

XXIVº Congreso Nacional del Agua 2013

San Juan, 14 al 18 de Octubre de 2013

URBANIZACIÓN E IMPACTO HIDROLÓGICO EN UNA CUENCA DE ALTA PENDIENTE DEL CENTRO DE MISIONES

D. Tomás Rodríguez^{(1) (2)}, Hugo O. Reinert⁽¹⁾, Alejandro R. Ruberto⁽³⁾, Marcelo J. M. Gómez⁽³⁾, Eugenio A. Berger⁽⁴⁾

⁽¹⁾Departamento de Ingeniería Civil, FI-UNaM, ⁽²⁾Becario CONICET, ⁽³⁾Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica, Fi-UNNE, ⁽⁴⁾Alumno de grado de Ingeniería Civil, FI-UNaM

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Misiones
Juan Manuel de Rosas 325. Oberá (3360). Misiones. Argentina. Telefax: +54 (3755) 422170
Correo-e: rodriguezdt@fio.unam.edu.ar

RESUMEN

Se ha abordado la variación espacial y temporal de la impermeabilidad en una cuenca urbana de elevada pendiente de la ciudad de Oberá, Misiones.

La cuenca en estudio es la de la Av. Beltrame, la que fue calibrada, modelada y validada con el fin de obtener respuestas al escurrimiento para diferentes momentos y usos del suelo mientras avanzó la urbanización sobre la selva paranaense autóctona del lugar.

Se logró reconstituir tres escenarios para la determinación de diferentes usos del suelo y su cambio a lo largo del tiempo; la primera situación originaria de la cuenca, sin alteración de la selva autóctona misionera, delimitada por el área de aporte al escurrimiento superficial correspondiente al año 1900; una segunda con el avance y primeros cambios en la urbanización correspondiente al año 1962 y en el tercer escenario se estudió la situación actual de la cuenca, con un alto grado de antropización al año 2012.

Entre los resultados más importantes se destaca el incremento sostenido de la impermeabilidad de las áreas de aporte debido a la creciente construcción de viviendas, locales comerciales y de servicios, lo que ha provocado el consecuente aumento de los volúmenes de escurrimiento directo y de caudales máximos de respuesta.

Originalmente la cuenca Beltrame presentaba un área de 7,75ha, luego y a partir de 1962 se incrementó 26% con la construcción de calzadas de tierra, pista de aterrizaje, áreas con cultivos, pasturas y escaso número de viviendas, representando esto el 40% de impermeabilización y sin superficies directamente conectadas.

Para una tormenta de diseño de dos años de recurrencia y 30 minutos de duración representa un aumento del 1303% en el caudal pico y 371% en el volumen de escurrimiento directo.

En la actualidad la cuenca tiene una superficie de 10,38ha, incrementándose en 33,9% a la original y alcanzando un grado de impermeabilización de 61,8%, con 45% de la superficie total directamente conectada.

Esto produjo un aumento de 4.210% en el caudal pico y 1.415% en el volumen de escurrimiento directo.

Palabras clave: impermeabilidad – impacto hidrológico – cuencas urbanas – altas pendientes

INTRODUCCIÓN

A inicios del siglo XIX la población urbana representaba alrededor del 3% del total mundial, en parte debido a la industrialización, donde las ciudades de países más desarrollados fueron creciendo. Durante los primeros años del siglo XX el porcentaje de población urbana aumentó hasta 13%; pero recién en la segunda mitad del ese siglo se produce el aumento explosivo de la población urbana, en paralelo con el crecimiento demográfico de países en vías de desarrollo. En 1950 la población urbana representaba 29% de la población mundial y en 2008 alcanzó el 50%.

Las proyecciones a futuro, en un escenario de crecimiento, indican que para 2030 la población urbana llegaría a 60% del total mundial y a 70% para 2050 (Jha et al, 2011).

En América del Sur, cerca de 77% de la población se concentra en centros urbanos, siendo el continente con mayor porcentaje de población urbana y con alta tasa de crecimiento (Tucci y Bertoni, 2003), conteniendo algunas de las metrópolis más densamente pobladas del mundo como ciudad Autónoma de Buenos Aires, San Pablo, Río de Janeiro, La Paz, entre otras.

De acuerdo a datos del censo 2010 (INDEC, 2011), la población argentina es de 40.117.096 de habitantes, con densidad media de 14,4 hab/km². Dicha población se discrimina en población urbana, 89,3%; y población rural agrupada, 3,4% y población rural dispersa: 7,28%.

Siguiendo la tendencia mundial y nacional, las localidades de Misiones evidencian un continuo crecimiento de poblaciones urbanas y migración de las colonias hacia los centros de servicios a las ciudades más importantes como lo es Oberá.

El municipio de Oberá (la que brilla en dialecto Guaraní), es la capital de la localidad del mismo nombre y segunda ciudad en importancia, luego de la capital.

Oberá es ciudad mediterránea y se encuentra enclavada sobre la línea de altas cumbres de la Sierra Central de Misiones, en una región boscosa de grandes ondulaciones; consecuentemente se ve atravesada por el parte - aguas de las grandes cuencas de los ríos Paraná y Uruguay, ubicándose en los cursos próximos que desaguan finalmente a alguno de los grandes ríos.

