

Análisis de variables ambientales con técnicas SIG aplicadas a la ordenación y gestión de planicies de inundación de sistemas fluviales regulados

A. Bosisio¹, C. Ramonell¹, S. Graciani¹

¹ Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Ruta Nacional N° 168 - Km 472.4, (S3000ADQ) Santa Fe, Argentina.

acboisio@yahoo.com.ar

RESUMEN: Las obras de infraestructura desarrolladas en sistema fluviales, como canalizaciones y embalses, aportan una modificación en la regulación de la magnitud y frecuencia de las crecidas en sus planicies aluviales. Estas obras favorecen el crecimiento social y económico en sus áreas de influencia, lo cual debe ser planificado y administrado de modo tal que el hombre no utilice indiscriminadamente las tierras potencialmente inundables y quede desprotegido frente a alteraciones en el equilibrio funcional de la cuenca.

El Río Neuquén en el tramo comprendido desde la presa Portezuelo Grande hasta el Embalse El Chañar (provincia de Neuquén, Argentina) presenta una significativa y variada ocupación antrópica. En este escenario, el objetivo del trabajo fue identificar las variables ambientales (tanto naturales como antrópicas) que interactúan en torno de un evento de crecida extraordinaria, obstaculizando el escurrimiento de inundación; con el propósito de conformar una base de datos que facilite la gestión territorial-ambiental en el área.

Utilizando técnicas de segmentación geomorfológica y SIG, se logró obtener una ponderación cualitativa de las variables involucradas, y definir a partir de las mismas, subunidades de gestión del territorio para el tramo bajo estudio. Estas subunidades se definieron como áreas en las cuales las características de los atributos de sus variables ambientales, se repiten regularmente en toda su extensión siendo distinguibles y delimitables de los de áreas adyacentes.

Palabras-clave: SIG, planicie de inundación, sistema fluvial regulado, gestión del medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

Las obras de infraestructura desarrolladas en sistema fluviales, como canalizaciones y embalses, aportan una modificación en la regulación de la magnitud y frecuencia de las crecidas en sus planicies aluviales. Estas obras favorecen el crecimiento social y económico en sus áreas de influencia, incluso dentro de tales planicies, lo que normalmente no es acompañado por una adecuada planificación por parte de organismos locales y estatales, dando como resultado conflictos ambientales diversos.

En la perspectiva moderna de gestión del territorio, toda acción de planeamiento, ordenación o monitoreo del espacio debe incluir el análisis de los diferentes componentes del ambiente, incluyendo tanto el medio físico-biótico como la ocupación humana y su interrelación. Es claro que considerar todos los parámetros que intervienen e interactúan es importante; pero también es conocido ya desde la teoría de sistemas que no todas las variables operan al mismo nivel, y con igual importancia en un momento dado (Schumm, 1977; Gaviño Novillo, 1997). En una planicie aluvial, por caso, un camino a nivel trazado en sentido paralelo al escurrimiento juega un rol diferente en la conducción de caudales de crecida a otro dispuesto en forma transversal, cambiando su influencia si la vía está sobre elevada respecto de la planicie. Casas, sembradíos, canalizaciones naturales, sitios de movimientos de suelos, etc., operan también en forma diferenciada.

En este marco, las geotecnologías, posibilitan estos estudios de integración del medio ambiente natural y social, convirtiéndose en una herramienta importante para la ayuda en el proceso de toma de decisiones en diferentes niveles de gestión (Barredo Cano, 1996; Buzai, 1998).

Específicamente en el área de estudio de esta propuesta, Ciminari y otros (2003) cartografiaron los conflictos ambientales en el área de los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén, caracterizando la alta

densidad poblacional y asentamientos espontáneos que ocupan las áreas de mayor complejidad. Los autores concluyen y recomiendan estudios que profundicen en detalle los asentamientos en áreas de riesgo, con el objetivo de analizar la amenaza y la vulnerabilidad social, y evaluar de esta manera el riesgo ambiental existente frente a crecidas extraordinarias de estos ríos.

Asimismo, un análisis de vulnerabilidad realizado para el área por la Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC, 2007), enfatiza en la necesidad de efectuar una planificación integrada del uso del territorio, considerando que el tramo en estudio es una unidad económica importante para la región y que para su desarrollo faltan políticas de control integradas con planes de emergencias.

En ese marco, el objetivo del presente trabajo es evaluar jerárquicamente las variables ambientales (naturales y antrópicas) que actúan en una planicie aluvial intervenida por el hombre ante una situación de crecida extraordinaria, de modo tal de optimizar la gestión territorial-ambiental de estos espacios. La evaluación espacial se apoya principalmente en el análisis y la segmentación geomorfológicos, en la aplicación de técnicas de teledetección, además del relevamiento de antecedentes y trabajo de campo, incluyendo todo ello en un SIG. La idea rectora es proponer un sistema simple de evaluación, que pueda tener un amplio rango de aplicación en planicies aluviales diversas de sistemas fluviales regulados, y fundamentalmente, que pueda ser utilizado por técnicos con una preparación no experta en la materia, a nivel de organismos municipales o comunales.

2. ÁREA DE ESTUDIO

2.1. Fisiografía General

El ámbito del estudio lo constituye el tramo del río Neuquén comprendido entre la presa Portezuelo Grande y el embalse San Patricio de El Chañar (en adelante, "El Chañar") (Figura 1), con una longitud de 61 km y una superficie de 191 km², siendo su ancho promedio de 2,5 km. En este tramo el río Neuquén corre en su totalidad dentro de la provincia homónima, entre cotas de 425 y 330 m.s.n.m. Su cuenca tiene una extensión aproximada de 32.500 Km.

