

**USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA E IMÁGENES SATELITALES Y SU APLICACIÓN EN HIDROLOGÍA. CASO DE ESTUDIO: SECTOR NORTE DE CHAÑAR LADEADO (SANTA FE, ARGENTINA)**

Erik Zimmermann, Juan P. Rentería, Hernán Stenta, Gerardo Riccardi  
Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Riobamba 245 bis (2000) Rosario. Santa Fe. Argentina  
e-mail: erikz@fceia.unr.edu.ar

**RESUMEN**

En este trabajo se presenta una múltiple aplicación de tecnologías bajo entorno gráfico para el pre-procesamiento de datos, procesamiento mediante modelación hidrológica-hidráulica de la información y post-procesamiento de la misma para la interpretación de resultados. La información procesada mediante Sistemas de Información Geográfica en formato "raster" sirvió de entrada para el modelo hidrológico-hidráulico CELDAS2 el cual fue implementado mediante una grilla de discretización espacial de 100 m. La topografía se definió sobre la base de un DEM obtenido mediante digitalización de cartas del IGM. Las coberturas, definidas mediante el análisis de las imágenes satelitales, sirvieron para definir rugosidades y números de curva CN. La información se complementó mediante tareas de relevamiento in situ. El modelo CELDAS2, apto para el diseño de estructuras de ordenamiento hídrico en áreas de llanura, fue aplicado en el saneamiento de áreas inundables ubicadas al norte de la localidad de Chañar Ladeado. El uso de herramientas de análisis en entorno gráfico, tal como la plataforma denominada SIMULACIONES, diseñada especialmente como complemento del modelo, ha permitido una rápida y muy detallada interpretación de los resultados.

Palabras claves: Sistemas de Información Geográfica, Imágenes Satelitales, Hidrología, Chañar Ladeado

**ABSTRACT**

In this work, a multiple application of technologies under graphical environment for the pre-processing, data processing with an hydrological-hydraulic model, and post-processing for the interpretation of results. The information processed by means of a Geographical Information System (GIS) served as input for the hydrological-hydraulic model CELDAS2, which was implemented with a spatial grid of 100 m. The digital elevation model (DEM) was obtained by means of digitalization of IGM (Military Geographic Institute) cartography. The coverings, defined by means of satellitary image analysis, allows to define roughness and Curve Number (CN) of soils. The information was supplemented by means of classified supervision in situ. The model CELDAS2, suitable for flatland hydrology and planning design, was applied in the reparation of flooding areas located at north of the Chañar Ladeado town. The use of analysis tools in graphic environment, just as the platform denominated SIMULATIONS, designed especially like complement of the model CELDAS2, has allowed a quick and very detailed interpretation of the results.

**Keywords:** Geographic Information System, Satellitary Image, Hidrology, Chañar Ladeado town

## INTRODUCCIÓN

Los modelos matemáticos hidrológicos generalmente operan en forma distribuida desde un punto de vista espacial, demandando en consecuencia, un volumen de información muy elevado difícilmente disponible.

Asimismo, la gran extensión areal de los sistemas en llanura, sistemas que constituyen el objeto de estudio de numerosas investigaciones locales, realza la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la gestión de la información de entrada y el análisis de resultados.

Los SIGs conforman herramientas tecnológicas muy adecuadas para analizar la regionalización de variables hidrológicas así como la clasificación de áreas homogéneas ecológicamente (Rango, 1989; Bosque et al 1994).

La información brindada por mapas de suelo, de cobertura vegetal, de humedades, mapas geológicos y Modelos Digitales de Terreno o de Elevación . (DEM) constituye la base sobre la cual pueden estimarse los parámetros de modelos matemáticos hidrológicos.

Los trabajos publicados sobre SIG y Sensoriamento Remoto (SR) son numerosos y abarcan una amplia gama en lo referente a sus aplicaciones a los recursos hídricos (Bocco et al, 1994; Baumgartner et al, 1997).

Las imágenes satelitales tomadas con sensores que barren el espectro electromagnético permiten estimar variables hidrológicas con bastante precisión y en forma sistemática (en el tiempo). Las imágenes en el infrarrojo cercano (NIR) y termal (TIR) y en las bandas de microondas (MW) se utilizan para estimar la emisividad superficial, flujos de calor sensible y latente, humedad del suelo, déficit de saturación del aire (para estimar evapotranspiración), campos de precipitación, porcentajes y tipos de cobertura vegetal (previa clasificación), como así también, índices de área foliar, entre otras variables de importantísimo interés hidrológico (Zimmermann, 2002).

Las imágenes generadas con altímetros láser e interferometría con la apoyatura de imágenes de RADAR, permiten construir modelos digitales de terreno (DEM) de mayor precisión que las cartografías existentes (IGM), lográndose analizar aspectos geomorfológicos tales como redes de drenaje (Owe et al, 2000).

En el espectro visible pueden detectarse los almacenamientos superficiales, sus patrones de flujo, escur-

rimiento, erosión de suelos y calidad ambiental. Debe recalcar la necesidad de complementar las mediciones de reflectancia, provistas por Sensores Remotos, con trabajo de campo para utilizar técnicas de clasificación supervisada.

