

EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR DESBORDE EN EL RÍO AZUL

E. Javier Herrera, Patricia Jaime, José Daniel Brea

Laboratorio de Hidráulica - Instituto Nacional del Agua (INA)
Casilla de Correo 21 – Ezeiza – Buenos Aires – CP 1804. Teléfono 4480-4500
E-mail: javierhez@gmail.com; pjaime@ina.gov.ar; dbrea@ina.gov.ar

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un modelo conceptual para evaluar el nivel de amenaza por desbordamientos en función de parámetros morfológicos, hidráulicos y sedimentológicos.

Sobre la base de información topográfica y sedimentológica disponible y la caracterización de las condiciones hidrodinámicas en diferentes escenarios hidrológicos, se aplicó la metodología propuesta para zonificar el nivel de amenaza por desborde del Río Azul en el tramo comprendido entre la confluencia del río Motoco y el propio río Azul hasta su desembocadura en el lago Puelo.

La aplicación efectuada indica que más de la mitad de la extensión del tramo puede ser categorizada con Alto nivel de amenaza y provee a las autoridades de una herramienta que posibilita la toma de decisiones para la gestión del riesgo por desborde del río Azul.

ABSTRACT

In this paper the development of a conceptual model to evaluate the level of threat by overflows based on morphologic, hydraulic and sediment particle parameters is described. On the basis of topographic and sediment information available and the characterization of hydrodynamics conditions in different hydrological scenes, the methodology proposed was applied to evaluate the level of threat by overflowing of the Azul River in the reach between the confluence of the Motoco river and the own Azul river until its opening in the Puelo lake. The conducted application indicates that more than half of the extension of the section it can be classified with High level of threat and provides to the authorities of a tool that makes possible the decision making for the management of the risk by overflowing of Azul river.

INTRODUCCIÓN

La tendencia de los tres últimos decenios revela que han aumentado tanto el número de eventos naturales desastrosos como el de poblaciones afectadas (Naciones Unidas, 2004).

La República Argentina no es ajena a estos eventos y mucho menos a la tendencia creciente de los mismos, viéndose gravemente afectada en forma periódica y perturbado su orden social, ambiental y económico debido a eventos de inundaciones extraordinarias.

En los últimos 30 años el concepto de *gestión del riesgo de desastre* se enmarca en un enfoque holístico que pondera fuertemente el factor vulnerabilidad y riesgo, pasándose así de una mera preparación de los Estados para responder a las catástrofes, a una formulación de políticas tendientes a proporcionar a la sociedad la resiliencia requerida ante las amenazas naturales y asegurar que los esfuerzos que realizan por alcanzar el desarrollo no aumenten su vulnerabilidad a dichas amenazas. (Naciones Unidas, 2004).

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar una herramienta de gestión a las autoridades encargadas de la formulación de políticas, presentando el resultado de la evaluación de la amenaza por desbordamientos del río Azul. Se aplicó la metodología propuesta por Aulitzky (1.973) adaptada por los autores de este trabajo a las condiciones fluviomorfológicas de los ríos de montaña, en combinación con la metodología típica de análisis para ríos de llanura, obteniéndose como resultado la zonificación de la amenaza por desborde sobre una base cartográfica.

El área de estudio se ubica en la cuenca del río Azul que se desarrolla en el frente cordillerano de las provincias de Río Negro y Chubut. Dentro de ella, la ciudad de Lago Puelo se ha desarrollado ocupando la planicie de inundación del río Azul (Figura 1), y consecuentemente ha sufrido reiteradas inundaciones de zonas urbanizadas y de cultivos.

La zonificación de la amenaza por desborde se efectuó para el sector de mayor ocupación urbana del río Azul, comprendido éste entre la confluencia del río Motoco y el propio río Azul hasta su desembocadura en el lago Puelo.