Geológicamente la localidad presenta similares características que muchos de los perfiles edafológicos provinciales, según: un primer estrato de suelo colorado laterítico en profundidad de 1 a 10m de espesor, un segundo estrato de meláfiro descompuesto o tosca de 5 a 8m de espesor y un tercer horizonte de roca basáltica que puede extenderse hasta 1.200m a través de sucesivos derrames de magma. En las proximidades de los arroyos es posible encontrar tierras negras y terrenos arcillosos y/o arcillo- limosos, siendo el más común el denominado suelo ñaú, que corresponde a una arcilla gris de tipo suelo tropical residual. Intercalado con el meláfiro se pueden encontrar lentejas irregulares de areniscas de muy alta permeabilidad (Reinert, 2007).

Oberá se sitúa al centro de la provincia, a 96km de Posadas, 45km de la frontera con Brasil y 55km de Paraguay; está rodeada por ruta nacional 14 y hacia ella llegan las rutas provinciales número 103 y 105 (ver figuras 1 y 2).



Figuras 1 y 2. Ubicación geográfica de Oberá. Casco urbano de la ciudad de Oberá (Google Earth, may-2010)

Fundada en 1928 por inmigrantes de diversas colectividades europeas y sudamericanas, cultivando mayormente té y yerba mate, comenzando así la suplantación de la densa selva misionera por campos de arbustos y cultivos.

OBJETIVOS

Estudiar la variabilidad temporal de los cambios de usos del suelo de una cuenca piloto.

Utilizar un modelo de respuesta hidrológica en una micro cuenca urbana de la ciudad de Oberá, provincia de Misiones, estudiando la evolución temporal y cambio de uso del suelo con el fin de conocer el impacto hidrológico del avance de la urbanización en una región caracterizada por altas pendientes e intensas precipitaciones.

ANTECEDENTES REGIONALES

El escurrimiento de agua en una cuenca depende de diversos factores, siendo uno de los más importantes, las características fisiográficas de la misma (Springall, 1980). Entre estas se mencionan área, pendiente, elevación de la cuenca, características físicas del cauce principal como longitud y pendiente, red de drenaje, entre otros.

La mayor cantidad de estudios de la región del NEA estuvo asociada a la descripción del funcionamiento hidrológico en zonas de poca energía de relieve; y para la antigua concepción de la hidrología sanitarista, las zonas de montaña presentaban condiciones óptimas de evacuación de excesos de lluvia, dadas las altas pendientes que producían una rápida concentración y salida de los excesos, con menores zonas de anegamiento y rápida restitución a los cursos receptores.

Ante el permanente crecimiento urbano, poco planificado y con consecuencias no deseadas en el sistema natural de desagüe pluviales, aparece la necesidad de abordar el conocimiento de los procesos hidrológicos en cuencas urbanas de zonas serranas.

Existen diferencias entre cuencas de media a elevada pendiente y de llanura, siendo una de las más relevantes la temporal.

En cuencas de fuertes pendientes, el escurrimiento superficial tiene una distribución que se asemeja bastante a la de la precipitación, presentándose caudales de salida con escaso retraso temporal respecto a su concentración. Comparativamente, en zonas de llanura este escurrimiento presenta un retraso mayor, dando lugar a una superposición de efectos determinantes en los procesos de anegamiento (Zimmerman, 2004).

En zonas de bajas pendientes, el agua se mueve más lentamente y además las pequeñas depresiones generan retenciones superficiales. El flujo lento y las retenciones favorecen la infiltración y la evaporación, los que suelen darse por prolongados periodos de tiempo y extensas zonas. Y en zonas de fuertes pendientes, las pérdidas durante las tormentas suelen ser de menor magnitud, generando mayores volúmenes de excedentes y a mayores velocidades.

El agua que se infiltre estará disponible por más tiempo en zonas de llanura generando un mayor flujo vertical. En cambio en zonas de serranas, el flujo es mayormente horizontal producido por el escurrimiento superficial y subsuperficial.

Si bien, ante iguales texturas de suelo, la infiltración es menor en zonas serranas, la misma puede generar grandes volúmenes ante tormentas prolongadas; una saturación de humedad en suelos de las laderas de altas pendientes disminuye, la estabilidad de taludes naturales de tierra produciendo deslizamientos y flujos de lodos.

Este tipo de fenómeno es característico de ciudades de regiones tropicales y subtropicales de topografía accidentada, pero se agravan en urbes de gran densidad poblacional con urbanizaciones desarrolladas sobre y al pie de laderas factibles de deslizamiento. Entre las ciudades más afectadas cada año es posible citar a Río de Janeiro, Brasil o Manizales, Colombia con promedio de 13,8 deslizamientos y casi siete muertes por año en las últimas seis décadas (Cortés Cortés, 2010).

En el marco del curso de postgrado en hidrología urbana, Huk y Mercanti (1999) presentaron una caracterización de los caudales superficiales generados por cuencas urbanas de Posadas, de 0,82 a 53,5ha de superficie. Para la obtención de los caudales realizaron la caracterización y parametrización de las cuencas como usos del suelo, clasificación de los suelos, tiempos de concentración, coeficientes de escorrentía y rugosidad.

Luego proyectaron que el incremento de caudales pico en los próximos diez años podría ser de 38% según tendencias históricas de incremento de ocupación del suelo, mientras que con aplicación de medidas de control en la tasa de crecimiento podrían incrementarse solo 23%.

Entre los trabajos más recientes es posible citar el de la cuenca Cisterna, Resistencia, Chaco, (Ruberto et al., 2011) donde se analizaron la variación temporal y espacial de la impermeabilidad en la misma, considerando cinco escenarios correspondientes a los años 1972, 1976, 1995, 2007 y 2011, llegando a la conclusión de que en esos cuarenta años las zonas impermeables se incrementaron en forma sostenida en porcentaje de 13% cada 10 años.

