

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DEL RIESGO DE INUNDABILIDAD Y SUS FACTORES EN EL RÍO BLANCO DE POTRERILLOS, MENDOZA

Jorge A. Maza; Víctor H. Burgos

Instituto Nacional del Agua-Centro Regional Andino
Belgrano (oeste) 210 – (M5500FIF) - Mendoza - TeleFax 0261 428 8251 maza@ina.gov.ar

RESUMEN

La cuenca del río Blanco de Potrerillos, Mendoza, tiene una extensión de 300,7 km². Tanto su cauce principal como su afluente más importante, arroyo El Salto, tienen un escurrimiento de tipo permanente de origen nivoglacial ya que la cuenca tiene en gran parte, como divisoria de aguas, a la cadena del Cordón del Plata. Este escurrimiento es utilizado, en gran medida, por la población establecida y por la planta potabilizadora de Obras Sanitarias Mendoza S.A.

En la temporada estival precipitan sobre la cuenca, importantes e intensas tormentas convectivas, originando crecidas pluviales a lo largo de los cauces que conforman la red hidrográfica de la cuenca. Estas crecidas tienen un impacto muy importante en el último tramo del río Blanco, entre la afluencia del A° El Salto y su desembocadura en el río Mendoza, actualmente embalse Potrerillos .

El mencionado tramo tiene una particular vulnerabilidad a las crecidas pluviales del río Blanco ya que existe, a lo largo de la avenida Los Cóndores que lo bordea en su margen izquierda, una gran cantidad de viviendas, sitios de camping y la mencionada planta potabilizadora.

A los efectos de proveer la información que será útil a los objetivos del “Ordenamiento Territorial de la Avenida Los Cóndores” se determinó la línea de ribera del río Blanco y una zonificación del riesgo por inundación teniendo en cuenta la variabilidad espacial de los factores de riesgo: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. El mencionado ordenamiento territorial es conexo a la planificación del uso del suelo en el perillago del embalse Potrerillos.

Se definió un índice de riesgo como una magnitud que expresa la presencia simultánea, dentro de un área, de una situación de peligrosidad, de exposición y de vulnerabilidad. Esta definición sintetiza muy bien el concepto de interferencia entre ambiente natural y actividad antrópica, permitiendo su inmediata representación gráfica por mapas temáticos, debido a que la vulnerabilidad y la exposición tienen intrínsecamente distribución espacial.

Se utilizaron técnicas de modelación matemática de flujo en río asociada a sistema de información geográfica y modelo digital de elevaciones.

Palabras claves: inundación – riesgo – vulnerabilidad

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Blanco de Potrerillos, Mendoza, tiene una extensión de 300,7 km² (Fig.1). Tanto su cauce principal como su afluente más importante, A° El Salto, tienen un escurrimiento de tipo permanente de origen nivoglacial ya que la cuenca tiene en gran parte, como divisoria de aguas, a la cadena del Cordón del Plata. Este escurrimiento es utilizado, en gran medida, por la población establecida y por la planta potabilizadora de OSM S.A.

En la temporada estival precipitan sobre la cuenca, importantes e intensas tormentas convectivas, originando crecidas pluviales a lo largo de los cauces que conforman la red hidrográfica de la cuenca. Estas crecidas tienen un impacto muy importante en el último tramo del río Blanco, entre la afluencia del A° El Salto y su desembocadura en el río Mendoza, actualmente embalse Potrerillos (Fig. 2).

El mencionado tramo tiene una particular vulnerabilidad a las crecidas pluviales del río Blanco ya que existe, a lo largo de la avenida Los Cóndores que lo bordea en su margen izquierda, una gran cantidad de viviendas, sitios de camping y la mencionada planta potabilizadora.

El presente trabajo se realizó a los efectos de determinar información que será útil a los objetivos del “Ordenamiento Territorial de la Avenida Los Cóndores”.

- línea de ribera del río Blanco
- zonificación del riesgo por inundación

El mencionado ordenamiento territorial es conexo a la planificación del uso del suelo en el perillago del embalse Potrerillos.

Dado que no existen registros de caudales aforados en el río, se recurrió al método de obtención de hidrogramas de crecidas a partir de la modelación matemática hidrológica utilizando tormentas de proyecto.

TORMENTAS DE PROYECTO Y CAUDALES GENERADOS

Del informe (Maza, J. et al, 2001) se extrajeron los caudales máximos de las crecidas (Tabla 1) generadas por modelación hidrológica matemática para las tormentas de recurrencia 5, 10, 25, 50 y 100 años extraídas de las “Tormentas de Proyecto en base a Mediciones en el Pedemonte del Gran Mendoza” (INA, 1997).

A efectos de conformar la determinación de la línea de ribera, y en un todo de acuerdo a su definición en el Código Civil Argentino: “...las más altas aguas correspondientes a la crecida media”, se determinó el caudal máximo de la crecida generada por la tormenta de tiempo de retorno 2 años (precipitación de ocurrencia 50%). Esta tormenta tiene un total de 43 mm en una duración de 1 hora en su núcleo, siendo la precipitación media total sobre la cuenca de 17,6 mm.

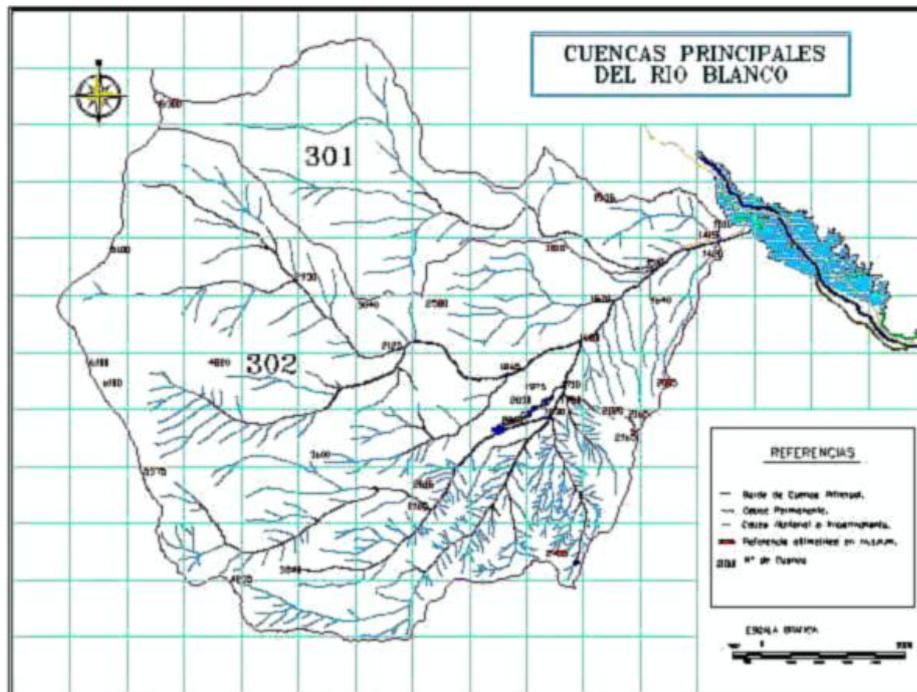


Figura 1. Cuenca del río Blanco. Red hidrográfica



Figura 2. Tramo de estudio del río Blanco

Tabla 1. Caudales máximos de crecidas

TR (años)	Q (m³/s)
2	85
5	202
10	288
25	425
50	544
100	685
200	760

MODELACIÓN DE AREAS INUNDABLES

Para determinar la línea de ribera y la zonificación del riesgo por inundación, se recurrió a la modelación hidráulica matemática utilizando el modelo HEC-RAS, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Corps of Engineers en su versión 3.1.3 de mayo de 2005 (U.S. Hydrologic Engineering Center, 2005).

Es un modelo que simula cálculos hidráulicos unidimensionales en canales naturales o artificiales en régimen permanente o impermanente gradualmente variado.