Por otro lado, en el Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales se ha desarrollado un sistema de modelación, basado en los esquemas de celdas originalmente propuestos por Cunge (1975). En sucesivas investigaciones se ha ampliado el campo de aplicación original (Riccardi et al, 1995; Riccardi, 1997 y 2000). Actualmente, el sistema permite la simulación de escurrimiento superficial multidireccional en ambientes rurales y urbanos. En cada unidad de la capa superficial es posible plantear el ingreso de flujo proveniente de precipitación neta, aporte de caudales externos e intercambio de caudales con celdas adyacentes. El escurrimiento resultante puede ser propagado mediante un espectro de leyes de descarga desde aproximaciones cinemáticas a difusivas de la ecuación de momento, permitiendo el tránsito por ríos, canales y valles de inundación. Para contemplar alternativas puntuales de flujo se incorporaron leyes de descarga para puentes, vertederos y alcantarillas. El sistema se denominó **CELDAS2D** y no se realizaron versiones comerciales del mismo.

Complementariamente se desarrolló una plataforma computacional para la gestión y el manejo de información que opera conjuntamente con el modelo de simulación de escurrimiento superficial CELDAS2D, el cual está programado bajo entorno DOS.

La plataforma se constituyó con un entorno gráfico similar al sistema operativo de ventanas, con lo que se realiza de manera más práctica y sencilla todo lo relacionado con la entrada de datos al sistema y con la salida e interpretación de los resultados generados por el modelo, logrando además compatibilidad con otros programas basados en el mismo sistema operativo.

Puede vincularse con Sistemas de Información Geográfica (SIG), lo que permite la agilización de transferencia de información desde y hacia los mismos.

Esta plataforma se denomina **SIMULACIONES** versión 2.0 (Rentería y Stenta, 2003) y permite la representación de mapas de alturas, velocidades y caudales en un dominio bidimensional. Actualmente continúa en desarrollo.

En este trabajo se presenta una aplicación de estas herramientas para proponer soluciones a los frecuen-

tes anegamientos que sufre un sector ubicado al oeste de la provincia de Santa Fe, al norte de la localidad de Chañar Ladeado.

## APLICACIÓN EN LA CUENCA DE ESTUDIO

El conjunto de herramientas mencionadas fue aplicado para resolver la problemática de anegamiento hídrico de amplios sectores rurales ubicados al norte de la localidad de Chañar Ladeado. El trabajo se implementó mediante un convenio firmado entre la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura y la Comuna de Chañar Ladeado.

### Descripción de la cuenca

La cuenca de aportes se caracteriza por un relieve plano, de escaso drenaje natural surcado por depresiones en donde se observan lagunas de pequeña magnitud (Figura 1).

El área puede subdividirse en dos subáreas con características morfológicamente diferenciadas:

- El sector de cabecera de cuenca, cuya característica principal es la baja pendiente (inferior a 0,4 m/km) donde las precipitaciones se almacenan superficialmente. En periodos secos estos almacenamientos se infiltran o evaporan, pero en periodos húmedos junto al fenómeno de niveles freáticos elevados la única salida de los aportes almacenados es la evaporación. Si a esta combinación de efectos se adiciona las bajas tasas de evaporación que se dan en los meses otoñales e invernales todo redundando en largas permanencias de bajos naturales anegados.
- El sector distal de la cuenca, con pendientes mayores (entre 2,8 a 7,6 m/km), con buen drenaje hacia la cañada de Las Totoras, ubicada a la derecha de la Figura 1. En este sector no se observan almacenamientos superficiales permanentes y las líneas de escurrimiento están bien definidas.

La delimitación trazada para el estudio comprende el sector de cabecera al sur, con extensión hacia el NE, siendo la sección de cierre la descarga de la cañada en Las Totoras. Abarca un área del orden de las 3.000 Has. La pendiente media del sector es en la dirección SO-NE y del orden del 3,5 m/km.

La figura 2 muestra una Imagen LANDSAT en falso color, superpuesto con el plano catastral, las curvas

de nivel relevadas por el IGM y la traza de la cañada relevada para la zona de estudio. Allí las áreas oscuras representan zonas húmedas y de almacenamientos de agua, las áreas claras están densamente cultivadas y las áreas intermedias con densidad media de cultivos.

## TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Se dispuso de mapas de curvas de nivel (IGM) de la zona de estudio en soporte papel, de mapas catastrales en soporte digital (sistema CAD), de imágenes satelitales LANDSAT y de información topográfica relevada durante las tareas de campaña que se realizaron. Toda esta información debió ser adecuada a una misma escala y ubicación geográfica de referencia.

Los mapas de curvas de nivel fueron escaneados, vectorizados y georeferenciados utilizando rutinas del SIG IDRISI (RESAMPLE). El mapa catastral, originalmente realizado en formato CAD, fue exportado a formato DXF e importado a formato compatible con IDRISI y posteriormente georeferenciado a sistemas de coordenadas globales UTM. Igual trabajo demandaron las imágenes satelitales, las que fueron recortadas y concatenadas junto al plano catastral y a las curvas de nivel digitalizadas. El conjunto se georeferenció en coordenadas UTM. La figura 3 muestra la superposición de una imagen LANDSAT en falso color, con la paleta utilizada para la determinación del índice verde normalizado (NDVI), junto al catastral, curvas de nivel y la delimitación de la cuenca de estudio. Las áreas oscuras representan zonas húmedas y de almacenamientos de agua, y las áreas cultivadas se representan con rangos claros a intermedios, acorde con un grado creciente de cobertura vegetal.

La poligonal de apoyo utilizada en las tareas de campaña para la nivelación de detalle de la cañada principal (fondo y márgenes) fue originalmente volcada a sistema CAD, y posteriormente, escalada y georeferenciada tomando como puntos de referencia las esquinas de los lotes. La coincidencia lograda en la georeferenciación del conjunto fue muy satisfactoria. Digitalizadas y referenciadas las curvas de nivel se construyó un modelo digital de terreno (DEM) utilizando las rutinas propias del SIG IDRISI.