METODOLOGÍA

Se estudió la cuenca Beltrame, que toma el nombre de su principal avenida (figura 6).

Se reconstruyeron tres escenarios de usos y ocupación del suelo, siendo el primero el denominado escenario original, constituido íntegramente por selva paranaense, el cual puede ser considerado a inicios del siglo XX, antes de la fundación de Oberá,; un segundo escenario con los primeros vestigios de la urbanización correspondiente a 1962 y el tercero del año 2012.

Se utilizó el modelo ArHymo V2.0 (Maza et al., 1996) del Instituto Nacional del Agua (INA), específicamente la rutina URBHIDRO correspondiente a una cuenca urbana.

Una de las discretizaciones más importantes que realiza el modelo es la separación entre áreas permeables en impermeables, donde cada superficie genera un hidrograma unitario como embalse lineal (Chow et. al. 1994) según:

$$S \cdot k = Q \quad (1)$$

Donde:

S : almacenamiento

Q : caudal

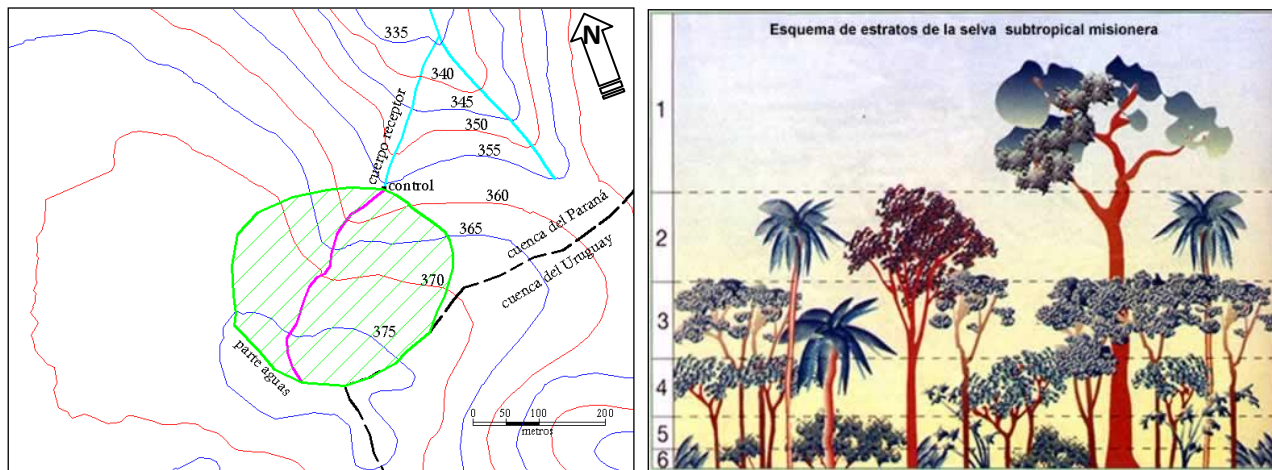
k : coeficiente de almacenamiento

En cuencas urbanas se debe distinguir superficies impermeables como directa e indirectamente conectadas. Las segundas circulan por áreas permeables antes de alcanzar el sistema de drenaje, donde parte del escurrimiento de estas superficies se infiltra y los excesos serán menores que el del sector impermeable directamente conectado.

Escenario próximo al estado original - año 1900

El trazado del área de aporte fue determinado con la topografía de la misma y para el mismo punto de control de la cuenca actual, obteniendo un área de 7,75ha.

Anterior al avance de la urbanización del sector, la misma se presentaba como selva misionera, con seis estratos de poblaciones arbóreas, renovales, arbustos y herbáceas que proveían cobertura areal al suelo e importantes pérdidas por intercepción a las lluvias.



Figuras 3 y 4. Curvas de nivel cuenca Beltrame original. Estratos de la selva misionera (Área Silvestre Protegida Caagui-Yara, 2002)

Escenario de 1962

Para evaluar el mismo se utilizó la carta topográfica confeccionada por CARTA (1963), que contenía un relevamiento de calles y viviendas y fue corroborado con un relevamiento a campo y consultas.

En esa fecha la ruta nacional n° 14, funcionaba como divisoria de aguas y concentraba los excesos de precipitación en una zona baja donde había una alcantarilla de paso que oficiaba como salida de la ruta y de la cuenca.

En 1962, la cuenca Beltrame había sufrido modificaciones por la existencia de la ruta, por lo que el área de aporte fue modificada y era de 9,77ha.

Esta modificación del área de aporte permitió captar excesos provenientes de nuevas calles entoscadas (ver figura 5); de manera similar las calles vecinales materializadas al este captan aguas de algunos lotes y la derivan hacia otro punto de control. Entonces la nueva superficie de aporte resulta 26% mayor que la original.

Para dicha época, la zona en estudio presentaba un muy bajo índice demográfico, debido a que se encontraba en las afueras de la ciudad. Si bien la zona se encuentra a unos escasos 1300 m del centro cívico, la ciudad creció en esa dirección durante varias décadas puesto que hacia allí se encontraba emplazado el aeroclub de la ciudad de Oberá.

Hasta ese momento la ruta y todos los caminos vecinales eran de tierra colorada compactada con capa superior basalto descompuesto (tosca). La mayor proporción de usos del suelo estaba dada por plantaciones de yerba mate, pastizales para ganado y cultivos para demanda domiciliaria.