El río Neuquén, tiene un régimen de alimentación nivo-pluvial, su módulo en Paso de los Indios es 310 m³/s, presentando un período de aguas bajas en marzo-abril y dos épocas de creciente: una de invierno, en mayo-agosto, producida por lluvias en la parte baja de la cuenca activa y otra llamada de verano en noviembre-diciembre, producto de la fusión nival en la alta cordillera. Se destaca un clima de tipo continental, cálido y seco en verano, frío y húmedo durante el invierno. Esta zona presenta una marcada amplitud térmica estacional.

Esta región se caracteriza por el desarrollo de un relieve conformado por extensas superficies mesetiformes que incluyen bajos sin salida, cerros testigos y profundos cañadones. Los bordes erosionados de las mesetas generan marcados resaltos topográficos, dando origen a las bardas, cuyas cotas máximas en la región alcanzan los 1100 m.s.n.m.

En torno del cauce del río Neuquén, los rasgos geomorfológicos distintivos están genéticamente vinculados a procesos exógenos derivados del proceso fluvial, reconociéndose una planicie aluvial actual y remanentes de otra antigua, que constituyen un nivel de terraza sobre elevada aproximadamente unos 4 metros respecto del nivel general de la anterior.

Aguas abajo de Portezuelo Grande hasta El Chañar, se ubica la localidad de Añelo, con una población de más de 2400 habitantes, además de pobladores rurales diseminados en la planicie de inundación incluyendo comunidades aborígenes mapuches.

El Complejo Cerro Colorados, construido en 1972, se compone de una obra de cierre de la planicie del río Neuquén (la presa de Portezuelo Grande), que permite la derivación artificial de caudales hacia la depresión de Los Barreales, y desde ésta hacia la de Mari Menuco, desde la cual el agua es turbinada y vuelta al valle del Neuquén en las inmediaciones de la central hidroeléctrica de Planicie Banderita.

Mientras que el vertedero de la presa de Portezuelo Grande posee una capacidad de descarga de 3600 m³/s, el de la obra de derivación fue diseñado para conducir un máximo de 7900 m³/s, en consideración de los valores del hidrograma natural del río, y a los surgidos de los cálculos sobre la "crecida máxima probable" que podría ocurrir en el sistema fluvial.

Desde que entró en operaciones el Complejo, el hidrograma variable del río fue reemplazado, en el tramo Portezuelo Grande – Planicie Banderita, por un caudal regulado de sólo 12 m³/s, lo que contribuyó a

una rápida y diversificada intervención antrópica de la planicie aluvial aguas abajo de la presa, con desarrollo de parcelarios frutihortícolas y canalizaciones asociadas, actividades petroleras, y una intrincada red de caminos de servicio, entre otras formas de ocupación. La regulación de caudales trajo aparejada la reducción en ancho del cauce principal con el consiguiente asentamiento de comunidades vegetales palustres y el desarrollo de una abundante vegetación ribereña, en contraste con la vegetación arbustiva xerófila propia del área.

2.2. La Crecida Extraordinaria de Julio de 2006

En el escenario descrito dominado por la intromisión humana en el ambiente fluvial ocurre, en Julio de 2006, una crecida *sin precedentes conocidos* en el sistema, con un caudal máximo instantáneo superior a los 9800 m³/s, durante la cual se debió permitir que ingresara al tramo de Portezuelo Grande – Planicie Banderita un caudal de aproximadamente 2000 m³/s, de los cuales aproximadamente 600 m³/s pasaron a El Chañar, quedando el volumen restante retenido en los bajos de la planicie aluvial, que amortiguó el evento de crecida.

Dada la diversidad de formas de intromisión que allí se dan, existe susceptibilidad ante crecidas extraordinarias como la registrada, por lo tanto el tramo indicado del río Neuquén surge como un ámbito adecuado para la evaluación de variables que deban ser consideradas en planes de manejo de planicies aluviales ocupadas, y de aquí la elección de esta área como tipo para este estudio orientado a la gestión en esta clase de ambientes, antes que a la evaluación específica del fenómeno de la crecida.

