

## Zonas de riesgo para obras contra inundaciones (Río Bermejo, Chaco)

*Orfeo, Oscar<sup>1</sup> - Ruberto, Alejandro R.<sup>2</sup>*

1. CECOAL-CONICET y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura - UNNE.  
CC. 291 - (3400) Corrientes - Argentina. - E-mail: orfeo@compunort.com.ar
2. Grupo de Investigación del Dpto. de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - UNNE.  
Av. Las Heras 727 - (3500) Resistencia - Chaco - Argentina.  
Tel./Fax: +54 (03722) 420076 - E-mail: aruberto@ing.unne.edu.ar

### ANTECEDENTES

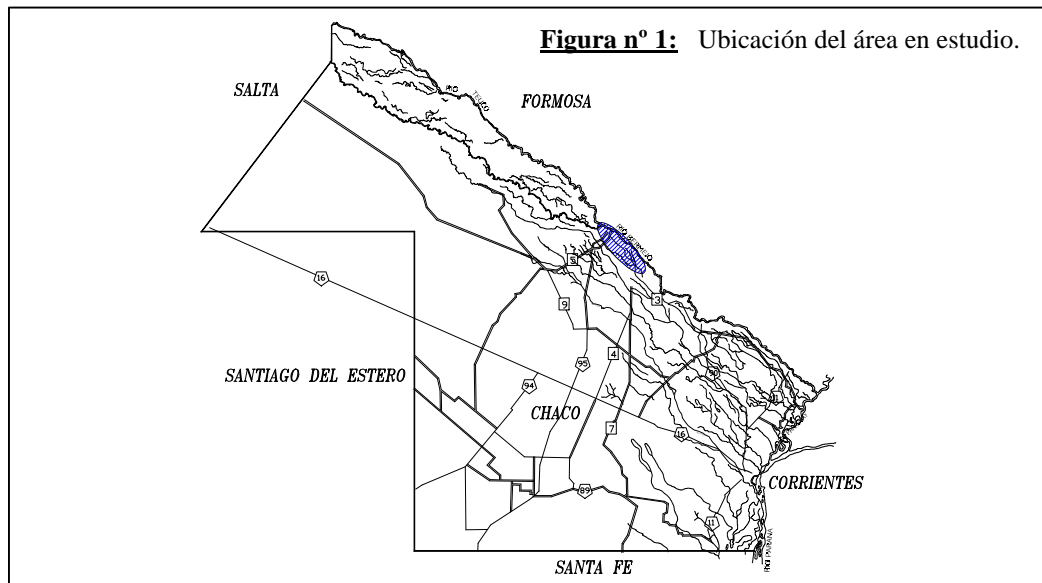
Por sus características hidrosedimentológicas el río Bermejo es uno de los sistemas fluviales más importantes del norte argentino. A diferencia de la mayoría de los ríos vecinos (Orfeo, 1999), alimentados principalmente por lluvias locales, el río Bermejo se comporta como alóctono para la región NEA. Desde el sector noreste de la Cordillera Oriental en la Sierra de Santa Victoria (provincia de Salta), recorre más de 1500 km hasta desembocar en el río Paraguay con un caudal medio anual de aproximadamente 340 m<sup>3</sup>/s (Secretaría de Energía 1994) y una descarga sólida que supera los 100 millones de tn/año (Soldano, 1947).

A partir de la confluencia con el río Bermejito comienza el tramo bajo, dentro de la llanura Chaco-Pampeana, caracterizado por su alta movilidad lateral. La misma se relaciona con la escasa pendiente, el elevado caudal sólido y las características texturales de los sedimentos que transporta (Orfeo, 1995). Los desbordes generados por el río Bermejo se producen en una amplia franja del valle de inundación que abarca entre 8 y 10 km hacia ambos márgenes. Las aguas que superan el albardón natural en territorio chaqueño alimentan las nacientes de los arroyos Indio Muerto, Carro Marcado y Guaycurú Chico, entre otros.

Para mitigar efectos indeseados que originan los desbordes del río Bermejo, la provincia del Chaco construyó terraplenes de defensa a fin de proteger la actividad económica de un amplio sector rural.

Las obras tienen una orientación general NW-SE comenzando unos 2.500 m aguas abajo de puente Lavalle y extendiéndose cerca de 40 km en forma aproximadamente paralela al río Bermejo, del cual quedan separadas por una distancia que oscila entre 200 m y 2.000 m (Fig.1). Para aliviar la presión hídrica sobre el terraplén se construyeron tres alcantarillas que liberan las aguas de desborde hacia paleocauces o reservorios naturales.

Debido a la importancia socio-económica del mencionado proyecto, en esta contribución se analiza la dinámica hidrológica y geomorfológica de un sector del río Bermejo próximo a las obras, con el fin de evaluar la tendencia evolutiva del sistema fluvial y alertar sobre posibles riesgos para la estabilidad de las defensas.



## MATERIALES Y METODOS

El sector analizado del terraplén (progresivas 24,000 a 39,647) se ubica sobre la llanura de inundación del río Bermejo en la provincia del Chaco. Atraviesa un área caracterizada por la presencia de cuerpos de agua permanentes con gran capacidad de almacenamiento (Fig. 2), además de extensos humedales y zonas deprimidas afectadas por los desbordes regulares del curso.

El estudio se llevó a cabo mediante cartas topográficas (IGM escala 1:250.000), fotografías aéreas (provincia del Chaco, 1962) e imágenes satelitales (Landsat) de diferentes fechas (1997 y 1998). Con dicho material se elaboró el mapa base del área de estudio (Fig.2), donde se segregaron sectores conforme al grado de anegabilidad de los terrenos. Para describir la geomorfología del área en relación con la dinámica fluvial, se identificaron las siguientes unidades funcionales:

**Área elevada (E):** En términos relativos, es aquella con menor probabilidad de sufrir el efecto de los desbordes fluviales.

**Área anegada o anegable (A):** Sufre temporariamente el efecto de los desbordes fluviales. En esta categoría se distinguió

- **Anegabilidad de baja frecuencia (A-):** Área de acumulación hídrica ocasional.

- **Anegabilidad de alta frecuencia (A+):** Área de acumulación hídrica frecuente.

**Depósito aluvial (D):** Acumulación sedimentaria por acreción vertical y/o lateral.

**Paleocanal (P):** Antiguo cauce fluvial actualmente desvinculado del sistema.

La jerarquización del riesgo potencial para la estabilidad de las obras se realizó adoptando la siguiente clasificación: alto, moderado y bajo.

## DISCUSION DE RESULTADOS

En el tramo de análisis, el río Bermejo se presenta monocalalizado y con valores de sinuosidad superiores a 1,5. Desde un punto de vista geomorfológico, tales características corresponden a un modelo de escurrimiento típicamente meandroso.

Los meandros son las partes curvas del canal que presentan dos bordes opuestos: uno convexo (o cara interna) donde predominan los procesos de sedimentación, y otro cóncavo (también llamado cara externa) donde predominan los procesos erosivos. En tales curvas la fuerza centrífuga genera exceso de presión en la margen cóncava, tendiendo a desplazar hacia allí la línea de máxima velocidad de la corriente. Cerca del fondo, la fuerza de fricción retarda la fuerza centrífuga y demanda un flujo compensatorio superficial en dirección opuesta. Esto genera una combinación de fuerzas que produce una trayectoria helicoidal de partículas (Allen, 1982; Collinson and Thompson, 1982).

Como consecuencia de lo anterior los canales meandrosos tienden a migrar transversalmente a la dirección del flujo principal, depositando al mismo tiempo una cierta cantidad de sedimentos. De tal modo es frecuente encontrar cordones de material aluvial abandonados cerca de las márgenes activas durante los desbordes fluviales debido a la rápida pérdida de competencia del agente de transporte. Tales geoformas son denominadas albardones y generalmente están constituidas por las fracciones más gruesas de la carga de lavado del río.

El comportamiento de los cursos meandrosos durante las inundaciones es muy poco conocido. Estudios experimentales indican que en época de aguas altas dichos canales tienen un fuerte intercambio de materiales y energía con la llanura aluvial. Esto implica el desarrollo de corrientes secundarias con vectores de velocidad vertical hacia arriba en la cara externa de la curva y hacia abajo en la línea media (Toebe and Sooky, 1967).

Los mismos ensayos proporcionan evidencias del desarrollo de flujos helicoidales en sentido horario sobre la cara cóncava del meandro y en sentido antihorario hacia la margen opuesta.

Estos permanentes cambios en la dirección del escurrimiento que tienen los ríos meandrosos, los convierten en sistemas fluviales de alta movilidad con tendencia a desarrollar desplazamientos laterales debido al abandono sucesivo de meandros (*neck cut-off*). El mencionado proceso se manifiesta en la exageración progresiva de los meandros y posterior rectificación del cauce, ocasionando la desvinculación de tramos curvos del canal con típica forma semilunar (*oxbow lakes o madrejones*) dentro de la llanura de inundación del sistema. El tamaño medio y el coeficiente de selección de los sedimentos de fondo cambia poco en relación al estado hidrológico

(Marriott, 1992; Orfeo, 1986; 1999), aunque la distribución areal de las secuencias deposicionales por acreción vertical varía con la dirección del escurrimiento (Marriott, 1998; Wright and Marriott, 1993).

La interpretación de la citada dinámica fluviomorfológica en la llanura de inundación del río Bermejo, llevada a cabo sobre la imagen satelital del año 1997 permitió reconocer las siguientes zonas de riesgo para la estabilidad de las obras de protección contra las inundaciones (Fig.2):

**Zona de riesgo 1:** Contempla la acumulación hídrica en una zona deprimida, potencialmente alimentada por desbordes fluviales de un meandro con muy bajo radio de curvatura. **Calificación: riesgo bajo.**

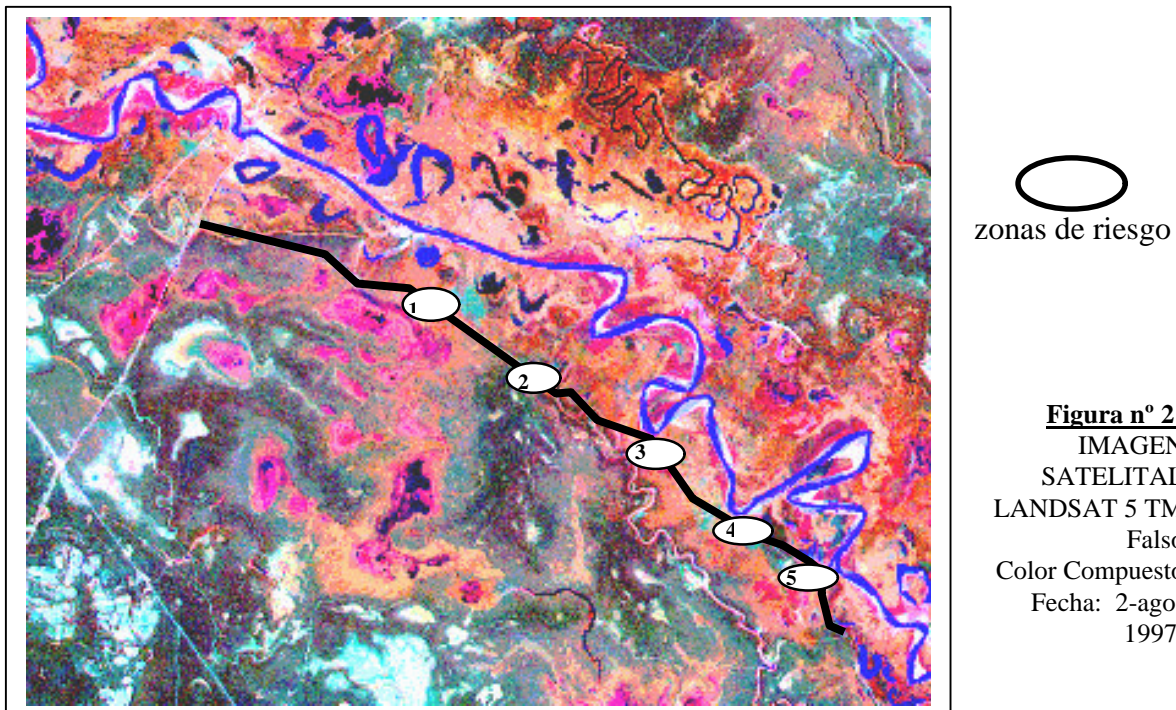
**Zona de riesgo 2:** El sector indicado se encuentra en una zona deprimida ubicada en dirección al eje de un meandro simétrico bien desarrollado. Además, debido al radio de curvatura de dos meandros consecutivos, potencialmente esta zona puede recibir los desbordes simultáneos de ambos. Sin embargo, la distancia entre dichos meandros y la traza de la defensa, permite asumir una considerable disipación de la energía de la corriente y la consiguiente mitigación del efecto erosivo. **Calificación: riesgo moderado.**

**Zona de riesgo 3:** La proximidad de la cara externa de un meandro en relación a las obras defensa, permite inferir la aproximación del cauce debido a la continuidad del efecto erosivo. Sin embargo, debido a la inminente avulsión en el cuello de dicho meandro, dicha situación podría mitigarse por rectificación del cauce y el abandono de la curva. No obstante, cuando ello ocurra aumentará el riesgo de la Zona 4. **Calificación: riesgo alto.**

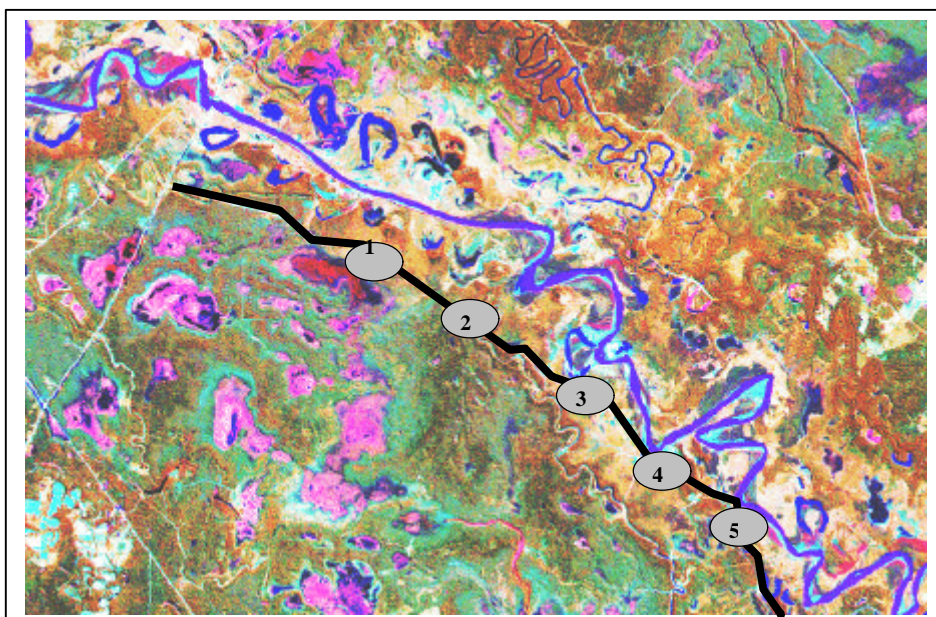
**Zona de riesgo 4:** Es una de las zonas más próximas al río, a pocos metros de la cara externa de un meandro. Dicha proximidad permite asumir el efecto erosivo de las corrientes de desborde, que no se disiparán en la llanura aluvial. Ello se verá agravado cuando se rectifique el cauce en el área de influencia de la Zona 3. **Calificación: riesgo alto.**

**Zona de riesgo 5:** Semejante al caso anterior, el riesgo lo determina la proximidad entre las obras de defensa y el borde externo de un meandro activo. **Calificación: riesgo alto.**

Comparando dicha interpretación con la imagen satelital del año 1998 (Fig.3) se aprecia el estragulamamiento del meandro próximo a la Zona de Riesgo 3. Ello confirma la hipótesis señalada anteriormente y permite presumir con bases objetivas el agravamiento inminente de la situación prevista para la Zona de Riesgo 4.







○  
zonas de riesgo

**Figura n° 3:**  
IMAGEN  
SATELITAL  
LANDSAT 5 TM  
Falso Color  
Compuesto  
Fecha: set-1998.

## CONCLUSIONES

El mecanismo evolutivo que se plantea para la faja aluvial analizada del río Bermejo, implica un riesgo potencial para la estabilidad de los terraplenes de defensa contra las inundaciones y la consiguiente disminución de las expectativas de regulación hídrica. Aún dentro de un esquema conservador, las tendencias del sistema fluvial pueden ser analizadas mediante un monitoreo dinámico empleando imágenes satelitales secuenciales, lo cual constituye un procedimiento económico, objetivo y de aceptable sensibilidad. Ello permitiría anticipar algunos impactos negativos para las actividades humanas y actuar en consecuencia.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen, J, 1982. Sedimentary Structures. Their character and physical basis. Elsevier Sci. Pub. Co., V.I, 593 p.
- Collinson, J and D. Thompson, 1982. Basic properties of fluids, flow and sediment. In: Sedimentary Structures (Allen and Unwin, Eds.), Boston, Chap 3: 21-104 p.
- Cartas 1:250.000 del Instituto Geográfico Militar; publicaciones de diversos años.
- IMÁGENES SATELITAL LANDSAT 5TM, 1997 y 1998. Falso color compuesto, Pcia. del Chaco.
- Marriott, S., 1992. Textural analysis and modelling of a flood deposit: River Severn, U.K. Earth Surface Processes and Landforms, 17: 687-697.
- Marriott, S., 1998. Channel-floodplain interactions and sediment deposition on floodplains. United - Kingdom Floodplains, Westbury Publishing, Chapter 5: 43-61.
- Orfeo, O., 1995. Sedimentología del río Paraná en el área de confluencia con el río Paraguay. Tesis Doctoral (inérita), Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 269 p.
- Orfeo, O., 1999. Sedimentological characteristics of small rivers with loessic headwaters in the Chaco, South America. Quaternary International, 62: 69-74.
- Secretaría de Energía, 1994. Estadística Hidrológica. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación, Argentina, Tomo I: 367 p.
- Soldano, 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina, I: el río Paraná y sus tributarios. Ed. Címera, Buenos Aires, 277 p.
- Toebes, G. and A. Sooky, 1967. Hydraulics of meandering streams with floodplains. Journal of Waterways and Harbours Division, A.S.C.E. 93: 213-236.
- Wright, V. And S. Marriott, 1993. The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage. Sedimentary Geology, 86: 8 p.