una acentuada aproximación a la sustentabilidad de otros, no menos importantes, aspectos ambientales (flora, fauna, etc.).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco de un proyecto institucional financiado por el **Instituto Nacional del Agua en el marco de su Plan Estratégico cumpliendo el Objetivo Institucional de *Innovación tecnológica dirigida a solucionar problemas hídricos urbanos y la Línea Estratégica-Temática de *Contribuir al tratamiento integrado de problemas hídricos urbanos y ocupación territorial no planificada.****

BIBLIOGRAFÍA ANTECEDENTE Y DE CONSULTA

- Burgos, V.H.** “*Modelación hidrológica de cuencas piedemontanas. Uso de sistemas de información geográfica en hidrología superficial*”. XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza, 2005.
- Cazorzi, Federico** *Woditem HyGrid2k2 – Guida de riferimento* . Università degli studi di Udine, 2002.
- Fornero, Luis, Aldo Pavese, Jorge Maza, Diego Vega** “*Actualización del modelo hidrológico ARHYMO*”. Congreso Nacional del Agua, Carlos Paz, Córdoba, 2002.
- Hydrologic Engineering Center** *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. User’s Manual* U.S. Army Corps of Engineers. U.S.A., 2000.
- Maza, Jorge; L. Fornero; C. Litwin y P. Fernández**, *ARHYMO. Manual del Usuario. INCyTH-CRA. Mendoza*”, 1993.
- Maza, J.; P. Fernández** “*Desagües Pluviales Urbanos y Criterios para la Extensión Edilicia en la Zona Pedemontana de Mendoza*” pág. 119 a 123 en “*Mendoza en el 2000. Proyecto de Ordenamiento Territorial para la Provincia*”. Ed. por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, 1994.
- Maza J.A., V. Burgos, P. López, V. Venegas.** *Sustentabilidad hidrológica de urbanizaciones en pedemonte* . Informe Técnico IT N° 51-CRA. INA, Mendoza, 2004.
- Olshansky, R.B.** “*Planning for Hillside Development*”. American Planning Association, Planning Advisory Service, Report N° 466, U.S.A., 1996.
- UTN-Fac. Reg. Mendoza** *Estudio de Impacto Ambiental PALMARES VALLEY*. 1998.