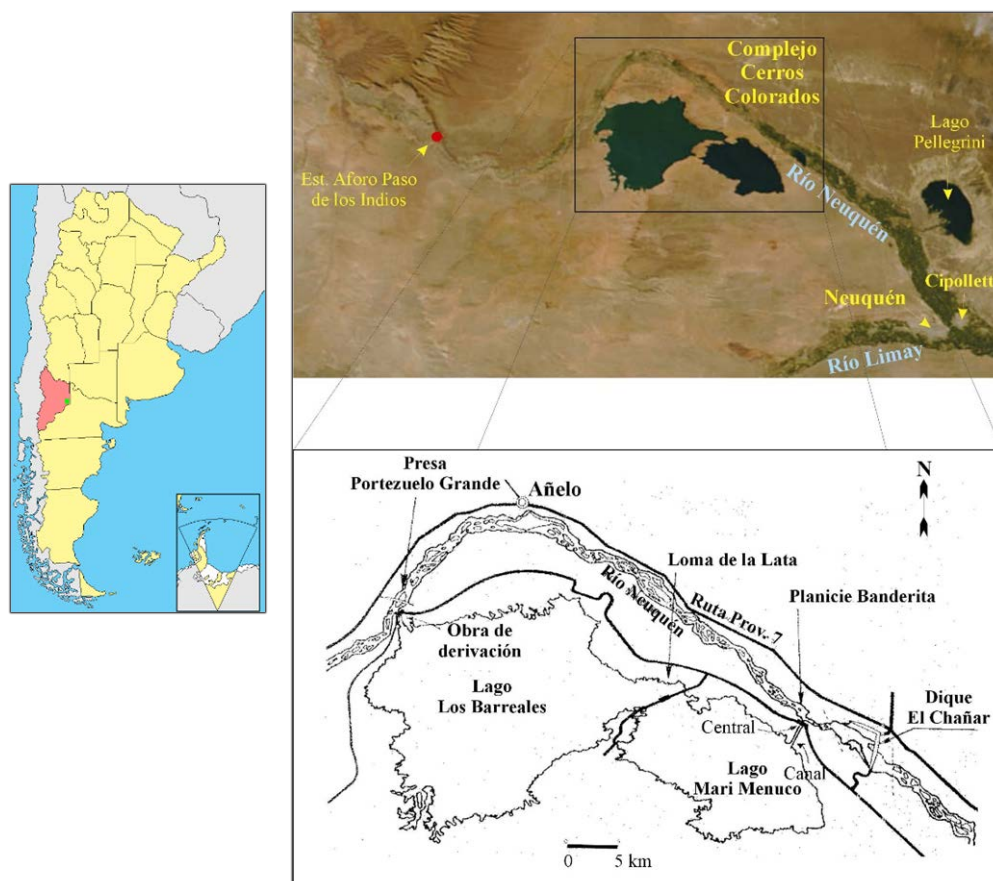


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para alcanzar el objetivo general del presente trabajo se realizó una recopilación de datos a escala regional. La base cartográfica se construyó mediante tratamientos con SIG a partir de las siguientes fuentes de información: relevamientos aerofotogramétricos del año 1962 (escala 1:50.000), y de Diciembre/Marzo de 1993/1994 (escala 1:20.000); imágenes satelitales Landsat TM (resolución 30 metros) de abril de 2006; imágenes Quick Bird de alta resolución, de diciembre de 2006; el mapa de uso del suelo fue modificado de

un mapa de relevamiento realizado por la AIC (2007) y para determinar las pendientes medias de la planicie de inundación, se utilizaron los datos geográficos (X, Y, Z) obtenidos desde 38 perfiles transversales realizados en el tramo Portezuelo Grande-El Chañar en febrero de 1998.

Conformada la base de datos, se determinaron las características naturales de la planicie de inundación y los usos del suelo, con el fin de identificar las variables ambientales que incidieran en la obstrucción del escurrimiento de inundación y visualizarlas en un SIG, dado el carácter espacial del fenómeno estudiado.

Las variables ambientales consideradas en este estudio fueron clasificadas en dos grupos: variables naturales, entre las cuales se incluyó cubierta vegetal natural, drenaje (cauce principal y secundarios) y relieve; y variables antrópicas, tales como los diferentes usos del suelo.

Se decidió hacer una ponderación cualitativa de las variables (Barredo Cano, 1996) de modo que el análisis sea sencillo, y de esta manera aplicable fácilmente a la gestión territorial y extrapolable a otros casos similares.

Para realizar el modelo de jerarquización de las variables se utilizó el módulo Weighted Overlay de ArcGIS 10, mediante el cual se le asignó a cada variable un peso, en porcentaje, que refleja su grado de influencia en la obstaculización de la escorrentía dentro de la planicie aluvial (Figura 2).