Perfiles transversales

Como parámetros geométricos del río Blanco y sus planicies de inundación se utilizaron los levantamientos topográficos, consistentes en una serie de 77 perfiles transversales al río (Fig. 3) que abarcan ambas márgenes y se extienden sobre la margen izquierda hasta las viviendas, y con las siguientes condiciones de relevamiento:

- La cantidad de perfiles son los necesarios de manera tal que:
 - cada lote quede representado por un perfil.
 - la distancia mínima entre perfiles, siguiendo el talweg, sea de 50 m
 - Perfiles inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de los puentes de la ruta del perilago y de la Ruta Nacional N° 7 conteniendo la intersección de la geometría de los puentes con el perfil del cauce natural y necesariamente perfiles a 20 m aguas arriba y aguas abajo de los mencionados anteriormente.
- Los perfiles son perpendiculares a la línea de talweg
- La máxima altura de relevamiento en cada sección es la que corresponde al fondo de lote sobre margen izquierda o de 6 m sobre la cota del talweg, la que sea mayor.
- Cada perfil transversal se definió con una cantidad de puntos de manera tal que se verifica que:
 - se puede realizar interpolación lineal entre dos puntos consecutivos sin que se distorsione la realidad (obviando desniveles aislados $\leq 0,10$ m).
 - hay un punto cada 5 m como mínimo

- quedaron definidos: el/los cauces de estiaje, el acueducto de OSM, la Av. Los Cóndores y terraplenes de defensa

Para el análisis del comportamiento hidráulico de los puentes sobre ruta N° 7 y sobre la ruta del perilago (actual y proyectado), se dispuso de planos con dimensiones de los vanos, pilas y tableros.

La topografía se encuentra georreferenciada al sistema Posgar con proyección Gauss Kruger, con cotas absolutas al estar vinculado el relevamiento a la cadena IGM.

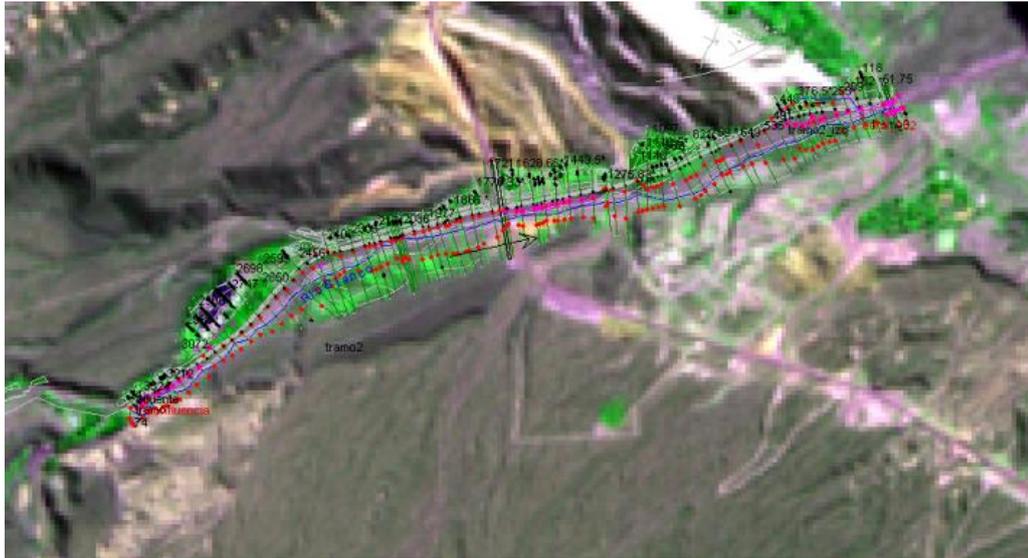


Figura 3. Esquema geométrico HEC-RAS con imagen Aster de fondo

Coefficientes de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning en la mayoría de los casos se constituye en un parámetro de calibración cuando existe la información pertinente para que se realice este procedimiento.

En el caso del río Blanco no existen datos de altura de agua asociados a caudales y por lo tanto los coeficientes de Manning fueron determinados con el soporte de: comparación de imágenes fotográficas de otros ríos de similares características (USGS, 1977) y ecuaciones empíricas.

El valor de coeficiente de Manning correspondiente al cauce fue estimado en 0,040 valor que surge por procedimiento iterativo en la aplicación de la fórmula de Limerinos (Limerinos, J. T., 1970) (1).

$$n = \frac{0.113 \times R^{1/6}}{1.16 + 2 \times \log\left(\frac{R}{D_{84}}\right)} \quad (1)$$

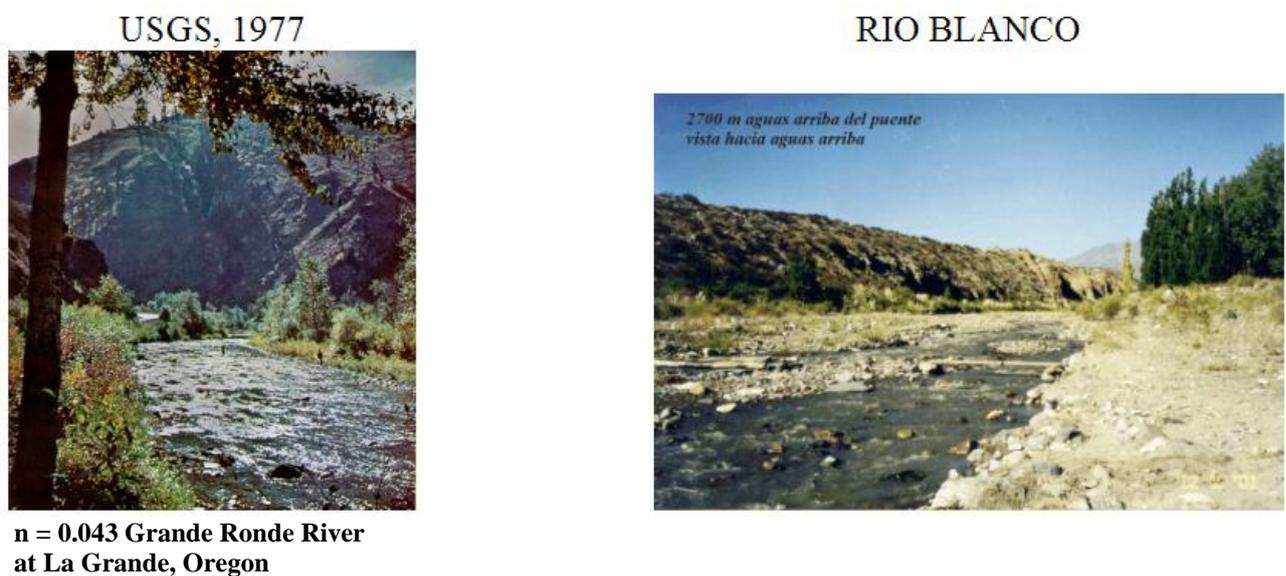
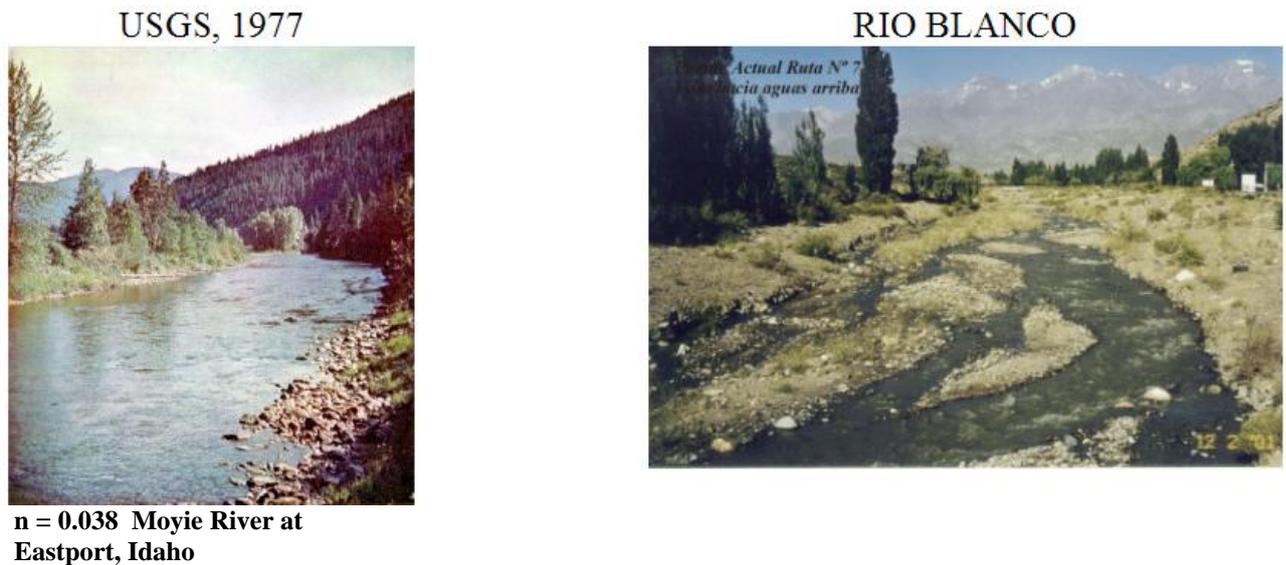
donde:

R = radio hidráulico (m)

D_{84} = diámetro del material por debajo del cual está el 84 % (m)

donde el D_{84} varía en 12,5 y 5,6 cm según la granulometría del material del cauce realizada con motivo de la construcción de puente de la RN N°7. Para el cálculo se adoptó $D_{84} = 12,5$ cm.

También el valor adoptado coincide con las fotografías extraídas de (Barnes, H. H. Jr, 1977) (Figs. 4 y 5)



Con respecto a la margen izquierda del río Blanco se realizaron varias pruebas a efectos de asignar un coeficiente de rugosidad a la planicie inundable que reflejara todas las obstrucciones (edificaciones, árboles, etc.) que existen.

Se realizó una importante revisión bibliográfica con respecto a la asignación de coeficientes de Manning en áreas urbanizadas y se concluyó en que: gran parte de las referencias bibliográficas

habían realizado experimentación con modelación física obteniendo valores de n en función de la disposición de las edificaciones y de las distancias entre sí.

Otras publicaciones obtienen valores de n para áreas urbanas a partir de expresiones que tienen en cuenta el valor de n natural del terreno y la proporción existente entre espacios libres y espacios ocupados por edificaciones.

Finalmente algunas publicaciones asignan un valor de n , especificado en tablas, a efecto de tener en cuenta la pérdida de energía que producen las edificaciones.

En este estudio se asumió que las edificaciones en su proyección más 0,20 m a cada lado sobre los perfiles transversales más próximos producen un valor $n = 0,999$ (el modelo HEC-RAS no admite $n = 1$) (analogía a un terreno con una rugosidad extrema en donde se observan aguas abajo de la obstrucción velocidades nulas). Esta suposición tiene por objeto considerar, en forma sencilla, la obstrucción al flujo que produce cada edificación según la posición en que se encuentre.

Como se puede apreciar en la Figura 6, entre la Av. Los Cóndores y en el cauce del río Blanco se encuentra una alameda que obstruye al flujo en caso de inundación.



Figura 6. Alameda entre el cauce del Río Blanco y Av. Los Cóndores

Al igual que para las edificaciones la bibliografía consultada sobre la rugosidad producida por vegetación cubre los casos de obtención del valor de n a partir de la modelación física, contemplando la disposición de los árboles, su grado de sumergencia y su rigidez.

También se propone en algunas publicaciones la obtención de n a partir de la proporción entre espacios libres entre plantas y el espacio ocupado por ellas o la asignación global de un valor de n según sea el tipo de vegetación existente en la planicie inundable.

En este estudio, al igual que en el caso de las edificaciones, a la proyección de los álamos, más 0,10 m a cada lado, sobre el perfil transversal más próximo se le atribuyó el valor $n = 0,999$.

A modo de resumen se puede expresar que se optó por dividir la sección transversal en cinco zonas, el área del cauce propiamente dicha, las planicies de inundación hacia ambas márgenes,

zonas con obstrucciones físicas como viviendas, líneas de álamos, piletas de OSM y por último la Av. Los Cóndores, quedando:

$n_1 = n_3 = 0.043$ para las planicies de inundación

$n_2 = 0.04$ para el cauce principal

$n_4 = 0.999$ para obstrucciones como viviendas y álamos

$n_5 = 0.02$ para Av. Los Cóndores.

Resultados de la modelación matemática

Se plantearon dos escenarios de modelación:

- Escenario I: considerando al puente actual de la ruta del perilago.
- Escenario II: considerando al puente de la ruta del perilago proyectado por la Dirección Provincial de Vialidad de Mendoza.

En ambos casos se pueden resaltar los siguientes aspectos que resultan de la modelación matemática:

- en todos los tramos de escurrimiento libre y para todas las recurrencias el régimen de flujo es supercrítico o crítico (N° de Froude ≥ 1).
- en las cercanías de aguas arriba de los puentes (RN N°7 y ruta perilago), se producen resaltos para todas las recurrencias debido a las obstrucciones que estas estructuras generan (Fig. 7).

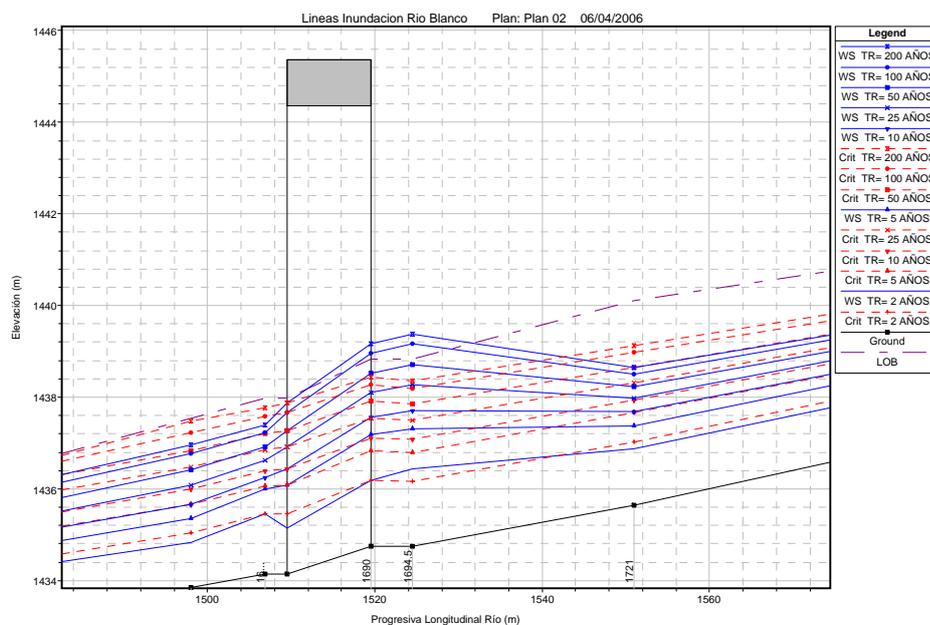


Figura 7. Puente RN N°7

- en el puente de la ruta del perilago, en el caso del escenario I, se produce el sobrepaso para las recurrencias de 10, 25, 50, 100 y 200 (Fig. 8). Para el escenario II no existe sobrepaso. (Fig. 9)