Se discretizó cada mapa con una resolución de 100

m por pixel. Con el DEM obtenido se trazaron los límites de la cuenca recortando las imágenes de acuerdo a sus límites.

La figura 4 muestra en gama de grises el DEM obtenido superpuesto con las curvas de nivel, el plano catastral y los límites de la cuenca.

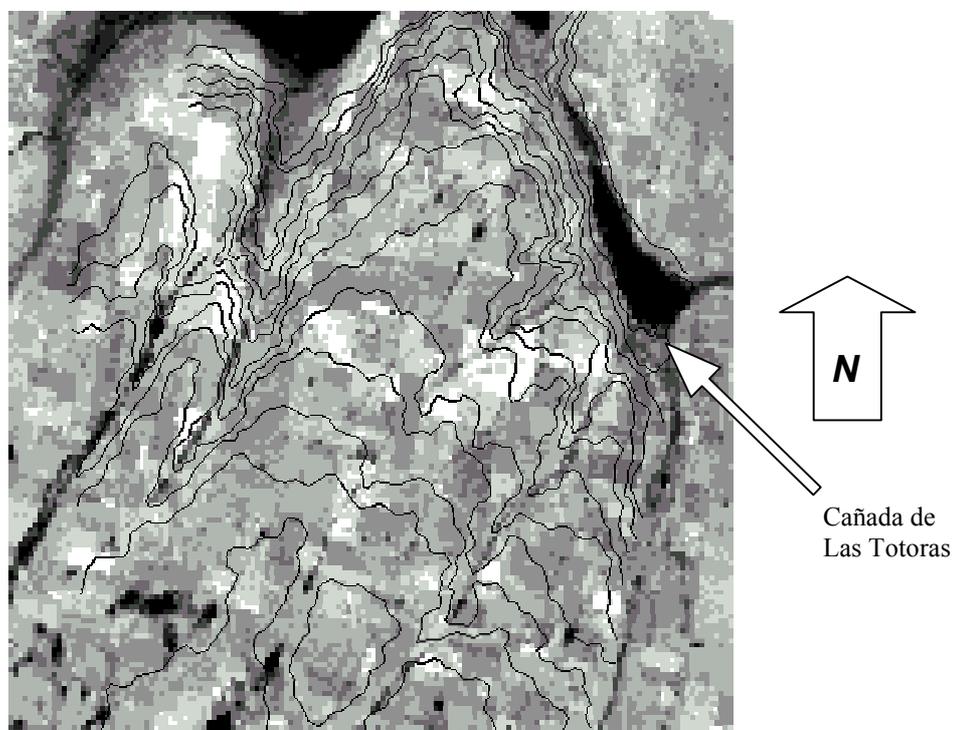


Figura 1: Imagen Landsat de la zona de estudio junto a las curvas de nivel digitalizadas



Figura 2: Imagen Landsat en falso color, superpuesto al plano catastral, curvas de nivel IGM y traza de la cañada relevada

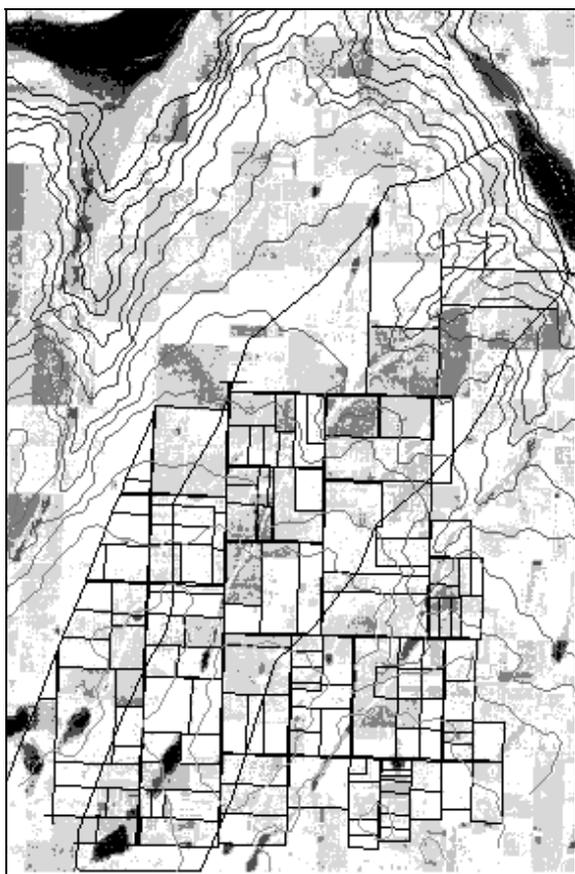


Figura 3: Imagen Landsat en falso color , catastral, curvas de nivel y límites de la cuenca

Las figuras 5 y 6 presentan una imagen satelital en falso color y una clasificación de curvas de nivel, respectivamente, delimitadas en la cuenca de estudio mediante la aplicación del SIG IDRISI.

La figura 7 muestra un mapa de pendientes extraído mediante el uso del módulo SURFACE de IDRISI. Allí, en color blanco se representan los sectores de muy baja pendiente (0,04%), en tonos grises intermedios los de pendiente media (0,3%) y en tonos oscuros los de fuertes pendientes (del orden del 1%) ubicados en los sectores distales.

La figura 8 muestra un mapa de orientaciones de pendiente extraído mediante el uso del módulo SURFACE de IDRISI.

### PROPUESTA DE DRENAJE

La solución general propuesta consistió en la vinculación artificial de los bajos, tratando de intervenir

minimamente en el sistema natural, creando áreas de retención temporarias que descargarán "lentamente" hacia la salida.