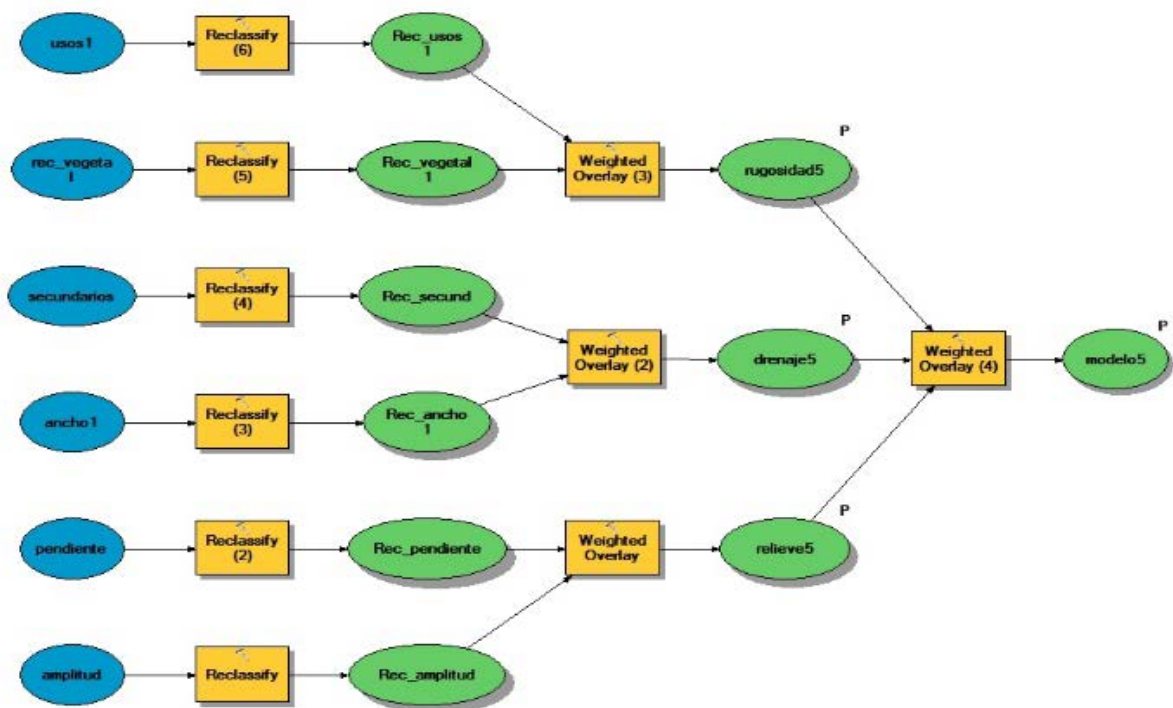


Figura 2. Modelo de Jerarquización de variables.

3.1. Segmentación Geomorfológica

Como ha sido sugerido por diversos especialistas, los estudios sobre sistemas fluviales deberían iniciarse con algún tipo de diferenciación zonal de sus partes, mediante el reconocimiento de segmentos geomorfológicos sucesivos del sistema cauce/planicie aluvial (Sear et al., 2003).

Con la información recopilada y las observaciones realizadas en campo se realizó una segmentación del área de estudio (Figura 3), basada en la diferenciación de atributos geomorfológicos en tramos sucesivos, considerándose fundamentalmente tres: patrón y ancho del cauce principal, conectividad de los cauces secundarios, y pendiente media de la planicie aluvial. Estos atributos fueron seleccionados debido a que son los puntos de coincidencia entre los autores citados anteriormente, siendo además aspectos físicos sobresalientes del tramo de estudio, de fácil determinación.

Inherente a este análisis es la evaluación de un cambio geomorfológico que responde a la “sensibilidad” de una variable determinada, y a la “resiliencia” del cauce es decir, la habilidad de este para acomodarse a nuevas situaciones y para modificar su umbral de ajuste frente a un disturbio.

En geomorfología fluvial, la sinuosidad es un parámetro muy importante directamente relacionado con la macrorugosidad de la planicie, de ahí su elección para la diferenciación de los segmentos (Ramonell y Amsler; 2002); y en base al grado de anastomosamiento y entrelazamiento. Estos dos últimos parámetros se encuentran implícitos en los atributos de conectividad y densidad de la variable cauces secundarios. Con relación al grado de anastomosamiento, es un parámetro descriptivo a través del cual se pudo evaluar si la presencia de cauces secundarios es local o generalizada en cada segmento (Brice, 1984).

El tramo del río entre Portezuelo Grande y el embalse El Chañar fue dividido en 6 segmentos, en base a propiedades geomorfológicas, de relieve, y de patrón del cauce principal, que están directamente relacionadas tanto con la macrorugosidad como con el impedimento de la escorrentía de inundación. Cada uno de los 6 segmentos geomorfológicos resultantes fue dividido asimismo en áreas de aproximadamente la misma superficie para facilitar el análisis, resultando un total de 15 áreas en el tramo.

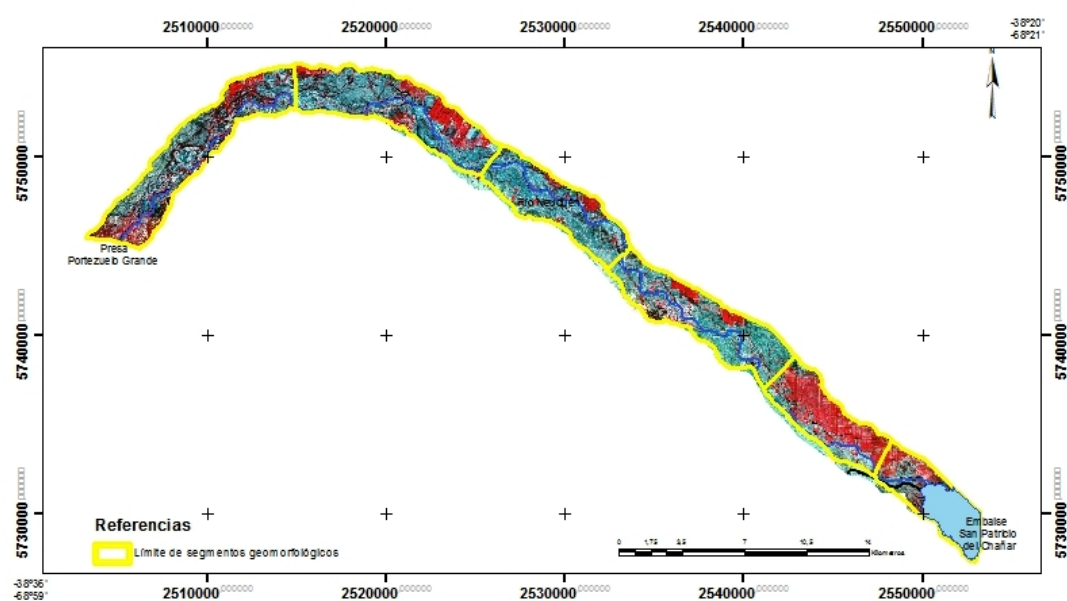


Figura 3. Segmentación Geomorfológica.