El río Azul, de 55 Km de longitud y pendiente media del 9%, conduce un caudal medio anual de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ y drena una cuenca de aproximadamente 1.200 Km^2 . Eventualmente, su caudal ha alcanzado hasta los $600 \text{ m}^3/\text{s}$ tal como se registró en el año 2004 y se estima que para un evento extremo, por ejemplo con tiempo de retorno de 100 años, el caudal sería de aproximadamente $1.200 \text{ m}^3/\text{s}$ (INA, 2006).



Figura 1.- Ocupación urbana de la planicie de inundación

DESCRIPCIÓN DEL MODELO PROPUESTO

El modelo de análisis propuesto se basa en la metodología original para evaluación de amenaza en un cono de deyección propuesta por Aulitzky (1973), la cual exige dar respuesta a seis preguntas con respecto al cono de deyección. Las preguntas son alusivas a la dimensión del material recientemente transportado/erosionado, el espesor de los estratos en los depósitos de material, la pendiente del cono de deyección, la cobertura vegetal predominante, el desarrollo del terreno en el área del cono de deyección a causa de la erosión y finalmente, la condición del flujo en el área del cono de deyección.

Cada pregunta tiene cuatro posibles respuestas que expresan un grado decreciente de amenaza (de 4 a 1), y para cada una se elabora un mapa primario que representa la distribución espacial de la variable, asignando el “puntaje (de 4 a 1)” a cada celda de cálculo.

Finalmente, se superponen los seis mapas primarios y se promedian los valores anteriormente asignados a cada celda. El promedio así obtenido es el índice de intensidad de amenaza por inundación y se agrupa en tres clases. Si el valor resulta superior a 2,6, el área se considera de amenaza alta (“zona roja”) con la consiguiente prohibición absoluta de construir en ella; si está entre 2,6 y 1,6 se trata de una zona con “límites de urbanización/posesión” (zona amarilla) donde deben aplicarse disposiciones particulares para prevenir futuros daños. Si el valor resultante es inferior a 1,6 puede construirse sin especificaciones particulares dentro de la misma (zona verde).

En caso de incertidumbre el método de Aulitzky aconseja no dar respuesta a las preguntas ya que podría incurrirse en un error en la definición de áreas al no reflejar la situación real (Lenzi y Paterno, 1997).

El modelo propuesto para evaluar la amenaza por desborde del Río Azul en la ciudad de Lago Puelo conserva algunas variables del modelo de Aulitzky (1973) como son la pendiente, dimensión máxima del material recientemente transportado y la condición del flujo, entendida esta última como la evaluación cualitativa del grado de libertad del flujo para escurrir sin obstáculos.

Estas variables fueron adaptadas desde el punto de vista fluviomorfológico, de su aplicación original en un curso que se desarrolla en un cono de deyección a un curso que se desarrolla en área de montaña y además, fueron reclasificadas de manera que el puntaje utilizado para expresar el grado de criticidad varia en un rango (de 3 a 1) donde el valor de 3 se asigna a las condiciones que hacen más crítica la variable. La distinción de niveles de criticidad adoptados se muestra en la Tabla N° 1, en la que se evidencia la incorporación de una variable que evalúa el grado de las perturbaciones inducidas en el curso receptor por la descarga de sus tributarios.

El criterio utilizado para definir el nivel de criticidad asociado a la variable pendiente, se basa en la clasificación geomorfológica de Bathurst (1993) que distingue varios tipos de cauces de material granular, principalmente en función del tamaño medio del sedimento y la pendiente.

Los rangos usados en la clasificación de la “variable diámetro máximo del material transportado” son el producto de la reclasificación de los valores presentados por Aulitzky (1973).