Se planteó una alternativa para el saneamiento utilizando como vías de drenaje y como almacenamientos transitorios para reducir los caudales picos las cañadas y los bajos naturales, respectivamente. En la Figura 5 se esquematiza la propuesta de saneamiento consistente en dos retenciones ubicadas en la cabecera y el reacondicionamiento de la cañada principal para mejorar el drenaje hacia la cañada de Las Totoras.

Se complementa la propuesta con el emplazamiento de alcantarillas en los cruces de calles públicas.

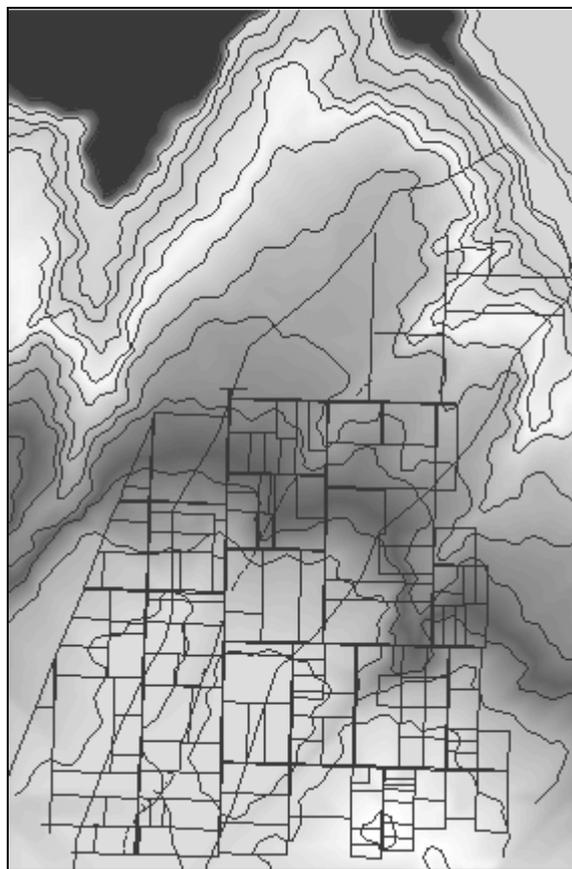


Figura 4: DEM junto a curvas de nivel y catastral.

De esta manera se minimizaron las modificaciones del sistema hidrológico en consideración respetando las áreas que naturalmente son bajos, atenuando los picos de crecida y alterando en menor medida los caudales de aporte natural aguas abajo del punto de salida de la cuenca.