En todos los segmentos puede observarse en mayor o menor grado la ocupación antrópica dispersa no planificada dentro de la planicie aluvial y la deforestación de la cubierta vegetal natural para delimitación de nuevos parcelarios destinados a emprendimientos frutihortícolas.

La variabilidad topográfica o amplitud media del relieve local es irregular en todos los segmentos, consecuencia de un modelado fluvio-eólico. No obstante, en los tres primeros segmentos la amplitud es mayor debido a la presencia de distintos niveles de terraza que forman ondulaciones con desniveles bien marcados en el terreno; y a la existencia de morfologías de médanos sobre impuestas a la planicie aluvial.

Su rol en la crecida del 2006 fue que la escorrentía se concentrara entre estos sectores, lo cual dio lugar a pozos erosivos, en los cuales se puede estimar que la altura de la crecida en esta zona osciló los 2,50 metros a nivel de planicie.

3.2. Reclasificación de las variables ambientales por sus atributos

Cada una de las características de una creciente puede ser explicada en términos de factores interrelacionados. Si se desea entender, predecir y manejar exitosamente este fenómeno, se debe hacer énfasis en la importancia del estudio de los atributos de un gran número de variables ambientales, resaltando el rol que juegan los mismos en el manejo ambiental.

Con este propósito se asignó a cada variable un atributo o condición específica, mediante el cual se pondera cualitativamente su incidencia en la obstrucción o facilitación del escurrimiento de inundación. Esta reclasificación toma los valores de 1 a 3, siendo 1 la condición óptima y 3 la condición menos favorable a la escorrentía de inundación (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de la reclasificación de variables ambientales.

Variable		Atributo	Reclasificación
Vegetación Natural	Ribereña	Alta rugosidad	3
	Arbustal	Media rugosidad	2
	Pastizal	Baja rugosidad	1
Drenaje	Reducción del cauce principal	Alta: 51-78 %	3
		Intermedia: 36-50 %	2
		Baja: 29-35 %	1
	Conectividad de cauces secundarios con el principal	Cauces no conectados	3
		Cauces conectados en 1 sitio	2
		Cauces conectados en 2 sitios	1
	Cantidad de Cauces Secundarios	Baja: 4-14	3
		Intermedia: 15-20	2
		Alta: 21-27	1
Relieve	Pendiente	Baja: 1.40 – 2.06 m/km	3
		Intermedia: 2.07 – 2.50 m/km	2
		Alta: 2.51 – 3.06 m/km	1
	Amplitud del relieve local	Baja: 1.77 – 2.40 m	3
		Intermedia: 2.41-3.10 m	2
		Alta: 3.11 – 3.82 m	1
Agricultura y Usos	Fruticultura	Alta Rugosidad	3
	Forestación	Media Rugosidad	2
	Uso mixto	Baja Rugosidad	1

4. RESULTADOS

4.1. Jerarquización de las variables ambientales

Con el objeto de construir un modelo de evaluación y enumeración de variables que facilite la toma de decisiones, se utilizó un procedimiento que implica la determinación de un peso o ponderación para cada una de las variables en cuestión. Las comparaciones se refieren a la importancia relativa de las variables en la determinación de sus aptitudes para un objeto determinado; en este caso el criterio determinante fue el grado de obstaculización al escurrimiento de inundación de cada variable. Todas las ponderaciones no son valores taxativos, sino que fueron establecidas con criterios orientativos respondiendo al análisis de las variables realizado previamente, sin contar con gran volumen de antecedentes propios del área.

Ello, junto con la idea de extrapolar este tipo de análisis a ambientes bien diversos, involucró no adoptar la aplicación de métodos comunes de la práctica ingenieril, como es la estimación de funciones del coeficiente de rugosidad por la función de Cowan (Cowan, 1956, en Dackombe y Gardiner, 1983), convenientemente adaptadas a planicies de inundación; debido a que este trabajo está orientado a la gestión ambiental de estos espacios, sin necesidad de modelación matemática.

En consecuencia, el modelo de análisis espacial incluyó tres submodelos. El *Submodelo Vegetación y Usos* (Figura 4) que evalúa la obstrucción a la escorrentía determinada por la rugosidad en cada celda, incluyendo dos variables: los tipos de vegetación natural y los distintos usos del suelo. Dado que las plantaciones frutihortícolas y forestales poseen un índice de rugosidad sobre el terreno más elevado que la cubierta vegetal propia del área en cuestión (Tabla 1), sus influencias en la escorrentía se estimaron en un 40 % y 60 % de importancia respectivamente.

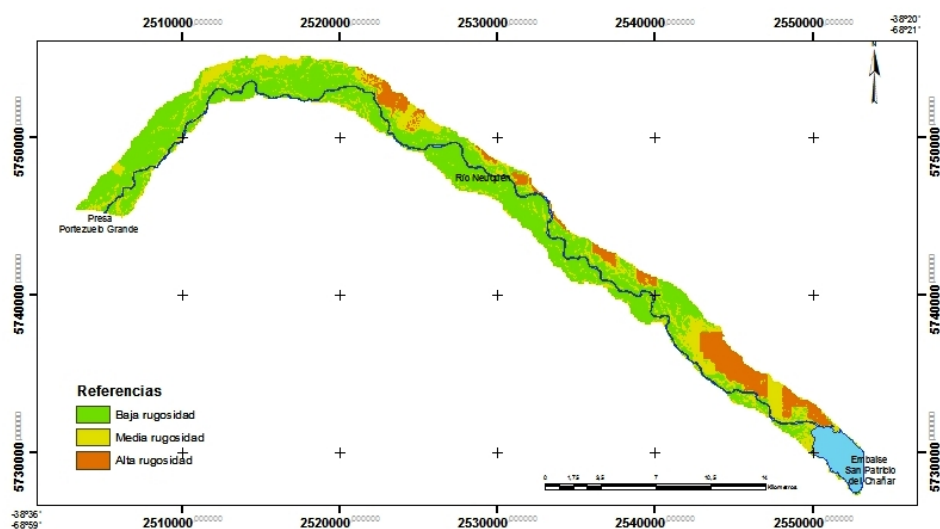


Figura 4. Submodelo Vegetación y Usos.