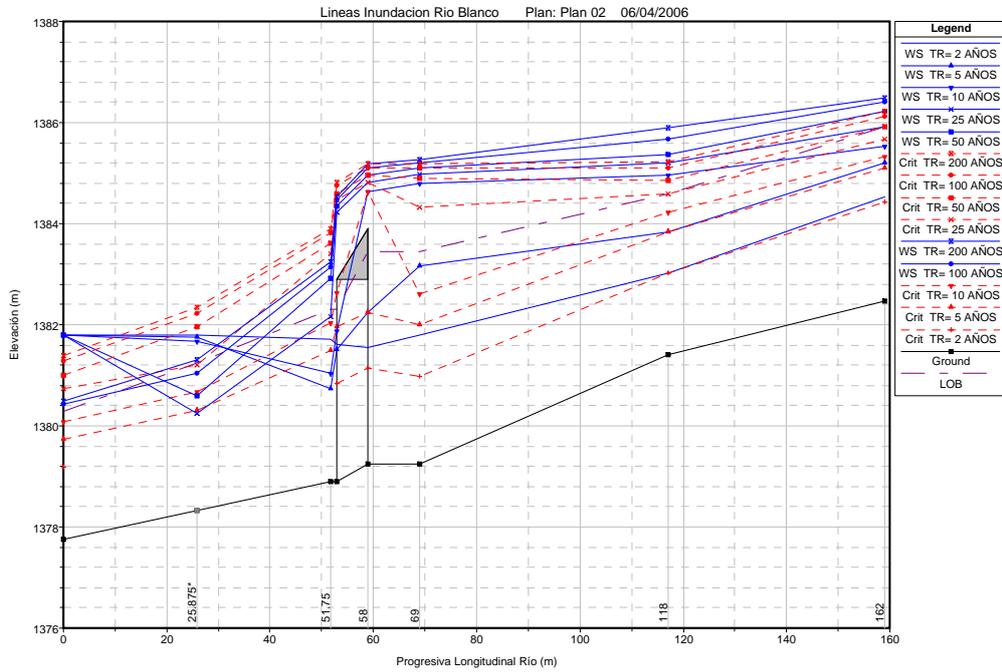


Figura 8. Puente ruta perilago (existente)

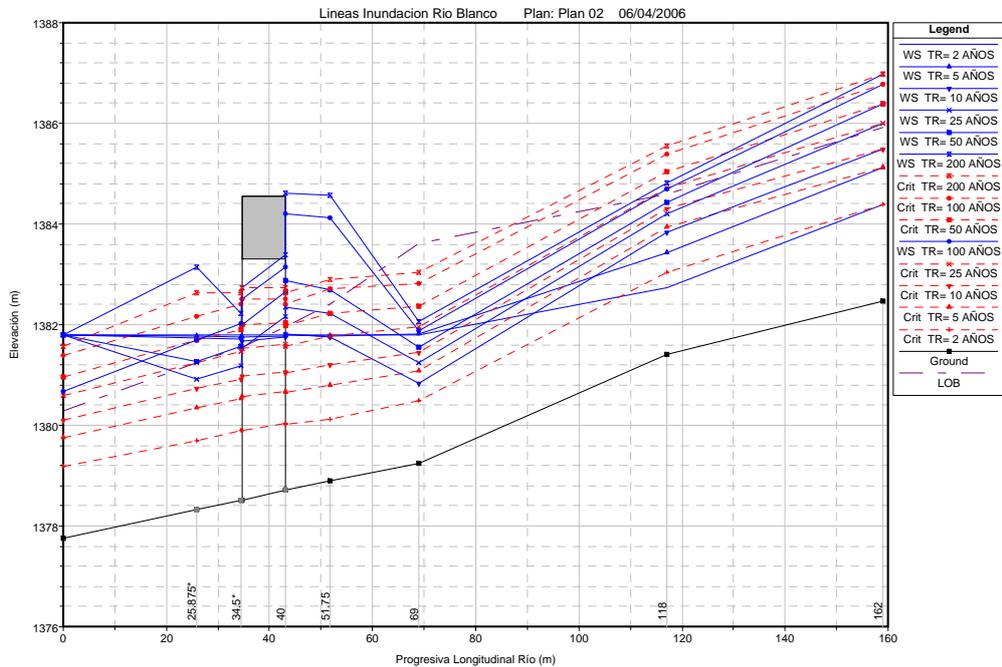


Figura 9. Puente ruta perilago (proyectado)

- el cauce contiene las crecidas de recurrencias 2, 5 y 10 años (Fig. 10) y solamente existe inundación desde 75 m aguas arriba del puente actual de la ruta del perilago para TR = 10 años (Fig. 11), lo cual no sucede en el caso del puente proyectado (Fig. 12).

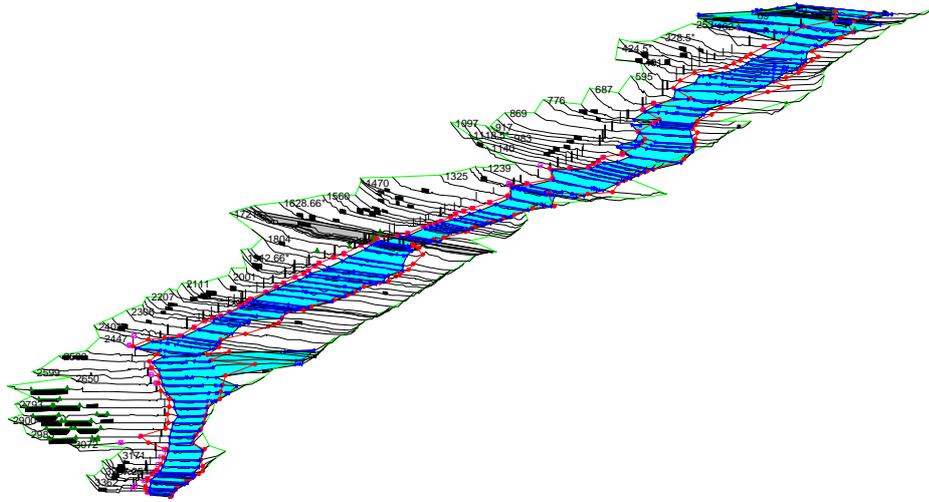


Figura 10. Vista tridimensional del cauce del río Blanco con crecidas de TR = 2, 5 y 10 años

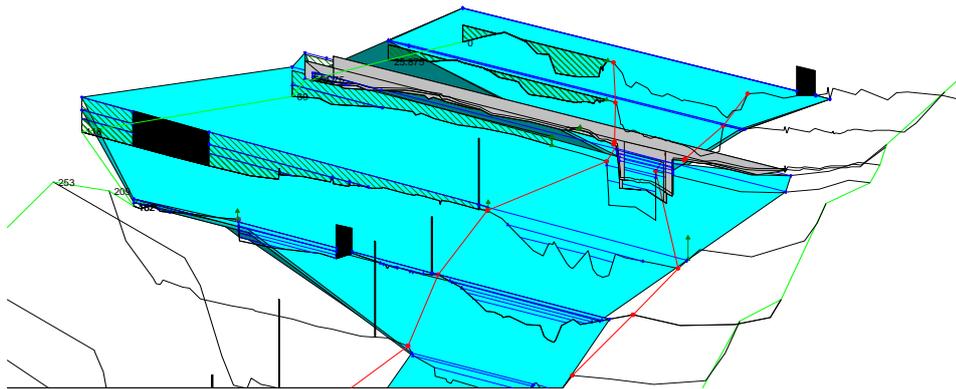


Figura 11. Vista tridimensional del cauce del río Blanco y puente ruta perilago (existente) para TR = 10 años

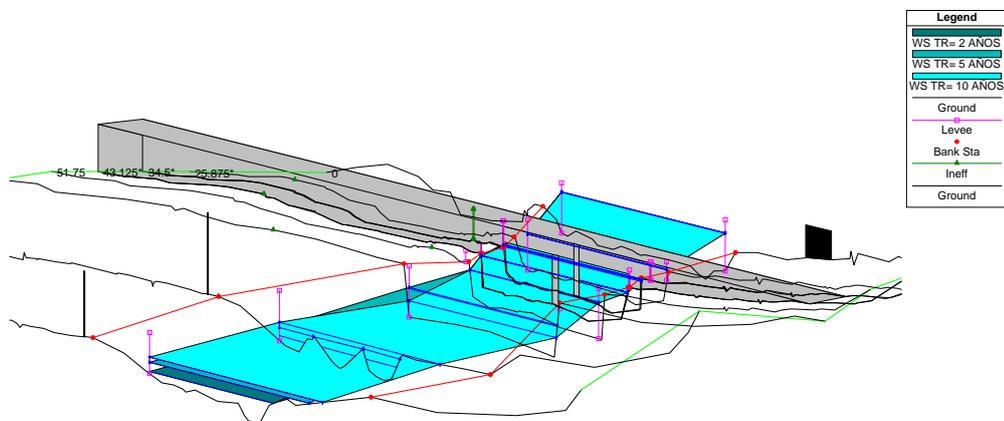


Figura 12. Vista tridimensional del cauce del río Blanco y puente ruta perilago (proyectado)

- para las recurrencias mayores a 10 años se producen inundaciones progresivas en la margen izquierda a medida que aumentan los caudales (Fig. 13).