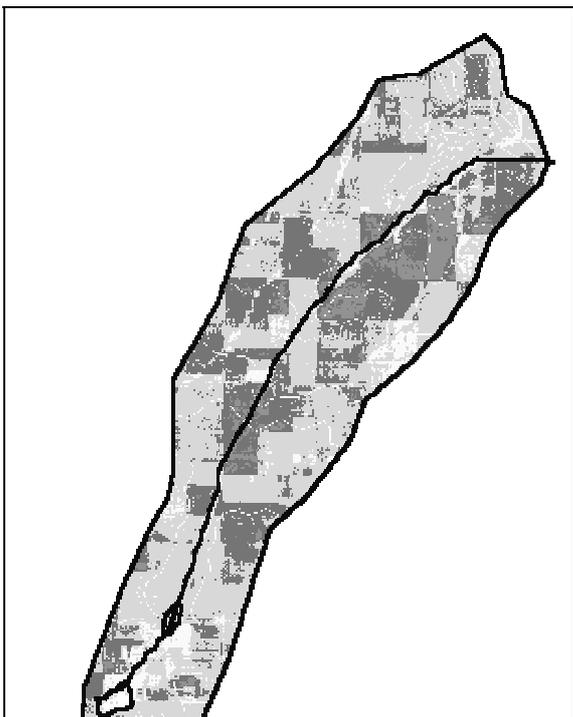


Figura 5: Imagen LANDSAT en falso color

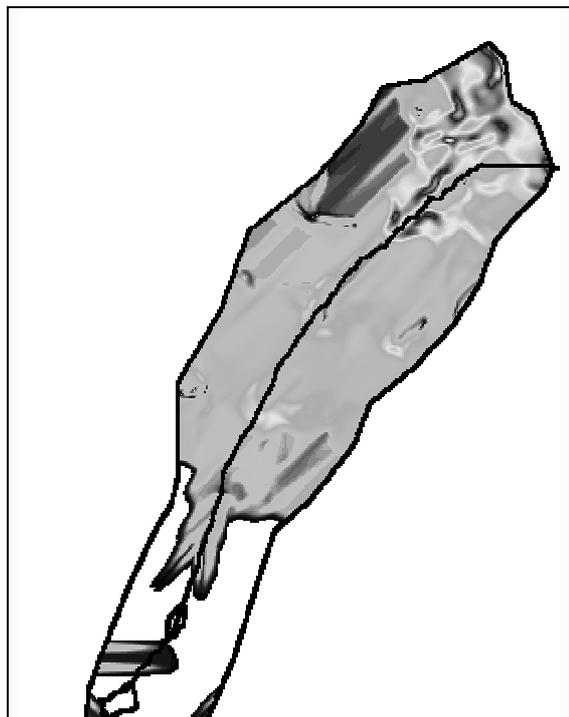


Figura 7: Mapa de pendientes

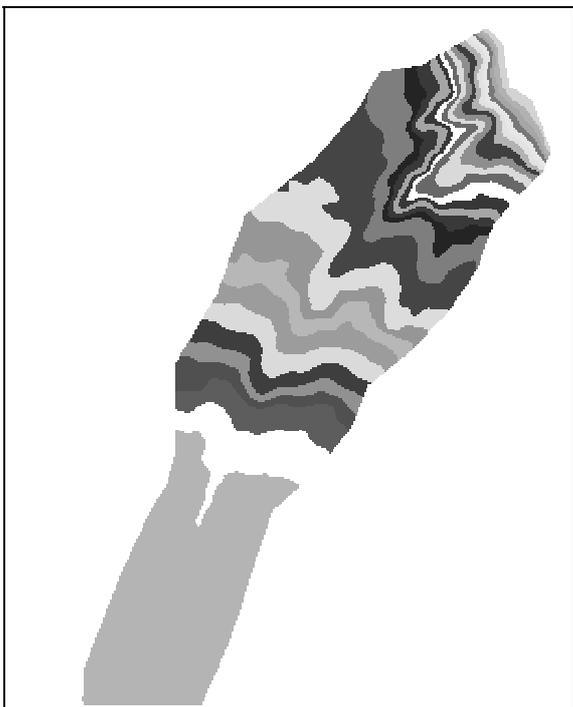


Figura 6: Curvas de nivel clasificadas

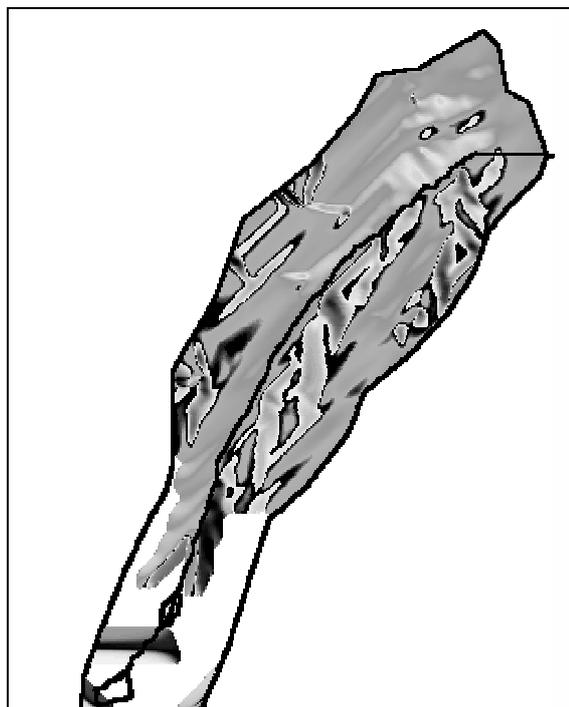


Figura 8: Mapa de orientaciones del flujo

**TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN  
HIDROMETEOROLOGICA**

**Estudio de precipitaciones**

Para considerar la tormenta de diseño se partió de información pluviométrica recopilada por el Sr. Galiano, productor ubicado al norte de la cuenca. Los registros, tomados diariamente, se extienden en un periodo de 40 años (1962-2002), para el cual se realizó un estudio probabilístico para duraciones de 24hs. Se contó también con planillas de información pluviométrica tomada por la Cooperativa de Agua Potable de Chañar Ladeado, con registros desde 1985 a la fecha. Se realizó una comparativa mediante dobles acumulaciones de los registros de ambas series de datos, resultando una correlación aceptable entre ambas. Se optó por trabajar con la serie de Galiano por su mayor extensión temporal.

Para las láminas pluviométricas se seleccionó la distribución de Pearson de tres parámetros dado que presentó la menor desviación entre muestra y población teórica. Los resultados del estudio estadístico se muestran en la Tabla 1 y se detallan en la página siguiente.

**Tabla 1: Láminas pluviométricas para las recurrencias analizadas.**

TR	2 años	5 años	10 años	50 años	100 años	1000 años	Envolvente Regional
P (mm)	87.9	131	161.8	230.8	259.8	355	315

Se ha considerado, además, una envolvente regional obtenida de registros pluviográficos de tormentas que han causado anegamientos inéditos en poblaciones de la región.

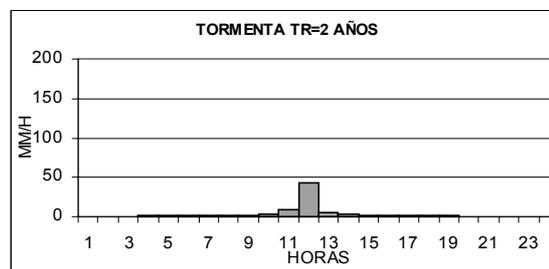
Se consideró para la elaboración de la envolvente regional los registros de la tormentas de Pergamino en abril de 1995, Rosario en marzo de 1996 y Cañada de Gómez en noviembre de 2000. Se construyeron los hietogramas de diseño siguiendo el método del bloque alterno, con intervalos de una hora, utilizando las curvas Intensidad, Duración y Recurrencia de la estación meteorológica Rosario Aero para las recurrencias de diseño

adoptada (Tabla 2).