El *Submodelo Drenaje* (Figura 5) evalúa para cada celda la obstrucción a la escorrentía determinada por los valores de reducción del ancho del cauce principal entre el año 1994 y 2006, y por la densidad de cauces secundarios. Los porcentajes de ponderación fueron estimados teniendo en cuenta que la red de cauces secundarios, su conectividad con el cauce principal y su densidad areal, son más importantes en cuanto al flujo de las crecidas que el ancho del cauce principal, el cual es homogéneo a lo largo del tramo; así se establecieron un 30 % y un 70 % de importancia respectivamente para estas variables.

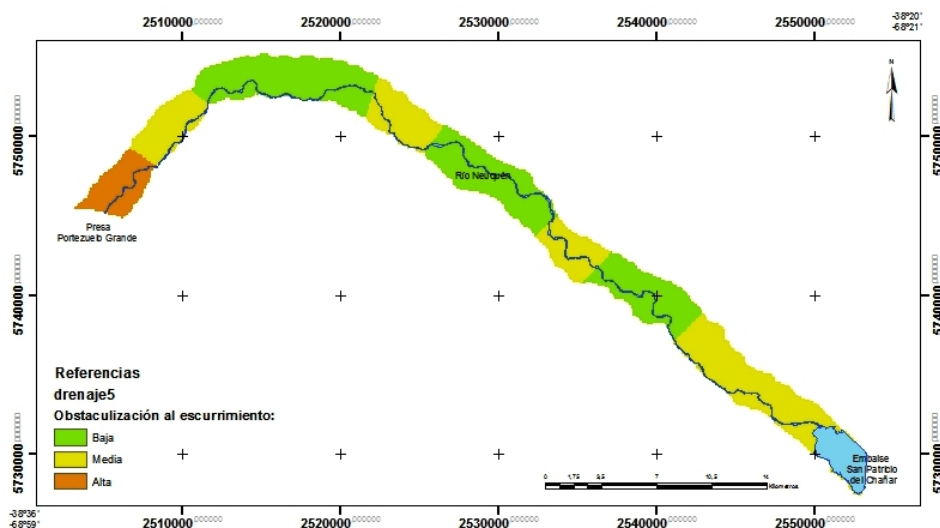


Figura 5. Submodelo Drenaje.

El *Submodelo Relieve* (Figura 6) analiza las variables de pendiente y amplitud del relieve local. Los porcentajes estimados fueron 40 % y 60 % de importancia relativa respectivamente. Esa diferencia obedece a que la amplitud máxima de los desniveles internos del sistema, favorece la concentración y circulación del flujo de inundación, en mayor grado que la pendiente, dado que esta es homogénea mientras que la amplitud del relieve posee mayor variabilidad en el tramo.

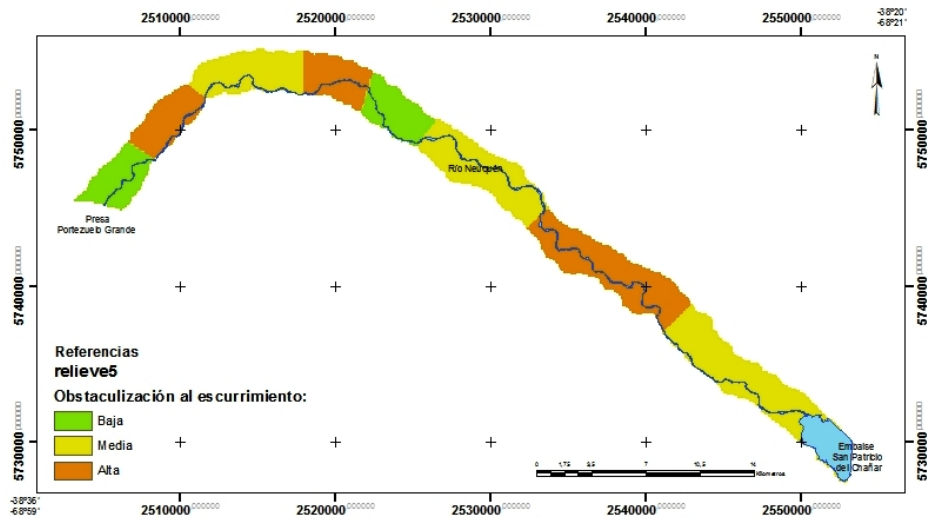


Figura 6. Submodelo Relieve.

Para obtener el mapa final del modelo (Figura 7) se ponderaron los distintos submodelos, respondiendo a la necesidad de evaluar las características territoriales, y su interacción con las actividades antrópicas y el sistema hidrológico.