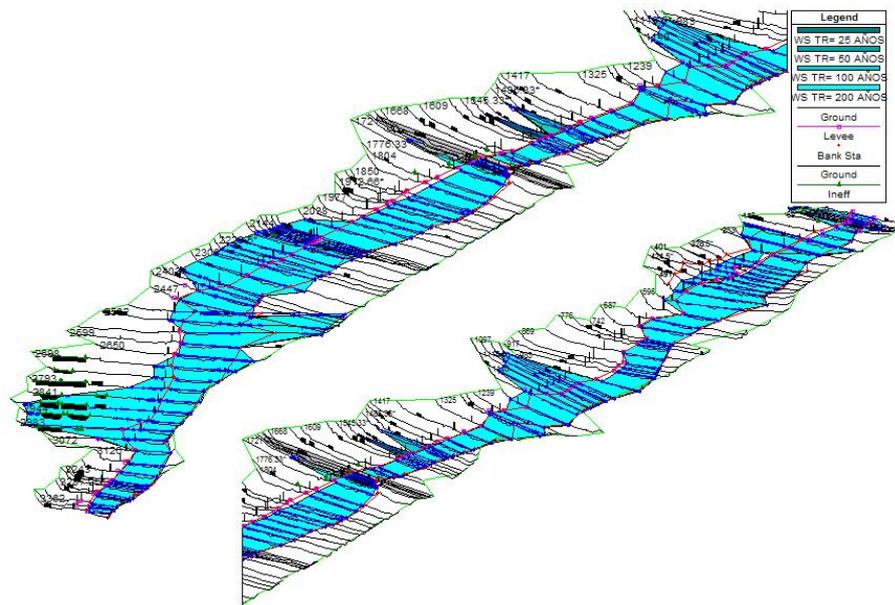


Figura 13. Vista tridimensional del cauce del río Blanco desde aguas arriba

- la línea de ribera queda contenida en el cauce, no afectando propiedades privadas (Fig. 14).

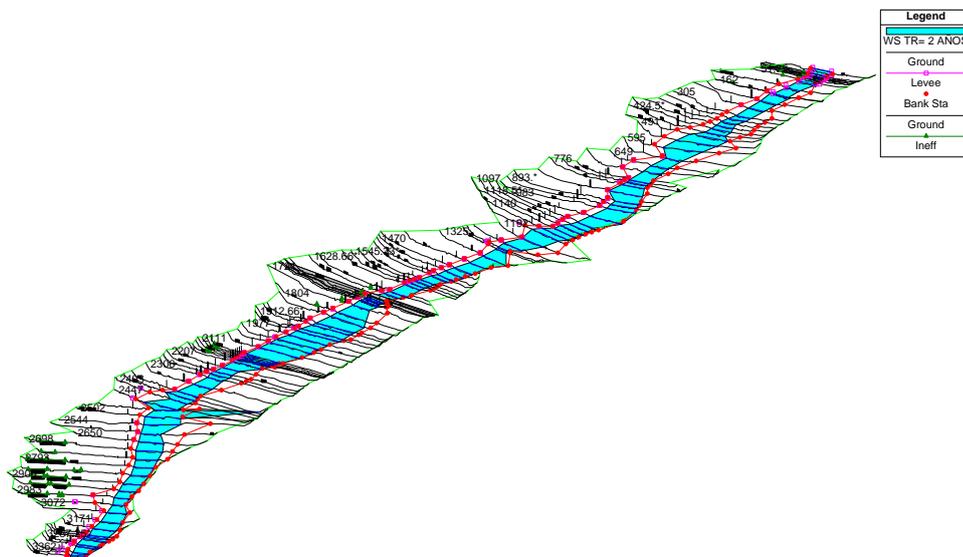


Figura 14. Vista tridimensional del cauce del río Blanco (TR= 2 años)

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES

Las inundaciones son un episodio natural en la dinámica fluvial, que se expresa morfológicamente para los ríos en la planicie de inundación o lecho mayor. Cuanto mayor es la cuenca aguas arriba de una localidad determinada, mayor es el caudal máximo de una crecida y consecuentemente mayores las posibilidades de recurrir a evacuaciones, produciendo las inundaciones, daños, fundamentalmente, económicos.

Los Factores del Riesgo son tres: la Peligrosidad, la Exposición y la Vulnerabilidad (Ayala-Carcedo, F.J., 2001).

- La Peligrosidad se compone de dos aspectos, la Severidad o Intensidad y la Probabilidad, ambas relacionadas (cuanto más intenso o severo es un peligro, afortunadamente, es tanto menos frecuente).
- La Exposición es el conjunto de personas y bienes potencialmente expuestos a la acción de un Peligro.
- La Vulnerabilidad, es la potencialidad del daño que puede producir un Peligro de una determinada Severidad o Intensidad sobre el conjunto de personas y bienes potencialmente expuestos.

Sin que se den los tres, no existe Riesgo. Un terremoto en un desierto donde no hay Exposición de personas o bienes, no supone Riesgo.

Por otra parte, existen niveles de Riesgo para la población, admisibles y no admisibles. El Riesgo cero no existe, y voluntariamente se asumen Riesgos significativos como pasear en automóvil, bañarse en una piscina, fumar o tener productos tóxicos en casa. En general, se admite mayor nivel de riesgo, de pérdida potencial, cuando el riesgo es asumido o no es catastrófico.

No existe amenaza o vulnerabilidad en forma independientemente, ya que son situaciones mutuamente condicionantes que se definen en forma conceptual de manera independiente para efectos metodológicos y para una mejor comprensión del riesgo. Así, al intervenir uno o los dos componentes del riesgo se está interviniendo el riesgo mismo. Sin embargo, dado que en muchos casos no es posible intervenir la amenaza, para reducir el riesgo no queda otra alternativa que modificar las condiciones de vulnerabilidad de los elementos expuestos. Esta es la razón por la cual con mucha frecuencia se hace énfasis en el estudio de la vulnerabilidad y en la necesidad de reducirla mediante medidas de prevención-mitigación, sin embargo lo que realmente se intenta de esta manera es la reducción del riesgo.

Análisis de las áreas inundables

Se procesaron los 77 perfiles del relevamiento topográfico, logrando confeccionar dentro del Sistema de Información Geográfica (SIG) un modelo digital de elevaciones (MDE) que sirvió de base tanto para la extracción de atributos como para el volcado de resultados.

Se conformó un polígono que envuelve la línea de ribera izquierda y derecha del río Blanco en el tramo estudiado (Fig. 15).



Figura 15. Vista de la Línea de Ribera, (en color azul), con detalle de zona central.

El post procesamiento de la información proveniente del modelo hidráulico en conjunto con el uso del MDE permitió generar mapas raster tanto de tirantes hidráulicos (altura de agua) como de velocidades del flujo, para cada recurrencia analizada.

La delimitación de los polígonos de las áreas de inundación (Figs. 16 y 17) también se consiguió empleando para su configuración, entre perfil y perfil, las cotas de terreno del MDE, logrando un polígono irregular que se adecua al terreno.

Se observan en las Figuras 18 y 19 los mapas de tirantes y velocidades en la zona aguas arriba del puente de RN N°7, donde se aprecia el remanso producido por el mismo y las zonas con viviendas anegadas.