**Tabla 2: Hietogramas de diseño adoptados.**

Tiempo (hs)	Hietograma 2 años (mm/12h)	Hietograma 5 años (mm/12h)	Hietograma 10 años (mm/12h)	Hietograma 50 años (mm/12h)	Hietograma 100 años (mm/12h)	Hietograma 1000 años (mm/12h)	Envolvente Regional
1	0.71	1.06	1.31	1.86	2.10	2.87	30
2	0.77	1.15	1.42	2.03	2.28	3.12	35
3	0.85	1.27	1.56	2.23	2.51	3.43	50
4	0.95	1.41	1.74	2.48	2.79	3.82	120
5	1.07	1.59	1.97	2.81	3.16	4.31	50
6	1.23	1.84	2.27	3.24	3.64	4.98	30
7	1.46	2.18	2.70	3.85	4.33	5.92	
8	1.82	2.71	3.35	4.78	5.38	7.35	
9	2.44	3.63	4.48	6.39	7.20	9.84	
10	3.79	5.65	6.98	9.95	11.20	15.31	
11	9.39	13.99	17.28	24.65	27.75	37.92	
12	44.14	65.78	81.25	115.90	130.46	178.26	
13	5.36	7.98	9.86	14.07	15.83	21.63	
14	2.96	4.40	5.44	7.76	8.74	11.94	
15	2.08	3.10	3.83	5.46	6.15	8.40	
16	1.62	2.42	2.98	4.26	4.79	6.55	
17	1.34	1.99	2.46	3.51	3.95	5.40	
18	1.14	1.71	2.11	3.00	3.38	4.62	
19	1.00	1.49	1.85	2.63	2.96	4.05	
20	0.89	1.33	1.65	2.35	2.64	3.61	
21	0.81	1.21	1.49	2.13	2.39	3.27	
22	0.74	1.10	1.36	1.94	2.19	2.99	
23	0.68	1.02	1.26	1.79	2.02	2.76	
24	0.66	0.98	1.21	1.73	1.94	2.66	

Las figuras 9, 10, 11 y 12 muestran los hietogramas para algunas de las recurrencias analizadas.



**Figura 9: Hietograma para TR 2 años**

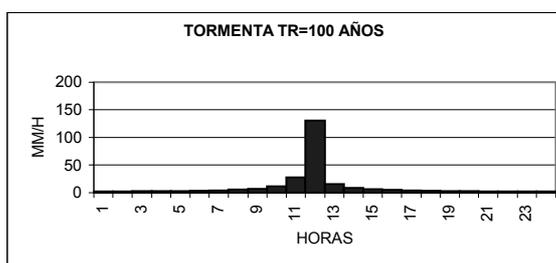


Figura 10: Hietograma para TR 100 años

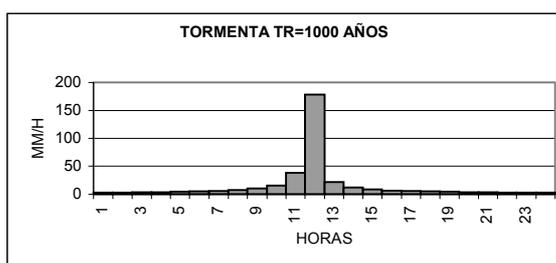


Figura 11: Hietograma para TR 1000 años

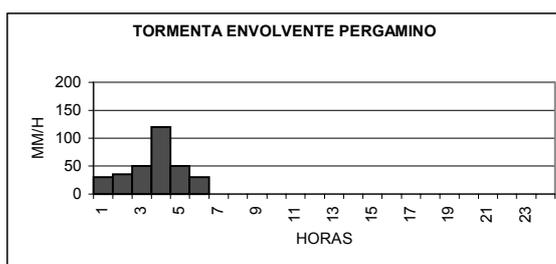


Figura 12: Hietograma envolvente regional

## TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

La información procesada mediante SIG en formato "raster" sirvió de entrada para el modelo de celdas que fue implementado con un tamaño de discretización espacial de 100 m.

Para los fines de la simulación hidrológica-hidráulica la cuenca de aporte fue discretizada en una grilla de celdas de 100 x 100 m sobre la que se definió la topografía en base al DEM y las coberturas definidas mediante el análisis de las imágenes satelitales.

Se tuvo en cuenta la red de avenamiento de la cuenca mediante la interpretación de imágenes satelitales y a las tareas de relevamiento in situ.

Se realizaron exhaustivas nivelaciones topográficas

de caminos rurales, alcantarillas existentes y mediante vadeo se determinaron las profundidades de los bajos inundados a fin de estimar su volumetría. Estas tareas fueron llevadas a cabo por profesionales contratados por la comuna de Chañar Ladeado.

Se estimaron coeficientes de rugosidad para segmentos de cauce, utilizando la metodología propuesta por Chow (1959) para los canales diseñados. Se estimaron también los coeficientes de rugosidad para celdas no encauzadas. Al respecto, se debió recurrir a la experiencia adquirida en otras aplicaciones adoptándose los coeficientes de rugosidad de Manning calibrados para la cuenca del arroyo Ludueña, dado que los tipos de coberturas y pendientes son similares (Zimmermann 1989).

Para esta aplicación, con propósitos de diseño hidráulico se empleó el método del US Soil Conservation Service.

El número de curva (CN) se determinó para un suelo tipo C, de drenaje moderado a bajo, con distintas coberturas y diferentes grados de desarrollo vegetal para pendientes del terreno inferiores al 5%. La figura 13 muestra un mapa de números de curvas obtenido mediante clasificación de coberturas. Para la zona cultivada se utilizó el índice verde normalizado (NDVI), donde los números de curvas oscilaron entre CN = 70 (píxeles de tonalidad intermedia) y CN = 74 (píxeles oscuros). A los sectores bajos, cañadas y lagunas, se les asignó un CN = 86 (píxeles claros). En todos los casos se adoptó la condición de humedad antecedente intermedia (AMC II). Estos CN se utilizaron para cada unidad (celda) en que se discretizó la cuenca.

## SIMULACIONES CON EL MODELO CELDAS2

Se realizaron las simulaciones con el modelo CELDAS2 para las tormentas de diferentes frecuencias y las condiciones antecedentes señaladas y las características geométricas del sistema evacuador (canales y retenciones).