Tabla N° 1.- Niveles de criticidad de las variables en el modelo de amenaza

| Variable | Criterio | Criticidad |
|----------------------------------|---|------------|
| Desborde (Modelo matemático) | Para Tr 2 años | 3 |
| | Para Tr 10 años | 2 |
| | Para Tr 100 años | 1 |
| Condición del flujo | Presencia de obstáculos (puentes, box culvert, diques o afloramientos de roca) que <i>impiden fuertemente el flujo</i> . También obras longitudinales, curvas cerradas, secciones transversales estrechas, grandes depósitos de sedimento y desviaciones bruscas que en presencia de un <i>mínimo</i> transporte de material (troncos, leños o woody) arrastrado por el flujo puedan producir desborde. | 3 |
| | Similar a la situación anterior excepto que <i>sólo un fuerte</i> arrastre de material (troncos, leños o woody) o sedimento grueso provocaría desbordamiento. | 2 |
| | Ausencia de obstáculos significativos. Pero canal no bien definido | 1 |
| Descarga de tributarios | Fuerte aporte de sedimento desde el tributario, formando depósitos que se proyectan en más del 10% de la sección transversal del río en estudio. Confluencia con grandes ángulos (medido entre ejes de ríos). | 3 |
| | Misma situación anterior, pero los depósitos <i>no</i> se proyectan en más del 10% de la sección del río en estudio | 2 |
| | Bajo aporte de sedimento por parte del tributario o el sedimento es fácilmente transportado por el río. Formación de pequeños depósitos. | 1 |
| Pendiente | $S > 5\%$ | 3 |
| | $0,5\% < S < 5\%$ | 2 |
| | $0,05\% < S < 0,5\%$ | 1 |
| Φ Máx. del material transportado | $> 0,5$ | 3 |
| | $0,15 < d < 0,5$ | 2 |
| | $< 0,15$ | 1 |

El resultado obtenido de la sub-evaluación de la amenaza por desborde a partir de los niveles simulados por el modelo matemático y la evaluación hecha en base en las variables antes mencionadas, se integran mediante una ecuación que expresa el *nivel de amenaza por desborde* en un modelo aditivo de la forma:

$$nA = \alpha_1 DM + \alpha_2 CF + \alpha_3 DT + \alpha_4 P + \alpha_5 MT \quad (1)$$

en la que nA denota el nivel de amenaza por desborde, DM : desborde evaluado con el modelo matemático, CF : condición del flujo, DT : descarga de tributarios, P : pendiente media del río en el tramo, MT : máximo tamaño del material recientemente transportado y α_i : coeficiente que denota la importancia o el peso de cada una de las variables dentro del modelo integrador. Los valores asignados a los coeficientes de ponderación α_i se muestran en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2.- Valores de los coeficientes de ponderación α

| Coefficiente | Valor |
|--------------|-------|
| α_1 | 0,50 |
| α_2 | 0,20 |
| α_3 | 0,15 |
| α_4 | 0,10 |
| α_5 | 0,05 |

Los valores de nivel de amenaza obtenidos a partir de este algoritmo son reclasificados en rangos de importancia (Tabla N° 3), asignándole a cada rango una valoración de amenaza alta, media o baja, para obtener el modelo final.

En esta clasificación como en la definición de las condiciones que asignan el grado de criticidad para cada variable, se apela al apoyo de experiencias documentadas y criterios estandarizados como en el caso de la selección de los tiempos de retorno para evaluar la respuesta hidráulica del río a diferentes escenarios hidrológicos y finalmente a criterios geomorfológicos de ríos de montaña. Dado el caso que la variable no se pueda evaluar, por ejemplo ante la inexistencia de tributarios, la misma adopta el valor cero.

Tabla N° 3.- Reclasificación del modelo de amenaza por desborde

| Rango | Valor | Nivel de Amenaza |
|-------------|-------|------------------|
| > 1,65 | 3 | Alta |
| 1,15 – 1,65 | 2 | Media |
| < 1,15 | 1 | Baja |

El nivel de amenaza se representa cartográficamente con los colores rojo, amarillo y verde en cada una de las secciones transversales en sentido de intensidad decreciente, y puede obtenerse una descripción areal agrupando los resultados por tramos de categorización similar que definen zonas con prioridad de atención o intervención.