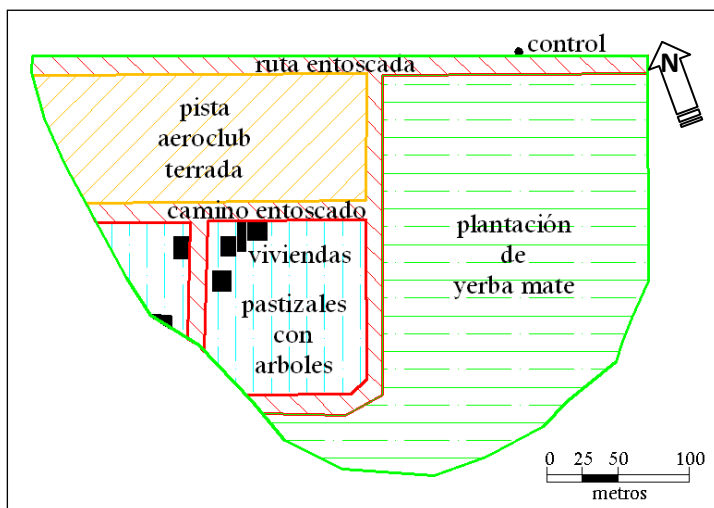


Tabla 1. Usos del suelo en la cuenca Beltrame

Usos	Áreas	
	m2	%
Aeroparque terrada	19,620.44	20.07%
Calles y rutas entoscadas	13,007.99	13.31%
Viviendas	674.95	0.69%
Plantación de Yerba Mate	48,469.18	49.59%
Pastizales con árboles	15,963.73	16.33%
TOTAL	97,736.29	100.0%

Figura 5. Usos del suelo de la cuenca Beltrame - escenario año 1962.

Las únicas superficies cubiertas totalmente impermeables eran techos de viviendas, indirectamente conectadas al sistema de desagües pluvial, y representaban 0,69%.

Calles y rutas entoscadas, más la pista de aterrizaje terrada han sido considerados como impermeables también porque poseen cierta compactación, no controlada.

Escenario correspondiente a 2012

La fisonomía y usos del suelo han cambiado luego de cincuenta años; actualmente, y relocalizado el aeropuerto, la cuenca se encuentra totalmente urbanizada, con ocupación de suelos muy variada pero casi sin vestigios de las características originales del lugar (figura 6).

La ex Ruta Nacional 14 es hoy una avenida ancha, con viviendas de uso residencial y la mayoría con uso de locales comerciales. En el parterre central aparecen superficies con césped y ejemplares de árboles de gran tamaño y edad, implantados en esas últimas décadas.

El material de la avenida es pavimento flexible, salvo los andenes de estacionamientos sobre las plazuelas que son de pavimento empedrado tipo brasilero. Las demás calzadas también están constituidas por pavimentos flexibles y empedrados; todas con cordón cuneta de hormigón.

Las manzanas linderas a la avenida presentan una densificación mayor, con edificios de uno a tres niveles, grandes superficie de techos y bastante superficie de piso impermeabilizados.

Los lotes de las manzanas más alejadas de la avenida contienen, en su mayoría, residencias de clase media, con patios con césped y árboles de mediana magnitud, y también árboles frutales, en su mayoría cítricos.

Dentro de la cuenca se encuentra un lote de dimensiones de 100m por 150m, correspondientes a una iglesia católica ucraniana; posee la iglesia propiamente dicha y un salón de eventos, grandes extensiones de pisos impermeables y césped, como canchas de futbol y parques con árboles.