El modelo contempla la posibilidad de considerar celdas de almacenamiento, reguladas por estructuras hidráulicas tales como vertederos, alcantarillas, etc. y terraplenes. Se consideraron retenciones en la cabecera de cuenca, el resto del flujo sigue en condiciones libres por la cañada principal hacia la desembocadura en la cañada de Las Totoras.



Figura 13 . Clasificación de números de curva CN.

Se consideraron las celdas valle y río considerando la cañada principal y se importó el DEM elaborado mediante SIG (Figura 14).

Las figuras 15 y 16 muestran mapas de niveles medios de agua en celdas para recurrencias de 2 y 1000 años y en las horas pico de la crecida. Allí, los colores oscuros representan mayor profundidad.

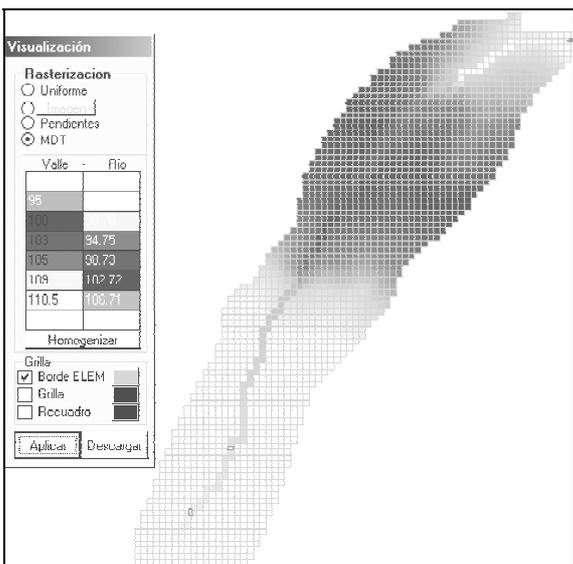


Figura 14. DEM, discriminando celdas valle de celdas río.

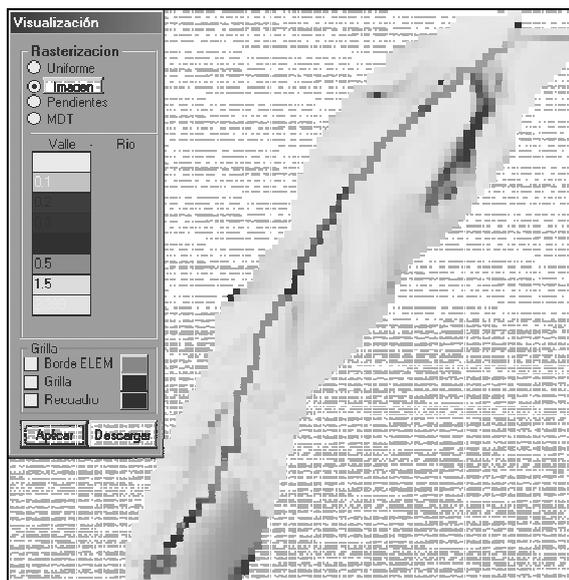


Figura 15. Mapa de niveles de agua Recurrencia = 2 años.

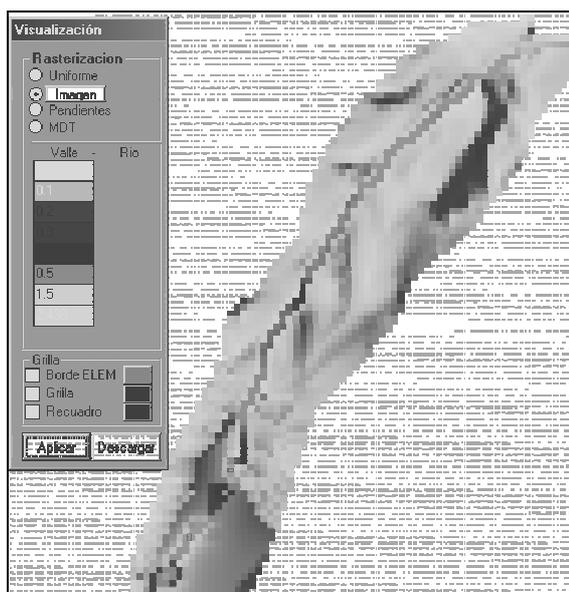


Figura 16. Mapa de niveles de agua Recurrencia = 1000 años.

La tecnología de representación permite tener una visión detallada de las áreas anegadas y de los sectores inundados más comprometidos.

Pueden representarse también perfiles longitudinales como el que se muestra en la Figura 17, para una hora determinada del transcurso de la crecida.

Desde la plataforma es posible graficar hidrogramas de caudales entre vinculaciones de celdas a elección, como el que puede apreciarse en la Figura 18. También es factible graficar evolución de alturas o cotas

de celdas a elección (Figura 19).

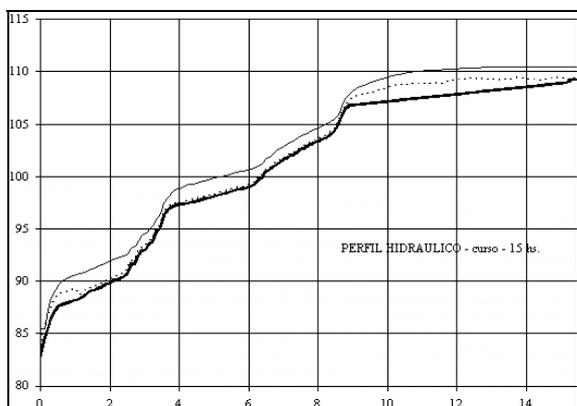


Figura 17. Perfil hidráulico correspondiente a la de niveles de agua para la recurrencia 1000 años.