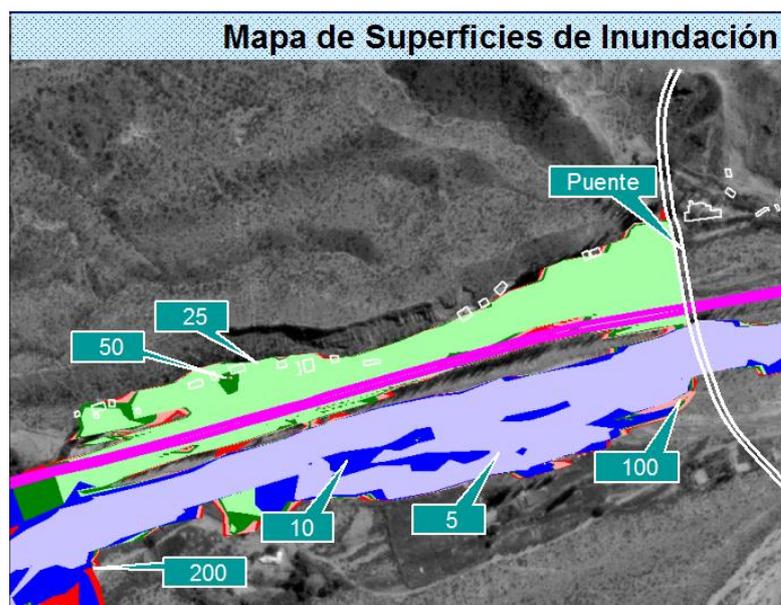


Figura 16. Vista de las superficies de inundación para todas las recurrencias en la zona del puente de RN N°7.

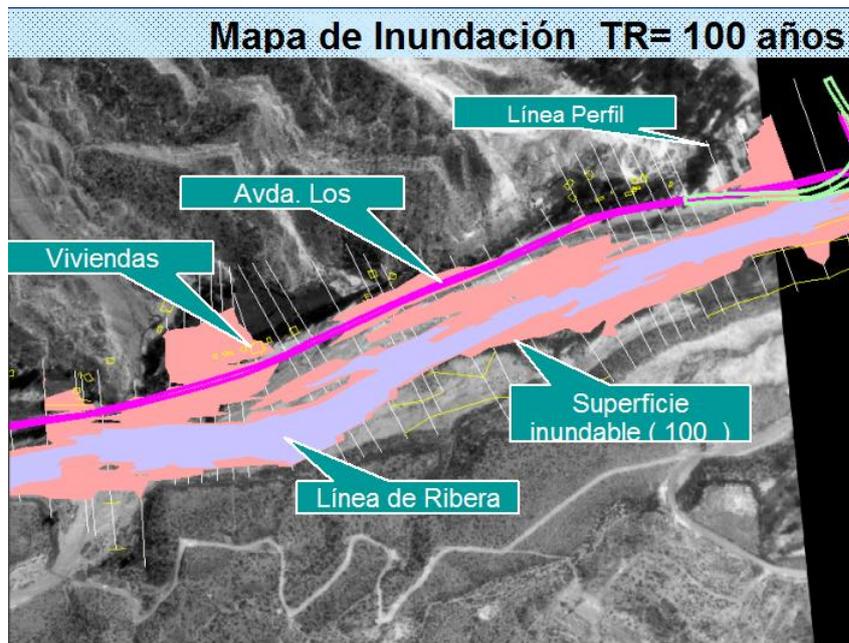
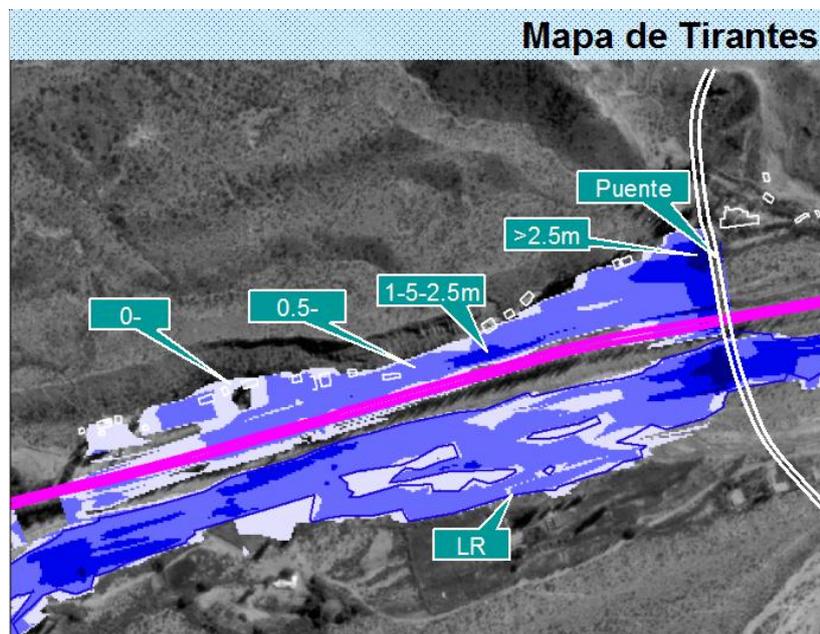


Figura 17. Vista de la superficie de inundación para TR = 100 años en el tramo final del río.



¡Error!

Figura 18. Vista del mapa de tirantes hidráulicos para TR = 25 años en la zona del puente de RN N°7.

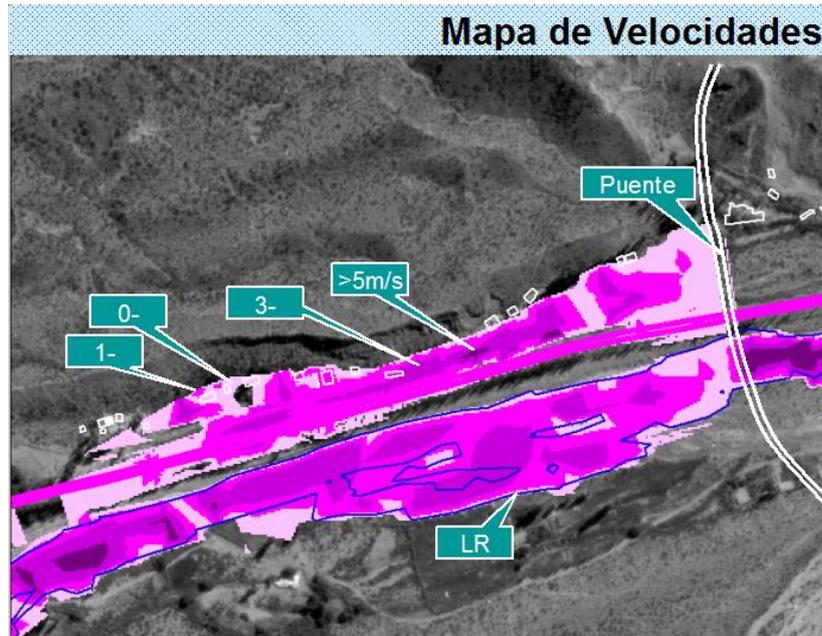


Figura 19. Vista del mapa de velocidades para TR = 25 años en la zona del puente de RN N°7.

Evaluación del riesgo

Se ha definido como Índice de Riesgo al producto de la Peligrosidad, la Exposición y la Vulnerabilidad (3), definiendo a cada variable como:

- La Peligrosidad (P) ha sido representada por su tiempo de retorno.
- La Exposición (E) ha sido dimensionada en función de la distancia entre la ubicación del bien o persona y la línea de ribera en proporción con la distancia máxima del área inundada (2)

$$E = \frac{(D_{MAX} - Dist.LR)}{D_{MAX}} \quad (2)$$

siendo DMAX. = 212m

- La Vulnerabilidad (V) ha sido representada en función del daño parcial o colapso de las personas o bienes expuestos a la presión dinámica ($y*v^2$ o $y*v$) que ejerce el agua sobre ellos, asignándole los siguientes valores:

Daño a Personas:

- Estable para $y*v^2 < 1.23 \text{ m}^3/\text{s}^2$ y $y*v < 1 \text{ m}^2/\text{s}$ V = 0
- Inestable para $y*v^2 \geq 1.23 \text{ m}^3/\text{s}^2$ y $y*v \geq 1 \text{ m}^2/\text{s}$ V = 1

Daño a Vehículos:

- Estable para $y \cdot v \leq -0.0564 v^2 + 0.6599 v + 0.0584$ $V = 0$
- Inestable para $y \cdot v > -0.0564 v^2 + 0.6599 v + 0.0584$ $V = 1$

Daño a Edificios:

- Inundación : $y \cdot v \leq 3 \text{ m}^2/\text{s}$ o $v < 2 \text{ m/s}$ $V = 0$
- Daño parcial : $3 < y \cdot v \leq 7 \text{ m}^2/\text{s}$ o $v \geq 2 \text{ m/s}$ $V = 1$
- Daño Total : $y \cdot v > 7 \text{ m}^2/\text{s}$ y $v \geq 2 \text{ m/s}$ $V = 2$

Adoptando esta nomenclatura es posible definir el Índice de Riesgo (R) (3) como una magnitud que expresa la presencia simultánea, dentro de un área, de una situación de peligrosidad, de exposición y de vulnerabilidad, o sea:

$$R = P \cdot E \cdot V \quad (3)$$

Pero como la vulnerabilidad potencial de cada elemento está definida utilizando variables hidráulicas que dependen de la probabilidad de ocurrencia (1/TR), se confeccionaron los mapas de vulnerabilidades de personas, vehículos y edificios para las recurrencias de 25, 50, 100 y 200 (las frecuencias mayores no producen desbordes de margen izquierda), para luego por medio de análisis de estadística local buscar el máximo por pixel. Es decir, en un pixel determinado existirán o no, valores de vulnerabilidad potencial (V) para cada recurrencia eligiéndose para ese pixel el máximo de los cuatro, pudiendo alguno ser nulo.

La multiplicación, por medio de álgebra de mapas, del mapa de daño del elemento (valores de V) por el mapa de exposición y por los TR, arroja un índice de riesgo (R) que se encuentra entre 0 y 0,05. Una vez asignado el índice de riesgo (R) para cada elemento, cada área es clasificada en una de las cuatro clases de riesgo (Figs. 20 a 22):

- R4 (Muy Elevado). Posibles pérdidas de vidas humanas y lesiones graves a las personas, daños graves a los edificios y a la infraestructura, daños al patrimonio ambiental, destrucción de actividades socioeconómicas. (Rango $>0,03$)
- R3 (Elevado). Posibles problemas respecto a la seguridad de las personas, daños funcionales a los edificios y a la infraestructura, con consecuente inhabilitación de los mismos y la interrupción de las actividades socioeconómicas, daños al patrimonio ambiental. (Rango de 0,01 a 0,03)
- R2 (Medio). Posibles daños menores a los edificios, a la infraestructura y al patrimonio ambiental que no perjudican la seguridad de las personas, la inhabilitación de los edificios y la funcionalidad de las actividades socioeconómicas. (Rango de 0.002 a 0,01)
- R1 (Moderado). Los daños sociales, económicos y al patrimonio ambiental son marginales. (Rango < 0.002)

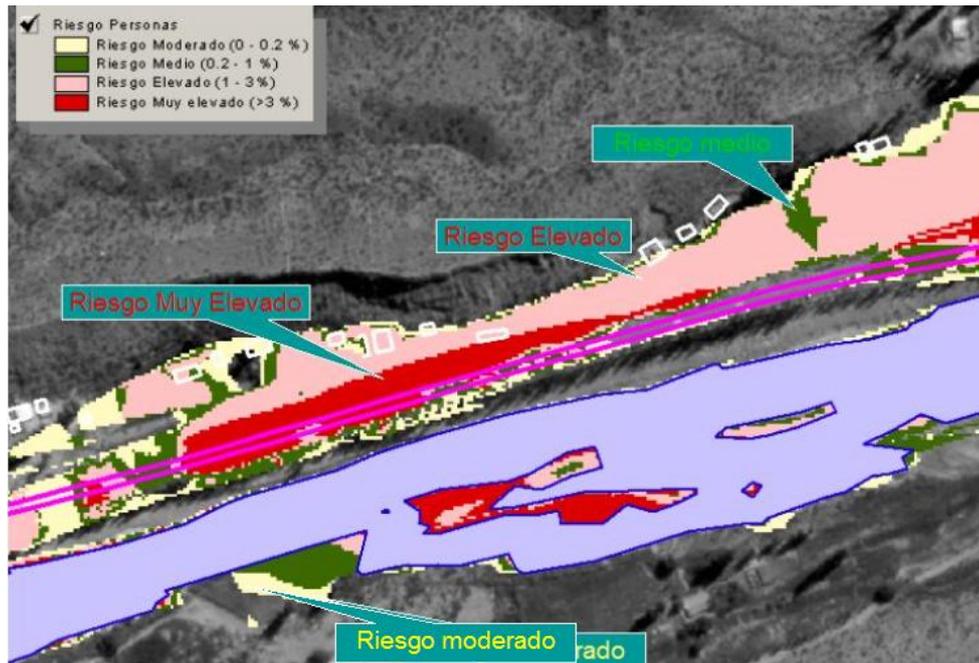


Figura 20. Mapa de Riesgos para Personas (Detalle de zona aguas arriba del puente RN7)

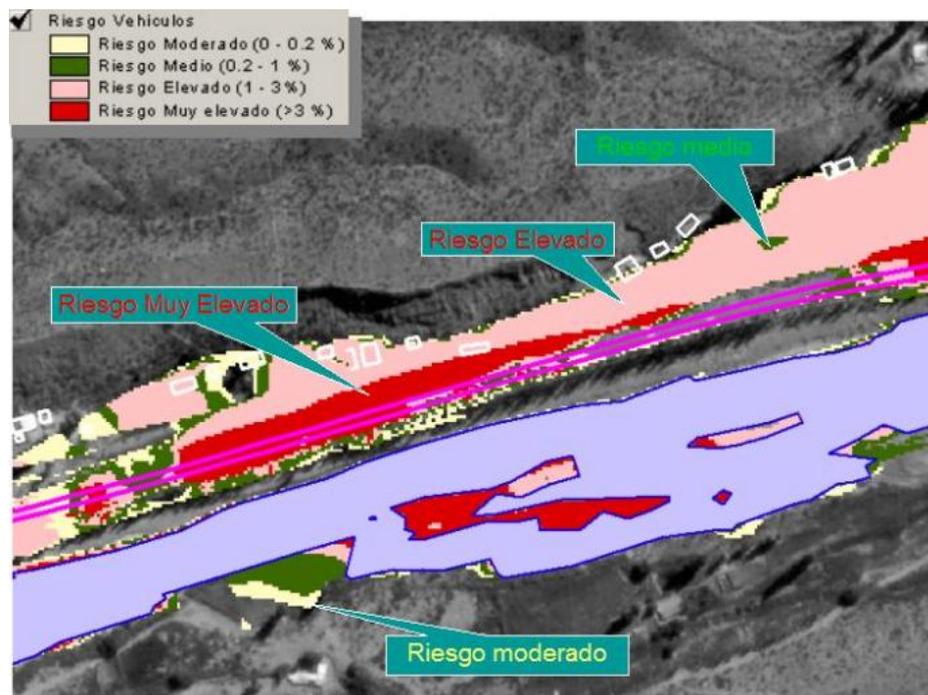


Figura 21. Mapa de Riesgos para Vehículos (Detalle de zona aguas arriba del puente RN n°7)

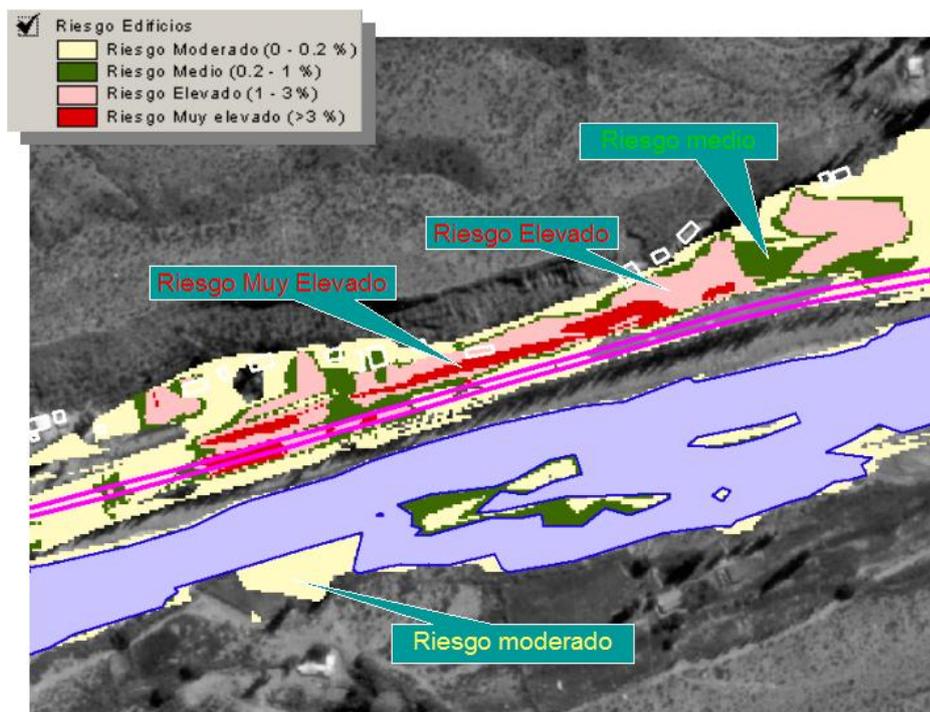


Figura 22. Mapa de Riesgos para Edificios (Detalle de zona aguas arriba del puente RN n°7)

RECOMENDACIONES

Considerando que existe una estrecha relación entre la reducción de la vulnerabilidad a inundaciones, con la aplicación de los principios del manejo de cuencas hidrográficas en el contexto del desarrollo sostenible, y que la cuenca hidrográfica es una unidad efectiva para la planificación y el ordenamiento territorial, se recomienda:

- Considerar las siguientes medidas no estructurales:
 - la zonificación y el ordenamiento territorial
 - demarcación del deslinde público del privado (línea de ribera)
 - restricciones al uso del suelo
 - implementación de sistemas de alerta en tiempo real
 - preparación de planes de contingencia por parte de organismos vinculados a la Defensa Civil
 - la formación y capacitación de las comunidades en la preparación para enfrentar adecuadamente la contingencia.
 - concientizar a la población sobre que las soluciones estructurales que se adopten no tienen riesgo cero, siempre existe un evento que puede superar al de diseño; esto es que las soluciones estructurales (por ej. defensas) no aumenten la vulnerabilidad de las áreas defendidas al crear una falsa sensación de seguridad total.
- Considerar las siguientes medidas estructurales:
 - diseños alternativos de construcción de infraestructura y vivienda para resistir a los efectos producidos por las inundaciones

- la reubicación de poblaciones, actividades e infraestructuras situadas en zonas críticas con riesgos elevados.
- defensas contra crecidas

Propuesta de defensas sobre la margen izquierda del río Blanco

Se propuso darle al cauce del río Blanco, en su tramo coincidente con la Av. Los Cóndores, una capacidad suficiente para poder conducir el caudal de TR = 100 años (685 m³/s).

Para aumentar su capacidad de conducción se identificaron las secciones que son sobrepasadas actualmente por el mencionado caudal de diseño y en base a un procedimiento iterativo con el modelo HEC-RAS se pudieron dimensionar en altura los tramos de defensa necesarios para evitar las inundaciones con la mencionada recurrencia.

La selección del tiempo de retorno de diseño de 100 años fue fundamentada en los siguientes aspectos:

- el TR = 100 años es la recurrencia de diseño establecida en Estados Unidos para defensas marginales en ríos. En ese país existe una larga tradición en la construcción de tal tipo de obra y es obligatorio el seguro contra inundaciones, cuya agencia gubernamental prestataria acepta esa recurrencia de diseño
- el TR = 100 años es la recurrencia de diseño, para el tipo de obra propuesta, que se aconseja en la bibliografía internacional
- a los fenómenos hidrológicos se los considera sujetos a leyes de probabilidad de ocurrencia, luego como consecuencia de esa naturaleza aleatoria, existen incertidumbres inherentes a esos procesos que se manifiestan como *riesgo hidrológico*, que es el riesgo de que el evento de diseño (con un TR asociado) de una obra hidráulica sea sobrepasado en un período n considerado (por ej. la vida útil de la obra) (4).

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{100}\right)^{50} = 39.5\% \quad (4)$$

es decir que la crecida de TR = 100 años tiene un riesgo de que se produzca en los próximos 50 años de 39,5%, el cual es un riesgo aceptable de acuerdo a los costos de los daños involucrados, siempre y cuando no se pierdan vidas humanas por la falla de la obra, ya que se considera que existen acciones de tipo no estructural (por ej. sistema de alerta, plan de contingencia, etc) que disminuyen el riesgo de tales pérdidas.

Una cuestión de fundamental importancia en el diseño de defensas costeras fluviales es la determinación de la revancha, considerada ésta como la altura existente entre la superficie libre de agua en el cauce y el coronamiento de la defensa.

Luego de una extensa revisión bibliográfica sobre el tema se decidió asignarle al coronamiento de la defensa la cota correspondiente a la superficie libre de agua producida por la crecida de TR = 200 años. Esta decisión está fundamentada en las siguientes consideraciones:

- el TR = 200 años corresponde a un error de 11% (Linsley, R.K., 1986) en la estimación del caudal pico correspondiente a TR = 100 años. Justamente la diferencia que existe entre los caudales de TR = 100 y TR = 200 años en el río Blanco es de 11%; luego consecuentemente se cubre el 11% de incertidumbre en la determinación del caudal pico de la crecida de TR = 100 años con la cota de coronamiento coincidente con el evento de 200 años
- haciendo la cota de coronamiento de la defensa igual al nivel de agua que corresponde a la crecida de TR = 200 años se disminuye el riesgo de ocurrencia (5) en los próximos 50 años de 39,5% a 22,2%

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n = 1 - \left(1 - \frac{1}{200}\right)^{50} = 22.2\% \quad (5)$$

- en la publicación (U.S. National Research Council, 2000) se expresa que una revancha de 0,90 m para una defensa diseñada con TR = 100 años (norma habitual en Estados Unidos) implica en promedio reducir el riesgo a aproximadamente 1/230 por año. Esto implica que para Estados Unidos una recurrencia del orden de 200 años es apropiada para considerar la revancha.

CONCLUSIONES

Se determinó la línea de ribera a efectos de deslindar el dominio público del privado y poder así la autoridad de aplicación otorgar las escrituras dominiales de los ribereños con restricción al dominio si correspondiere según los mapas de riesgos determinados.

Se definió un índice de riesgo como una magnitud que expresa la presencia simultánea, dentro de un área, de una situación de peligrosidad, de exposición y de vulnerabilidad. Esta definición sintetiza muy bien el concepto de interferencia entre ambiente natural y actividad antrópica, permitiendo su inmediata representación gráfica por mapas temáticos, debido a que la vulnerabilidad y la exposición tienen intrínsecamente distribución espacial. Estos mapas permiten determinar expeditivamente las zonas de riesgo para que el ordenamiento territorial y el establecimiento de usos del suelo, esté fundamentado técnicamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-Carcedo, F.J.** (2001). “*La Ordenación del Territorio en la prevención de catástrofes naturales y tecnológicas. Bases para un procedimiento técnico-administrativo de evaluación de riesgos para la población*”. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 30, 37-50.
- Barnes, H. H. Jr.** (1977). “*Roughness Characteristics Of Natural Channels*”. U.S. Geological Survey Water - Supply Paper 1849.
- Limerinos, J. T.** (1970). “*Determination of the Manning coefficient from measured bed roughness in natural channels*”. Water Supply Paper 1898-B, US Geological Survey, Washington.
- Linsley, R.K.** (1986). “*Flood estimates: how good are they?*” Water Resources Research, Vol.22, N°9, Pages 1595-1695.

Maza J.A., A. Vargas A., P. López, M. Manzanera, P. Llorente, M. Núñez (2001). *Determinación de crecidas en el río Blanco*. En el Marco del Ordenamiento Territorial de la Avenida Los Cóndores, Potrerillos, Mendoza. Informe Final. Convenio Ministerio de Amb. y Obras Públicas de Mendoza-INA.

U.S. Hydrologic Engineering Center (2005). *HEC-RAS River Analysis System. User's Manual*. Version 3.1.3.

U.S. National Research Council (2000). *Risk Analysis and Uncertainty in Flood Damage Reduction Studies*. Committee on Risk-Based Analysis for Flood Damage Reduction, Water Science and Technology Board. National Academy Press.