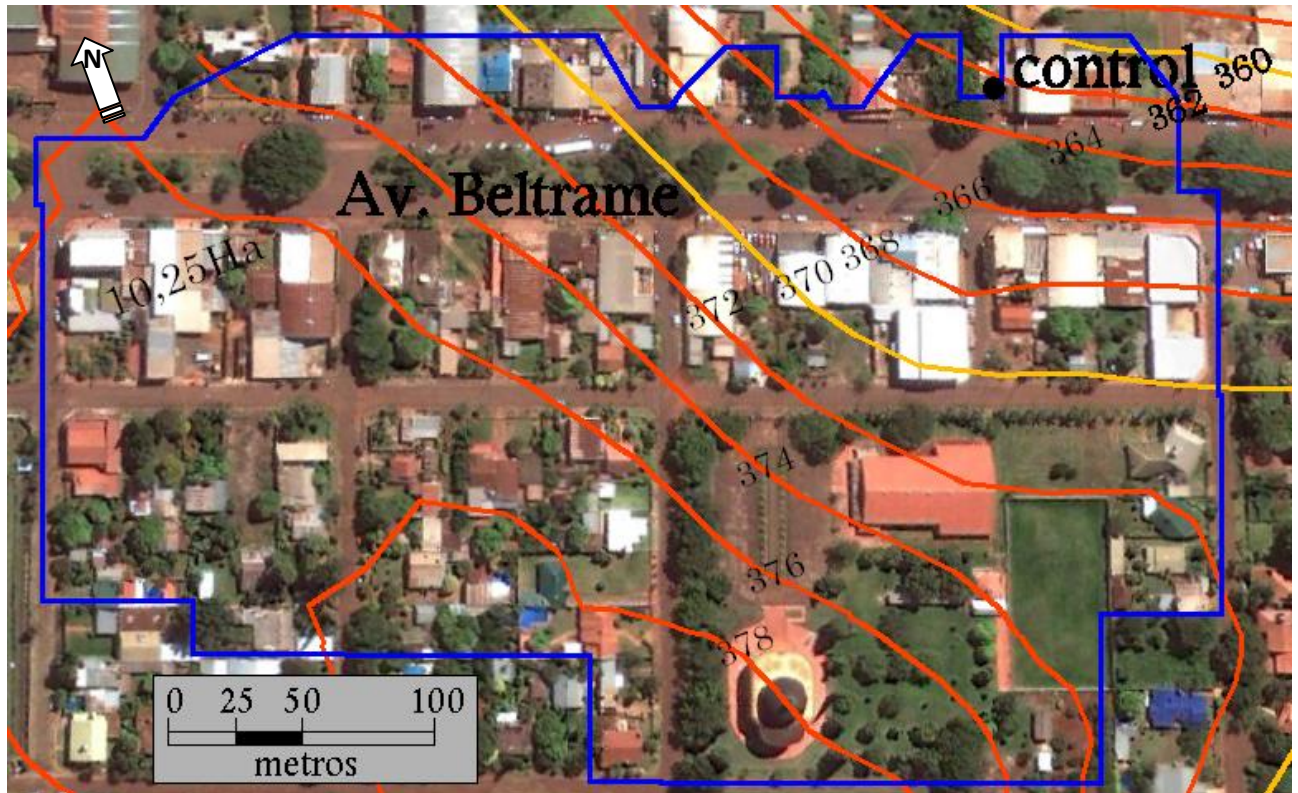


Figura 6. Cuenca Beltrame (mayo 2010, Google earth).

El área de la cuenca Beltrame en 2012 es de 10,38ha y representa aumento de 6,24% referido al área del año 1962 con los primeros esbozos de urbanización y 33,9% comparado con la cuenca original. Los usos del suelo actualizados a 2012 se presentan en la tabla siguiente:

Tabla .2 Usos del suelo en la cuenca Beltrame - año 2012.

Área total 103.812 m ²	Superficies impermeables 64.194 m ² 61,84%	Directamente conectados 45.522 m ² 43,85%	Indirectamente conectados 18.672 m ² 17,99%	Superficies permeables 39.618 m ² 38,16%	Suelos protegidos 35.090 m ² 33,80%	Suelos desnudos 4.528 m ² 4,36%	Techos DC	19.021 m ²	18,32%
							Pisos DC	6.357 m ²	6,12%
Veredas Impermeables	5.965 m ²	5,75%							
Pavimento flexible	12.452 m ²	12,00%							
Badenes	450 m ²	0,43%							
Cunetas	1.276,48 m ²	1,23%							
Techos IC	10.133 m ²	9,76%							
Pisos IC	3.411 m ²	3,30%							
Empedrado brasilero	5.119 m ²	4,93%							
Pastos	23.852 m ²	22,98%							
Árboles	11.238 m ²	10,83%							
Veredas permeables	2.533 m ²	2,44%							
Suelos desnudos	1.994 m ²	1,92%							

Tormenta simulada

Para la comparación de la respuesta hidrológica de los distintos escenarios se utilizó una tormenta de dos años de recurrencia y duración 30 minutos. Se utilizaron las curvas IDF de la localidad de Cerro Azul, Misiones (Litwin y Franco, 1987), ubicada 36km al suroeste de la cuenca de estudio, presentándose como la estación más cercana con curvas IDF confeccionadas.

Para el diseño del hietograma (ver tabla 3 y figura 7), se utilizó el método de bloques alternos (Riccardi, 2004), obteniéndose así precipitación total de 28,9mm e intensidad máxima de 99mm/h.

Tabla 3. Tormenta de diseño para 2 años de recurrencia y 30 minutos de duración.

Tiempo	[min]	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Precipitación	[mm]	1.3	1.5	1.6	1.9	2.2	2.6	3.3	2.9	2.4	2	1.7	1.6	1.4	1.3	1.2

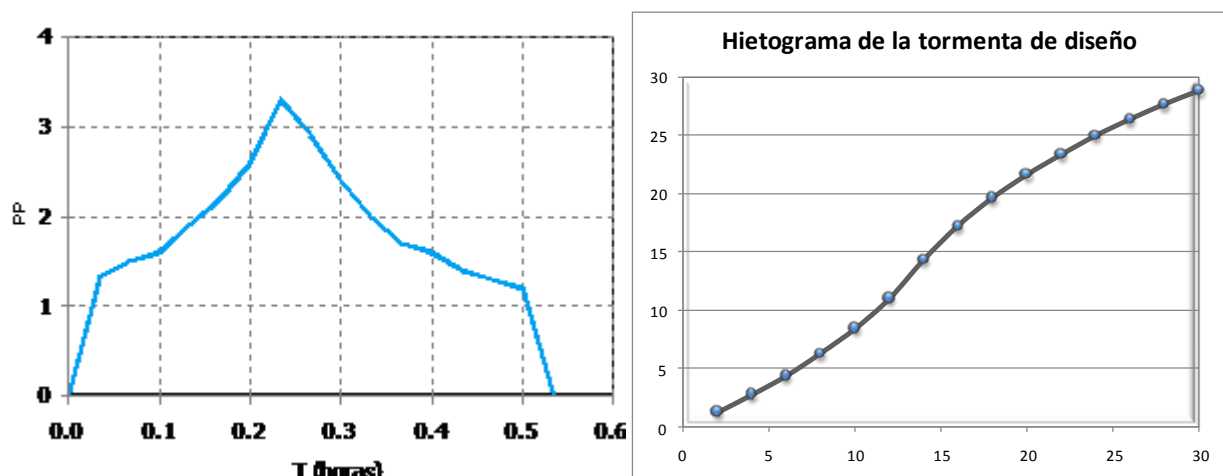


Figura 7. Distribución e hietograma de la tormenta de diseño.