En este modelo se ha privilegiado al *Submodelo Vegetación y Usos* con un 50 % de importancia, dado que es el atributo con mayor incidencia en la obstrucción del flujo de inundación dentro del tramo. En segundo lugar se consideró el *Submodelo Drenaje* (30 %) teniendo en cuenta la importancia en la amortiguación de las crecidas que posee la conectividad de los cauces secundarios con el cauce principal. Finalmente, se consideró el *Submodelo Relieve* con un 20 % debido a que por su característica de homogeneidad de pendiente no representa en mayor medida un obstáculo a la escorrentía, y la amplitud del relieve local propicia que el flujo de desborde tienda a concentrarse en una serie de canales ligeramente más profundos.

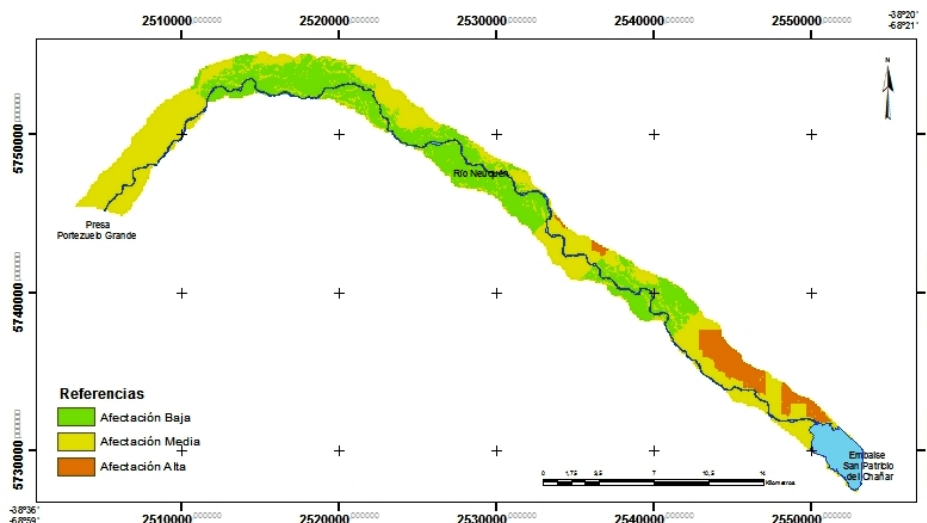


Figura 7. Mapa final del modelo de análisis espacial de afectación a la escorrentía de inundación.

4.2. Diferenciación de Subunidades de Gestión

En síntesis, la disminución de caudal, en la carga de sedimentos y en la capacidad de transporte produjo cambios de varios órdenes en el cauce principal y cauces secundarios de la planicie (Petts y Gurnell,

2005). No obstante, los cambios producidos en el sistema dentro del tramo de estudio están principalmente influenciados y condicionados por la presencia y práctica antrópica.

Contando con el conocimiento de la situación y problemas actuales en el área de estudio, es preciso que el sistema sea monitoreado por los centros decisores en un contexto amplio y adecuado, y no solamente donde se produce puntualmente la intromisión antrópica. En consecuencia, se debería transformar esta unidad geográfica en una unidad de gestión.

A partir de la segmentación geomorfológica y del análisis de las variables involucradas, se pudieron detectar diferentes unidades de paisaje homogéneas dentro del tramo, que fueron convenientemente redefinidas en tres tipos de subunidades orientadas a la gestión ambiental, y caracterizadas por el grado de afectación potencial a la obstrucción del flujo de inundación evaluado para sus atributos (Figura 8).

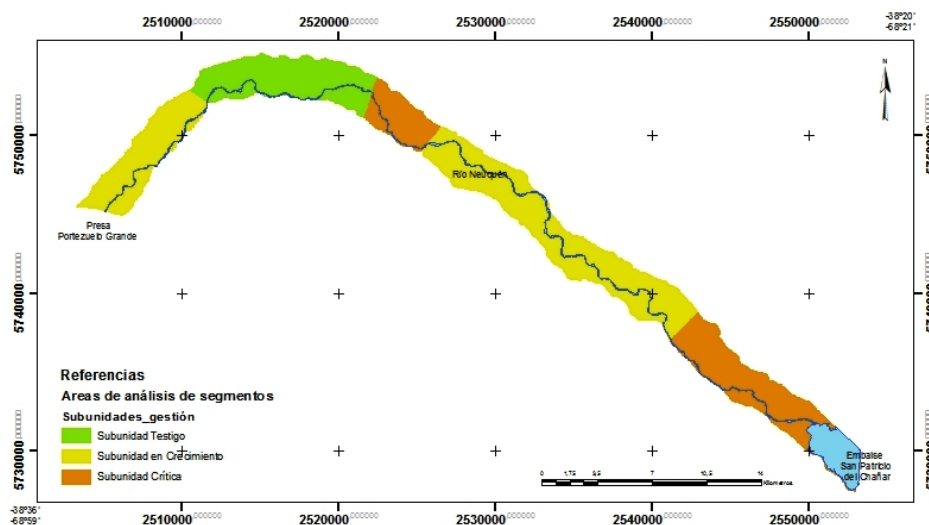


Figura 8. Subunidades de Gestión.

La *Subunidad Crítica* presenta una interacción de variables con la cual el escurrimiento de inundación se ve altamente perjudicado, estando esta área muy apartada de su condición natural. En contraposición, en la *Subunidad Testigo* las variables aún no están afectadas en mayor grado por el antropismo, siendo esta subunidad la que posee una condición más favorable al flujo de desborde. Mientras que la combinación e interacción de variables ambientales que definieron la *Subunidad en Crecimiento*, podría considerarse como una situación intermedia.