APLICACIÓN DEL MODELO PROPUESTO

La información disponible para la aplicación de la metodología descrita esta conformada por cartografía de la zona con curvas de nivel con equidistancia de un metro, relevamientos de secciones transversales del río distanciadas entre sí aproximadamente 200 m, granulometrías del material del lecho del río y material fotográfico y de video (incluyendo material de sobrevuelo) recolectado a través de las sucesivas campañas realizadas durante los años 2004, 2005 y 2006.

Además se contó con los resultados de la explotación del modelo matemático unidimensional HEC RAS del US Army Corps of Engineers, que fue implementado para distintos escenarios hidrológicos en el marco del Estudio de la Dinámica Fluviomorfológica del Río Azul (INA, 2006).

En cada una de las secciones transversales (en total 41) relevadas en el tramo de estudio, se evaluaron las variables que componen el modelo, obteniéndose así un valor característico de amenaza.

En la Figura 2 se presenta el resultado de la evaluación de la amenaza por desbordes en la zona de confluencia del río Azul y el arroyo Motoco, zona donde este último deposita cantidades considerables de sedimento, formando barras que actúan como obstrucción ante eventuales crecidas del río Azul. A su vez, en esta zona el cauce del río Azul ha sufrido una contracción producto de las obras longitudinales (línea café de trazos cortos) dispuestas como protección contra inundaciones. Esta área es un ejemplo de cómo unas secciones que presentan desborde tan sólo para el caudal asociado a un tiempo de retorno de 100 años, pueden llegar a ser clasificadas con un nivel de amenaza alta debido al elevado grado de criticidad de otras variables involucradas. Cabe destacar que las velocidades medias pronosticadas en esta zona para los distintos escenarios hidrológicos evaluados varían en el rango de 2,2 m/s a 5 m/s, magnitudes que pueden comprometer la estabilidad de obras hidráulicas.

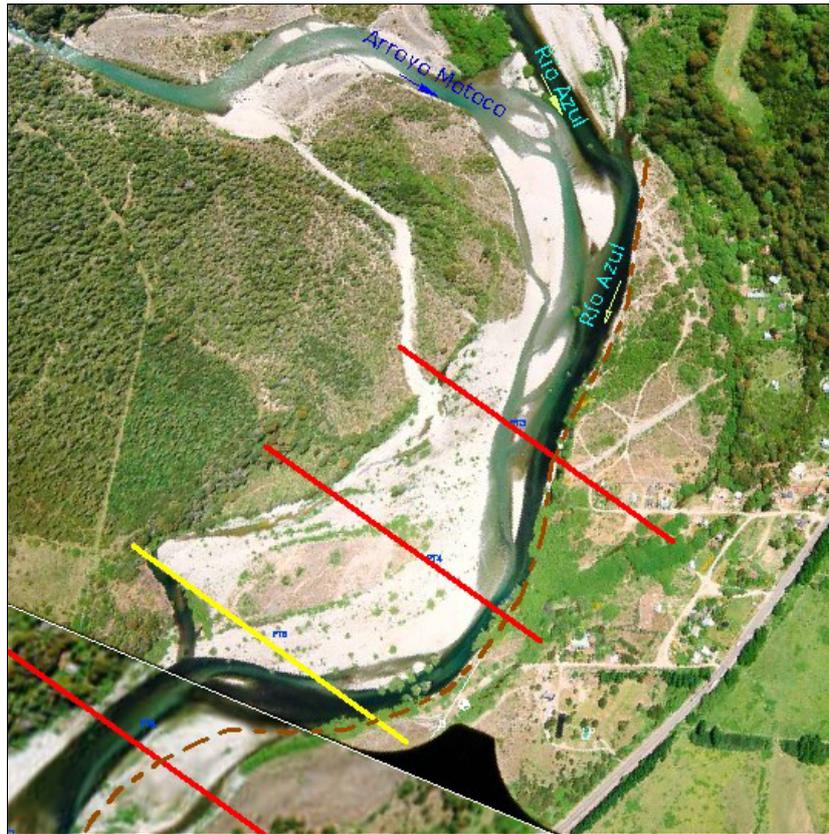


Figura 2.- Evaluación de la amenaza por desborde en la zona de confluencia del río Azul y el arroyo Motoco