RESULTADOS

Los parámetros de referencia que se utilizaron en cada una de las modelaciones son aquellos validados mediante la calibración de la cuenca Beltrame en la situación actual.

Para las tres modelaciones se utilizó un coeficiente de embalse lineal para zonas impermeables K_i de 0,08min y para zonas permeables K_p de 4,8min.

Los parámetros que difieren en las distintas modelaciones son los obtenidos en los relevamientos y análisis de los usos del suelo, como son el área de la cuenca, zonas impermeables totales y directamente conectadas, distintos almacenamientos superficiales y las pérdidas evaluadas con el CN y las abstracciones iniciales I_a .

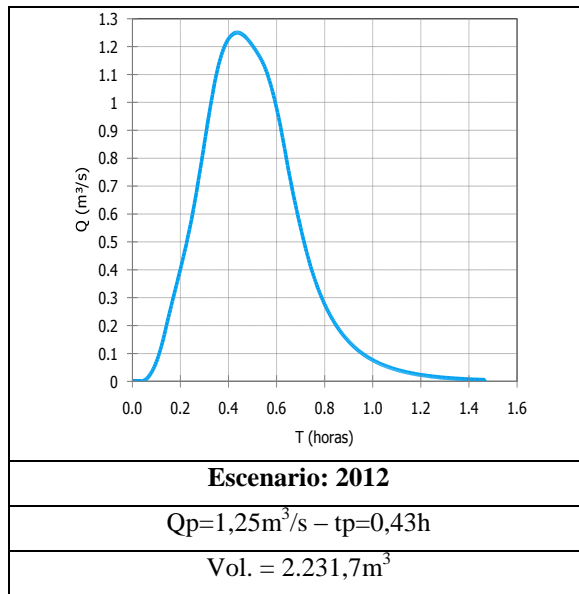
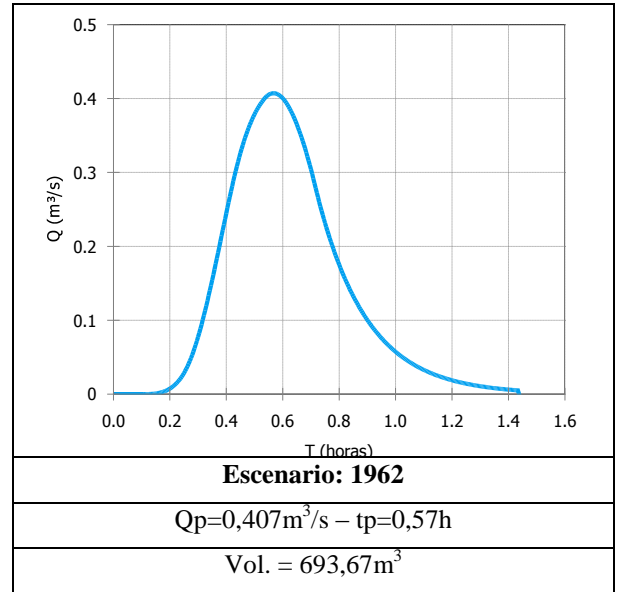
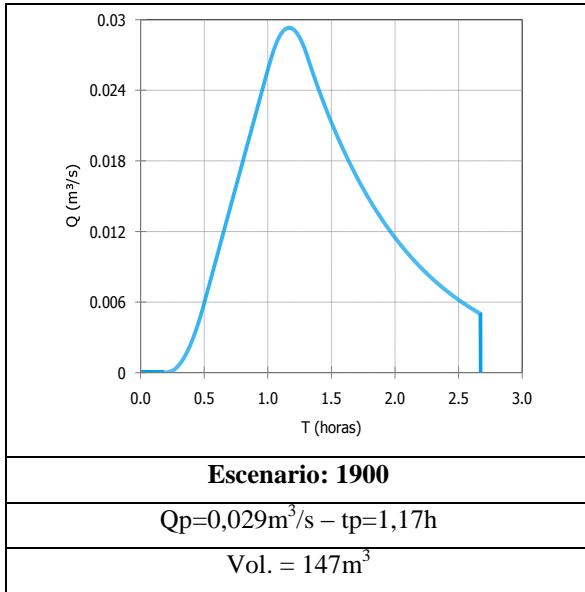
En tabla 4 se detallan los parámetros y variables utilizadas y los resultados de la modelación de los tres escenarios. También se realiza una comparación de la variación de las áreas de aporte, excesos de precipitación, caudal máximo, volumen de escurrimiento directo y tiempo al pico.