La *Subunidad Testigo*, presenta valores favorables al flujo de desborde; la intervención antrópica se ha desarrollado en un grado menos intensivo (aproximadamente el 40 % de su superficie) sin provocar graves disturbios en el sistema, y consecuentemente también esta es la zona que posee mayor capacidad de conducción de las crecidas, dado que posee la mayor densidad de cauces secundarios no obliterados.

En contraposición, la *Subunidad Crítica* tiene un aumento significativo en la rugosidad, que obedece al uso frutihortícola y forestal con el consecuente desarrollo de numerosos caminos transversales y sus canales de riego asociados. Asimismo, es la zona en la cual se registra una elevada oclusión de cauces secundarios por vegetación palustre, lo que deriva en una baja conectividad del sistema. El panorama resultante es que el grado de intervención antrópica supera el 90 % de su superficie. Esta subunidad de gestión representa la situación que no debería reproducirse en otra área del tramo, dado que la relación de las variables registradas demuestra el mayor grado de obstrucción a una eventual inundación.

Finalmente, se determinó la *Subunidad en Crecimiento*. En esta subunidad, la actividad frutihortícola actual no supera el 30 % del total de su superficie, siendo desarrollada prácticamente a nivel de terrazas. Los valores de reducción del ancho del cauce principal, así como también los valores de densidad y conectividad de cauces secundarios, son similares a los de la *Subunidad Testigo*. En consecuencia la escorrentía no presenta mayores obstáculos.

El grado de desarrollo en esta subunidad debe ser regulado y monitoreado de modo tal que las actividades antrópicas no se asienten sin una planificación previa dentro de la planicie aluvial, y no se

superen los parámetros registrados en la *Subunidad Testigo*. El aumento en la productividad del tramo está influenciado por la fruticultura y la forestación; en un futuro próximo, esto tendría incidencia sobre el aumento de la red de caminos y canales, sobre todo los de orientación transversal respecto del sentido de escurrimiento. Actualmente, estos elementos no superan el 2 % de su superficie pero el estatus de esta subunidad se modificaría si este porcentaje se incrementara.

5. CONCLUSIONES

Esta propuesta de zonificación en subunidades de gestión es de gran utilidad dada su simplicidad para realizar el monitoreo constante de los parámetros establecidos para las diferentes variables involucradas, e incluso estimar la vulnerabilidad del tramo frente a posibles mayores erogaciones de caudales.

Teniendo en cuenta lo dicho precedentemente, se pueden establecer recomendaciones concretas de normas a seguir en cuanto a la gestión del uso de la planicie en las *Subunidades Testigo* y en *Crecimiento*, que tiendan a prevenir la obstaculización del flujo de escorrentía. Por otro lado, el caso de la *Subunidad Crítica* requiere de medidas de índole correctiva y no preventiva, ya que el objetivo de gestión dentro de esta subunidad sería retrotraer las variables a una condición más aceptable desde el punto de vista de afectación al escurrimiento.

Otras recomendaciones y acciones como las precedentes podrían ser establecidas sencillamente en sistemas fluviales diferentes al que se estudia aplicando esta evaluación, ya que se trata, para las áreas identificadas como subunidades críticas, de minimizar las condiciones desfavorables auspiciando, simultáneamente, aquellas más beneficiosas para el escurrimiento de inundación.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de Recursos Hídricos y a la Dirección de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Neuquén, por facilitar la información utilizada en el análisis.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Interjurisdiccional de Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC). (2007). "Río Neuquén: tramo Portezuelo Grande-El Chañar: Análisis de vulnerabilidad". Secretaría de Planificación y Desarrollo, Provincia de Neuquén, Argentina.
- Barredo Cano, J. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, RAMA.
- Brice, J. C. (1984). "Planform properties of meandering rivers". *River Meandering, Proc. Conf. Rivers 1983*, Am. Soc. Civil Engs.: 1-15. New York.
- Buzai, G. (1998). "Sistemas de Información Geográfica (SIG)". En Matteucci, S., Buzai, G. (eds.) *Sistemas Ambientales Complejos: Herramientas de Análisis Espacial*. Buenos Aires, Eudeba.
- Ciminari, M., Torrens, C., Jurio, E. (2003). "Los sistemas de información geográfica: una herramienta eficaz para el análisis ambiental". *Primer Congreso de la Ciencia Cartográfica y VIII Semana Nacional de Cartografía*, Buenos Aires.
- Dackombe, R. V., Gardiner, V. (1983). *Geomorphological field manual*. London, George Allen and Unwin.
- Gaviño Novillo, J.M. (1997). "Indicadores ambientales y su aplicación, Textos seleccionados". La Plata, Argentina, Cátedra UNESCO para el Desarrollo Sustentable, Flacam.
- Petts, G. E., Gurnell, A. M. (2005). "Dams and geomorphology: Research progress and future directions". *Geomorphology* Vol. 71 (1-2): 27-47.
- Ramonell, C. G., Amsler, M. L. (2002). "Guía de procedimientos metodológicos para estudios morfológicos de cauces fluviales argentinos". *XIX Congreso Nacional de Agua*. Córdoba, Argentina.
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*. London, Wiley & Sons.
- Sear, D. A., Newson, M. D., Thorne, C. R. (2003). "Guidebook of applied fluvial geomorphology". R&D Technical Report FD1914. Defra, Flood Management Division. London.