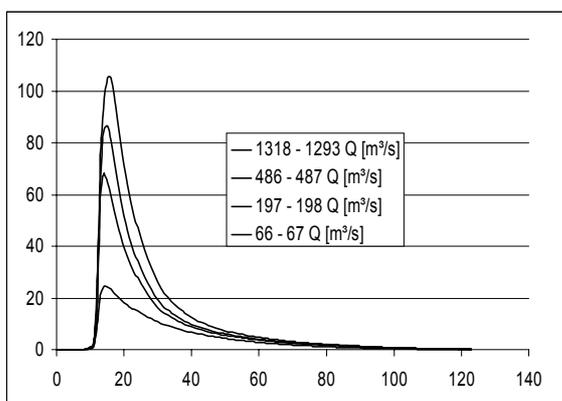


Figura 18. Hidrogramas de caudales para la recurrencia de 1000 años.

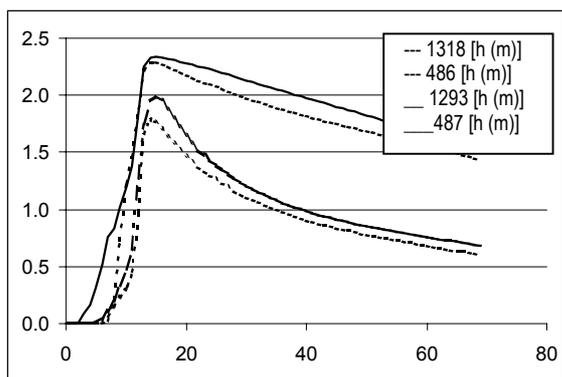


Figura 19. Variación de alturas de agua para la recurrencia de 1000 años.

Las permanencias de las áreas anegadas son razonables y permiten en la mayoría de los casos la recuperación productiva de las mismas. Los caudales de diseño se ven atenuados por las retenciones.

Las mismas permiten el almacenamiento superficial temporario o bien la recarga del acuífero en los períodos con menores excedentes, minimizando de esta manera, la pérdida del recurso hídrico.

## CONCLUSIONES

Se presenta una múltiple aplicación de tecnologías bajo entorno gráfico para el pre-procesamiento de datos, procesamiento hidrológico-hidráulico de la información y post-procesamiento de la misma para la interpretación de resultados.

La información procesada mediante SIG en formato "raster" sirvió de entrada para el modelo CELDAS2 el cual fue implementado mediante una grilla de discretización espacial de 100 m. La topografía se definió la sobre la base de un DEM obtenido mediante digitalización de cartas del IGM. Las coberturas, definidas mediante el análisis de las imágenes satelitales, sirvieron para definir rugosidades y números de curva CN. La información se complementó mediante tareas de relevamiento in situ.

El modelo CELDAS2, apto para el diseño de estructuras de ordenamiento hídrico acorde con la hidrología de las regiones de llanura, fue aplicado en el saneamiento de áreas inundables ubicadas al norte de la localidad de Chañar Ladeado.

El uso de herramientas de análisis en entorno gráfico, tal como la plataforma denominada SIMULACIONES ha permitido una rápida y muy detallada interpretación de los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bosque J, Escobar F, García E y Salado M. 1994. Sistemas de Información Geográfica: Prácticas con PC ARC/INFO e IDRISI. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana. ISBN 0-201-82191-5. USA. 487p.
- Bocco G, de Brouwer H, Karanga F (eds.). 1994. Modelling water resources and water demand in semi-arid areas: Data integration and analysis using a Geographics Information System. ITC-UNESCO. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). The Netherlands. 62p.
- Baumgartner M, Schultz G & Johnson I (Eds.). 1997. Remote Sensing and Geographic Informa-

- tion Systems for Design and Operation of Water Resources Systems. IAHS Publication N° 242. IAHS Press. Wallingford. UK. 259p.
- Cunge, J. 1975. Two dimensional modelling of flood plains. Cap. 17 Unsteady flow in open channels (Ed. Mahmood K. and Yevjevich V.) Water Resources Publications, Fort Collins.
- Chow VT. 1959. Hidráulica de Canales Abiertos. Edit Mc Graw-Hill. Mexico.
- Owe M, Brubaker K; Ritchie J & Rango A. (Eds.). 2000. Remote Sensing and Hydrology. IAHS Publication N° 267. IAHS Press. Wallingford. UK. 605p.
- Rango Albert (Ed.). 1989. Remote Sensing and Large-Scale Global Processes. IAHS Publication N° 186. IAHS Press. Wallingford. UK. 187p.
- Riccardi, G.; Zimmermann, E.; Maurig R. 1995. Math. Modelling of flood for the delimitation of zones with inundation risk. International Symposium on Runoff Computations for Water Projects, IAHS, San Petesburgo.
- Riccardi, G. 1997. The mathematical modelling for the delimitation of inundation risk zones, Sustainability of Water Resources under Increasing Uncertainty (ed. D. Rosberg et al.) IAHS Publication Nro 240, ISSN 0144-7815., Wallingford, pp.127-136.
- Riccardi, G. 2000. Un Sistema de Simulación Hidrológica-Hidráulica cuasi-2D multicapa para ambientes rurales y urbanos, Inédito, Tesis Doctoral, FCEFyN, UNC, Córdoba
- Rentería, J. y Stenta, H. 2003. Desarrollo de soporte computacional interactivo para sistema de simulación hidrológica superficial. Tesis de Grado Ingeniería Civil. Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.
- Zimmermann E. 1989. Informe Final Beca de Iniciación CONICET. Inédito.
- Zimmermann E. 2002. Informe Anual CIC CONICET. Inédito.

*Artículo recibido el 12/2004 y aprobado para su publicación el 02/2004.*