Tabla 4. Tormenta de diseño para 2 años de recurrencia y 30 minutos de duración

Parámetro y/o variable			Escenarios		
			1900	1962	2012
Cuenca	Área	[ha]	7.75	9.77	10.38
	Diferencia respecto al original	[%]		26.1	33.9
	Humedad antecedente	[adm]	III	III	III
	Δt	[min]	0.25	0.25	0.25
	Área impermeable total	[%]	0	40.07	63.5
	Área Impermeable directamente conectada	[%]	0	2	45.0
	CN	[adm]	55	68	89
	I_a	[mm]	7.8	4.2	2.4
Área permeable	Almacenamiento en depresiones	[mm]	6	5.0	2
	K embalse lineal	[h]	0.08	0.08	0.08
		[min]	4.8	4.8	4.8
Área impermeable	Almacenamiento en depresiones	[mm]	0.0	1.0	3.0
	K embalse lineal	[min]	0.08	0.08	0.08
Tormenta	Precipitación total	[mm]	28.9	28.9	28.9
	Precipitación en exceso	[mm]	1.9	7.1	21.5
	Diferencia respecto al original	[%]		273.7	1031.6
Escorrentía	Q máximo modelo	[m ³ /s]	0.029	0.407	1.25
	Diferencia respecto al original	[%]		1303.4	4210.3
	T pico modelo	[min]	70.20	34.20	25.80
	Diferencia respecto al original	[min]		-36.0	-44.4
	Coefficiente de escorrentía	[adm]	0.07	0.25	0.74
	Volumen escurrido	[m ³]	147.25	693.67	2231.7
	Diferencia respecto al original			371.1	1415.6

En las figuras 8, 9 y 10 se observan: los hidrogramas de respuesta de los tres escenarios para la misma tormenta de diseño. Dicha tormenta representa un evento propio, medido, calibrado y validado de la región.

El incremento en volumen de escurrimiento directo es debido a menores pérdidas por aumento de superficies impermeables y el incremento en el cambio de área de aporte debido a la construcción de calles y sus desagües pluviales.



Figuras 8 - 9 y 10. Hidrogramas de escurrimiento directo de los tres escenarios.

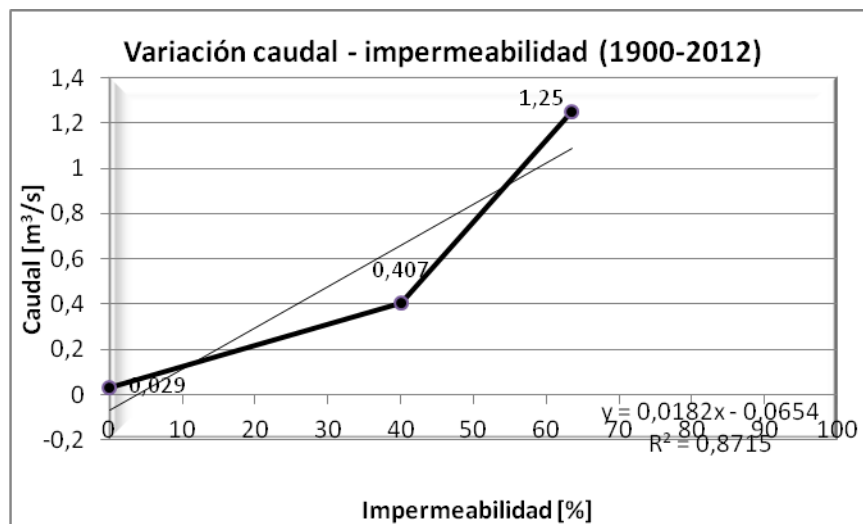


Figura 11. Relación caudal – impermeabilidad

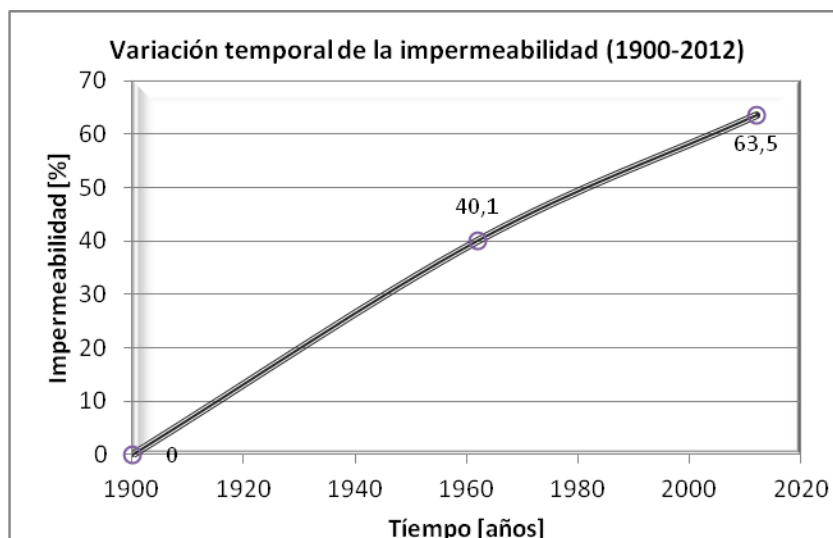


Figura12. Variación temporal de la impermeabilidad

En figura 11 se presenta la relación caudal – impermeabilidad, donde se observa que el mismo crece linealmente a lo largo de los ciento trece años analizados, aumentando con tasa media decádica según dos tramos: de 1900 a 1962 el aumento de impermeabilidad hace aumentar el caudal pico en razón de $0,061\text{m}^3/\text{s}$ cada diez años y en el período 1962 - 2012 de $0,169\text{m}^3/\text{s}$ cada diez años, con valor medio de $0,115\text{m}^3/\text{s}$ cada diez años.

Se observa en figura 12 que de 1900 a 1962 la variación de la impermeabilidad ha sido a razón de 6,47% cada diez años y de 1962 a 2012, también mantuvo permanente el crecimiento: 4,68% cada diez años. Si bien esta última tasa es menor, no obstante ha mantenido a ritmo sostenido dicho crecimiento.

Para 1962 se obtuvo caudal pico de $0,407\text{m}^3/\text{s}$ y volumen de escorrentía aproximado de $693,67\text{m}^3$. Para el mismo evento, se obtuvo caudal pico de $1,25\text{m}^3/\text{s}$ y volumen de escorrentía de 2.000m^3 para 2012, dicho incremento en estas variables, se debe al aumento del área impermeable en el período considerado, producto del avance en la construcción de residencias.

CONCLUSIONES

El año 1962 tenía grado de impermeabilización de 40,07%, luego con la cuenca totalmente antropizada se ha generado un caudal máximo 1.303% mayor al original.

Para 2012, el grado de impermeabilización es de 63,5% y 45% del total de la superficie está directamente conectada al sistema de desagüe pluviales. Esta situación ha generado un caudal máximo 4.210% mayor al original del año 1900.

En los hidrogramas se observa como el original presenta alta atenuación del caudal pico y los correspondientes a los años 1962 y 2012 muestran mayor caudal pico y menor tiempo al pico.

En período 1900 – 2012 las áreas impermeables se incrementaron 63,5%, el caudal pico del hidrograma se incrementó 4.210% y el volumen de escurrimiento directo aumentó 1.415%.

El aumento de caudales máximos en los sucesivos hidrogramas es proporcionalmente menor al aumento de la precipitación en exceso, pero el incremento de las áreas de aporte, debido a la conducción forzada impuestas por la urbanización, han incrementado el volumen de escurrimiento directo.

Ello evidencia la necesidad de generar medidas mitigadoras para estos y futuros eventos sobre el medio receptor, a través de políticas de ordenamiento territorial y usos del suelo.

La modelación hidrológica es una herramienta eficaz, eficiente, económica y válida para predecir escenarios y poder evaluar el impacto generado, motivado por los distintos usos de suelos.

Fue posible observar el avance de la impermeabilidad desde un mínimo correspondiente a la situación primitiva, con selva original y sin ningún avance urbanístico de 1900 a 2012.

El crecimiento medio de la impermeabilidad, a lo largo de ciento trece años, fue de 5,62% cada diez años en forma sostenida.

Existe relación directa entre la impermeabilidad y el caudal, por lo que es recomendable planificar y controlar el avance de la impermeabilidad en cuencas urbanas, promoviendo sectores verdes o con vegetación, que tengan el efecto de retardar el escurrimiento.

Este análisis hecho para la cuenca Beltrame, es posible proyectarlo a las demás cuencas urbanas de Oberá y/o localidades de similares características.

BIBLIOGRAFÍA

- Compañía Argentina de Relevamiento Topográfico y Aerofotogramétricos “CARTA”** (1963). “Hoja 2754-25-2D3. Buenos Aires.
- Área Silvestre Protegida Caagui-Yara.** (2002). “Flora de Misiones”. <http://www.misionessalvaje.com.ar/flora>.
- Chow V. T.; et al.**(1994). “Hidrología aplicada”; Ed. Mc Graw-Hill. Colombia.
- Cortés Cortés, A. C.** (2010). “Análisis de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación en una ciudad de media montaña andina. Caso de estudio: Manizales”, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. 90 pag.
- Huk J. y Mercanti J.** (1999). “Medidas estructurales y no estructurales de control hidrológico aplicadas a una cuenca urbana de la ciudad de Posadas, Misiones (Argentina)”. Trabajo final Curso de posgrado en hidrología urbana, Facultad Ingeniería, UNNE, Resistencia, Chaco. 20pag.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censo de la República Argentina - INDEC** (2011). “Resultados del Censo 2010”<http://www.indec.com.ar/indec.gov.ar>.
- Jha A. K.; et al.** (2011). “Cities and flooding. A guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century”. The Word Bank, Washington DC, US. 638 pag.
- Litwin C. y Franco P.** (1987). “Estudio hidrológico e hidráulico de tributarios del río Paraná - tramo comprendido entre el río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas”. Informe para Comisión mixta argentino – paraguayana (COMIP). CABA, 245p.
- Maza J.; et al** (1993), “Modelo AR-HYMO”, Manual del usuario, INA-CRA, Mendoza.
- Reinert H. O.** (2007). “Tesis de maestría: Caracterización geotécnica de suelos grises del departamento de Oberá – Misiones” FCEFyN-UNC. Córdoba.
- Riccardi G. A.** (2004). “Apuntes del curso Hidrología en medios antropizados”. FCEIA-UNR. Rosario.
- Ruberto A. R. et al.** (2011). “Variación de la impermeabilidad en una cuenca urbana de llanura y su impacto en el escurrimiento superficial” XXIII Congreso nacional del agua. Resistencia, Chaco. 18p.
- Springall R.** (1980). “Hidrología. Primera parte”. Series Instituto de Ingeniería - UNAM. D.F., México. 210 pag.
- Tucci C. E. y Bertoni J. C.** (2003). “Inundaciones urbanas en América del Sur”. Global Water Partnership. World Meteorological Organization. ABRH, Porto Alegre, Brasil. 150 pag.
- Zimmermann E. R.** (2004) “Apuntes del curso: Análisis de sistemas hidrológicos” FCEIA-UNR. 3ra ed. Rosario.
- Google Earth** (2010). Imagen de 3 de mayo de 2010. www.googleearth.com.