Las Figuras 3, 4 y 5 presentan la extensión regional de la caracterización del nivel de amenaza por desborde efectuado por secciones. En resumen, se pueden identificar dos zonas en alto nivel de amenaza que corresponden a la ya descrita zona de confluencia con el arroyo Motoco y un tramo de 2,5 Km aguas arriba de las inmediaciones del parque Nacional Lago Puelo en el cual el cauce se hace estrecho debido a la existencia de grandes depósitos de sedimentos junto a un desarrollo en planta marcado por curvas muy cerradas. Los dos tramos en mención representan un 47% de la longitud total evaluada que es de aproximadamente 8,5 Km.

Se distingue también el sector conocido como “de islas” frente al cual se ubica el centro urbano de la ciudad de Lago Puelo. Si bien en dicho sector el río goza de una amplia sección transversal (mayor a 250 m), la misma se ve fuertemente disminuida en su área de conducción efectiva por la presencia de grandes depósitos de sedimento en los cuales prolifera vegetación de porte medio, situación que llega a generar desbordes para el caudal con tiempo de retorno de 2 años.



Figura 3.- Extensión regional de la caracterización del nivel de amenaza por desborde



Figura 4.- Amenaza por desborde en el sector comprendido entre la confluencia del arroyo Motoco y el sector “de islas” a 1 Km aguas arriba de la confluencia del arroyo Golondrinas (Detalle 1)



Figura 5.- Amenaza por desborde en el sector comprendido entre 1 Km aguas arriba de la confluencia del arroyo Golondrinas y la desembocadura del Río Azul en el lago Puelo (Detalle 2)

En la Tabla N° 4 se presenta en correspondencia con la Figura 3, los porcentajes de distribución de diferentes niveles de amenaza por desborde respecto a la longitud del tramo evaluado.

Tabla N° 4.- Distribución de niveles de amenaza en el tramo de análisis

| Nivel de Amenaza | % respecto del tramo evaluado | Color |
|------------------|-------------------------------|----------|
| Alta | 51 | Rojo |
| Media | 16 | Amarilla |
| Baja | 33 | Verde |

CONCLUSIONES

Se ha presentado un modelo conceptual para evaluar la amenaza por desborde en función de elementos morfológicos, parámetros hidráulicos del cauce y parámetros sedimentológicos.

El modelo propuesto permite hacer una evaluación del nivel de amenaza que incluye variables no consideradas en las técnicas tradicionales basadas únicamente en las características hidrodinámicas del flujo estimadas por la aplicación de modelos matemáticos hidrodinámicos.

La aplicación efectuada a un tramo del Río Azul en proximidades de la ciudad de Lago Puelo indica que más de la mitad de la extensión del tramo puede ser categorizada con Alto nivel de amenaza y provee a las autoridades una herramienta que posibilita la toma de decisiones para la gestión del riesgo por desborde del río Azul. Además, es un punto de partida para el ingeniero proyectista de obras hidráulicas, al proporcionarle un criterio para definir zonas con prioridad de atención.

REFERENCIAS

Aulitzky H. (1.973) Vorläufige Wilbach – Gefährlichkeits – Klassifikation für Schwemmkegel (Wildbach Index). Beilage z. Österr. Wasserwirtschaft 24, H.

Bathurst, J.C. (1993) “Flow resistance through the channel network”, en Beven, K.; Kirkby, M.J. (Eds.): Channel network hydrology. Wiley.

Instituto Nacional del Agua (INA) (2006) Laboratorio de Hidráulica. Proyecto “Estudio de la dinámica fluviomorfológica del Río Azul”.

Lenzi, M y Paterno, P (1997) La progettazione e la valutazione di impatto ambientale degli interventi di sistemazioni idraulico-forestali “Uno studio di caso sul Rio Lazer”. Università di Padova. Edizioni Progetto, Padova, Italia

Naciones Unidas (2004) “Vivir con el Riesgo: Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres”