



III CADI
IX CAEDI
2016



Adecuación de un terraplén de defensa para el aprovechamiento de excesos hídricos del río Bermejo – Chaco

Jorge V. Pilar, Dto. Hidráulica – Fac. Ing. – UNNE – jvpilar@gmail.com

Alejandro R. Ruberto, Dto. Hidráulica – Fac. Ing. – UNNE – aleruberto44@yahoo.com.ar

Marcelo J. Gómez, Dto. Hidráulica – Fac. Ing. – UNNE – mgichaco@yahoo.com.ar

Resumen— Se presentan los estudios hidrológicos e hidráulicos para la adecuación hidráulica de un terraplén de defensa contra inundaciones del río Bermejo, en el centro-norte de la provincia del Chaco, para permitir la recarga de humedales. Esos humedales constituyen un sistema hídrico complejo, integrado por paleocauces y bañados, que fuera atravesado por el terraplén de defensa y cuyo funcionamiento hídrico depende de los desbordes del río Bermejo, los que fueron interrumpidos por la construcción de la obra.

El terraplén tiene una longitud de 39,65km, es paralelo al cauce del río Bermejo y sirve de protección de una zona productiva y poblaciones urbanas.

Se realizaron estudios hidroestadísticos con la serie de registros hidrométricos en la sección de Puente Lavalle. Se propuso la construcción de tres descargadores de fondo, que permitan aprovechar los desbordes periódicos del río, con compuertas regulables y disipadores de energía, ubicados en las zonas más bajas, con el objetivo de permitir las recargas pretendidas.

Adicionalmente, se verificó el comportamiento hidráulico del terraplén de defensa funcionando como vertedero de cresta ancha, para el caso de crecientes extraordinarias.

Palabras clave— defensas contra inundaciones, recarga de humedales, río Bermejo.

1. Introducción

En el año 1991 ocurrió una importante crecida del río Bermejo, que provocó el anegamiento de campos productivos y también de la ciudad de Pampa del Indio (Chaco). Ese evento fue determinante para la construcción de un terraplén de defensa, que tiene 39,65km de longitud, con inicio en la Ruta Provincial N°5 (RP5), unos 2,5km aguas abajo del puente Lavalle (Ruta Nacional N°95), en la región centro-norte de la provincia del Chaco.

Ese terraplén atraviesa un sistema hídrico complejo, integrado por paleocauces, bañados y humedales, cuyo funcionamiento depende de las recargas producidas por los desbordes periódicos del río Bermejo. El terraplén de defensa que se construyó interrumpió esas recargas.

Por ello, se decidió realizar una adecuación hídrica integral, con el objetivo de captar y aprovechar los desbordes del Bermejo en crecidas de media y gran magnitud. Esa adecuación se orientó al diseño (y posterior ejecución) de decargadores regulados por compuertas. Adicionalmente, se evaluó el terraplén de defensa funcionando como vertedero de pared muy gruesa durante crecidas extraordinarias del río Bermejo.

Los descargadores se proyectaron sobre los sectores más bajos del terreno natural, para garantizar la recarga pretendida. Los descargadores fueron tres, que consistieron en una batería de dos conductos de chapa soldada, de 1,50m de diámetro, con compuertas de regulación a la entrada y dissipador de energía a la salida, además de un canal de aducción. El diámetro límite de 1,50m estuvo condicionado por cuestiones topográficas y de tapada mínima del terraplén de defensa, que debía ser transitable.

2. Descripción de la zona estudiada

La zona estudiada es parte del valle de inundación del río Bermejo, con una hidrología compleja, caracterizada por desbordes periódicos, que generan inundaciones que afectan una zona productiva del centro-norte chaqueño y a ciudades de esa región (Figura 1).

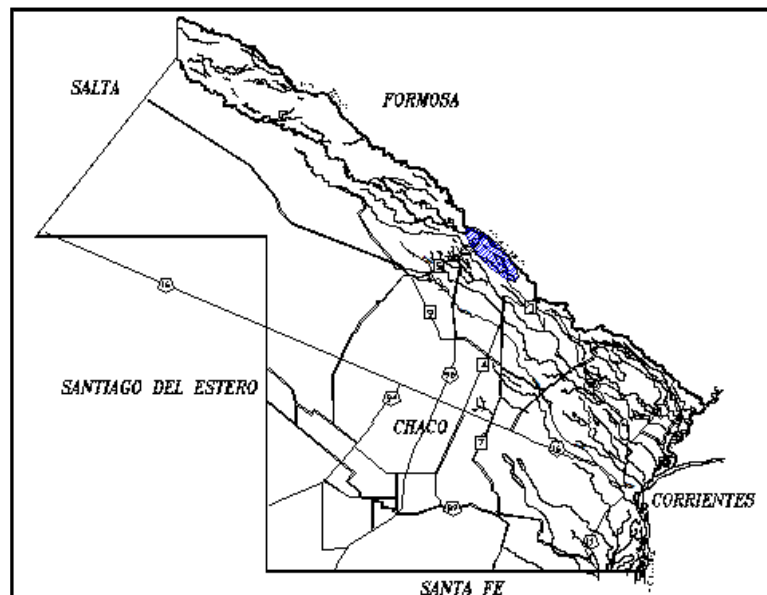


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Por sus características hidrosedimentológicas, el río Bermejo es uno de los sistemas fluviales más singulares e importantes del norte argentino. A diferencia de la mayoría de los ríos vecinos, alimentados principalmente por lluvias locales, el Bermejo se comporta como alóctono para la región NEA (Orfeo, [1]). Desde el sector noreste de la Cordillera Oriental, en la Sierra de Santa Victoria (Salta), recorre más de 1.500km hasta desembocar en el río Paraguay, siendo el caudal medio anual de descarga 340m³/s (Secretaría de Energía, [2]).

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, lo que se relaciona con la escasa pendiente, además del elevado caudal sólido y las características texturales de los sedimentos que transporta (Orfeo [3]). Los desbordes generados por el río Bermejo se producen en una amplia franja del valle de inundación, que abarca entre 8 y 10km hacia ambas márgenes, generando inconvenientes en zonas productivas, llegando a afectar localidades, como es el caso de la ciudad de Pampa del Indio, que se inundó durante la creciente de 1991. Sin embargo, las aguas que superan el albardón del río también alimentan las nacientes de los arroyos Indio Muerto, Carro Marcado y Guaycurú Chico, entre otros, en la provincia del Chaco.

Para mitigar efectos indeseados de los desbordes, la provincia del Chaco construyó un terraplén de defensa para proteger la actividad económica rural y defender la ciudad de Pampa del Indio.

Esas defensas contra los desbordes del río Bermejo se ubican en el sector centro-norte de la provincia. Las mismas tienen una extensión de 39.647m hasta su intersección con la ruta provincial N°5 (RP5), a aproximadamente 2.500m del puente Lavalle, sobre ese río, en la Ruta Nacional N°95 (RN95).

La misma sigue una orientación noroeste-sureste, en forma aproximadamente paralela al río, acercándose en algunos sectores a 200m del mismo y alejándose en otros hasta 2.000m. En este trabajo se estudió el tramo II de las defensas, entre las progresivas 24.000 y 39.647 (Figura 2).

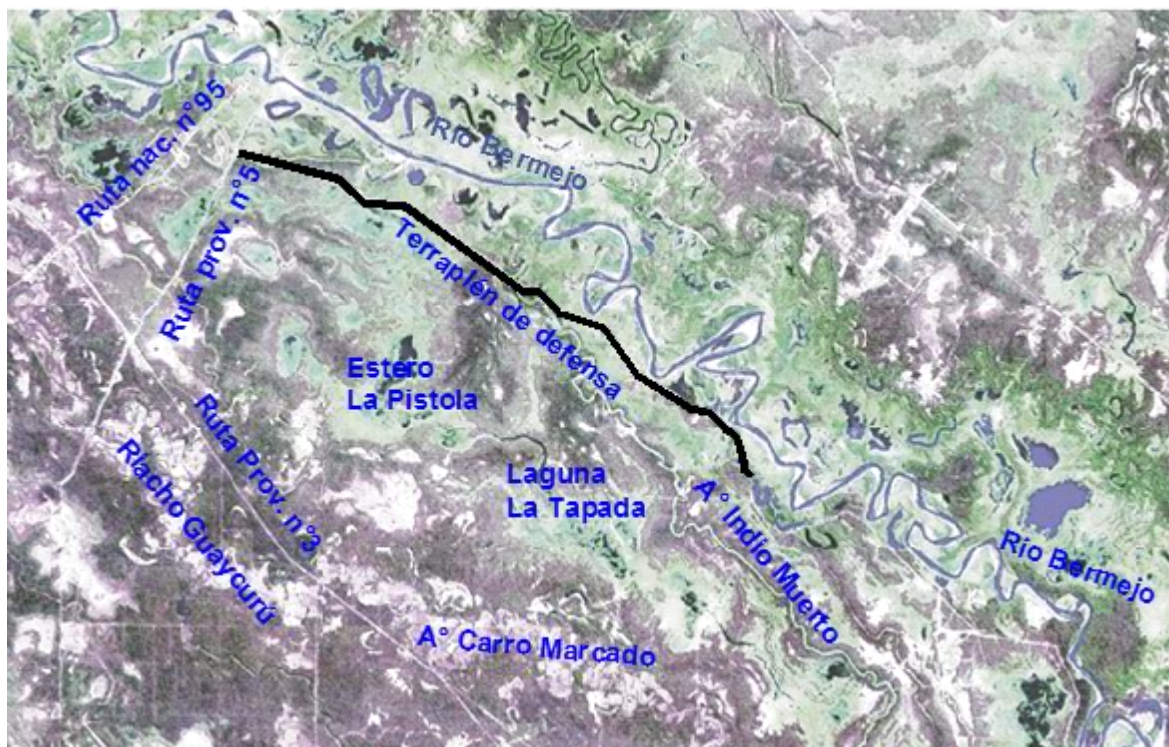


Figura 2. Ubicación del tramo II de defensa en imagen LANDSAT 5 TM Falso Color Compuesto. (Fecha: 02/08/97). Fuente: elaboración propia.

La zona de ubicación de las defensas corresponde a un sector de desbordes temporarios del río Bermejo, que aportan a una vasta zona deprimida, en la que se localizan cuerpos de agua como lagunas permanentes, esteros, bañados y humedales, y que tienen gran capacidad de almacenamiento.

Además, en la zona existen paleocauces, con amplias secciones de escurrimiento y bajas pendientes, y que se reactivan con los desbordes del río Bermejo, cuya recarga fue comprometida con la construcción del terraplén de defensa. En situaciones de crecientes importantes, y luego de colmatados los bajos que se localizan entre el río Bermejo y la traza del terraplén de defensa, el sistema hídrico conduce los excedentes hacia las nacientes del arroyo Indio Muerto, al arroyo Carro Marcado y al riacho Guaycurú Chico, entre otros (Figura 2).

En el tramo en estudio se propuso la construcción de tres descargadores, cada uno con dos conductos de chapa soldada de 1,50m de diámetro, en las progresivas 27.800; 29.800 y 31.500, en sectores que corresponden a depresiones naturales, con aptitud para captar los desbordes provenientes del río.

A partir de las nivelaciones realizadas, se determinó una cota media de desborde en el tramo en estudio, cercana a los 103m IGN. En ese contexto, quedó claro que era posible lograr un flujo de recarga con el agua de los desbordes, utilizando como captadores los descargadores que se diseñaron.

En la Figura 3 se presenta un perfil topográfico del terreno natural, las cotas de la defensa construida, los niveles de proyecto y la cota máxima del pelo de agua correspondiente a la máxima creciente registrada en puente Lavalle (año 1991), todas ellas referidas a IGN. Además, se indican las ubicaciones de los tres descargadores.

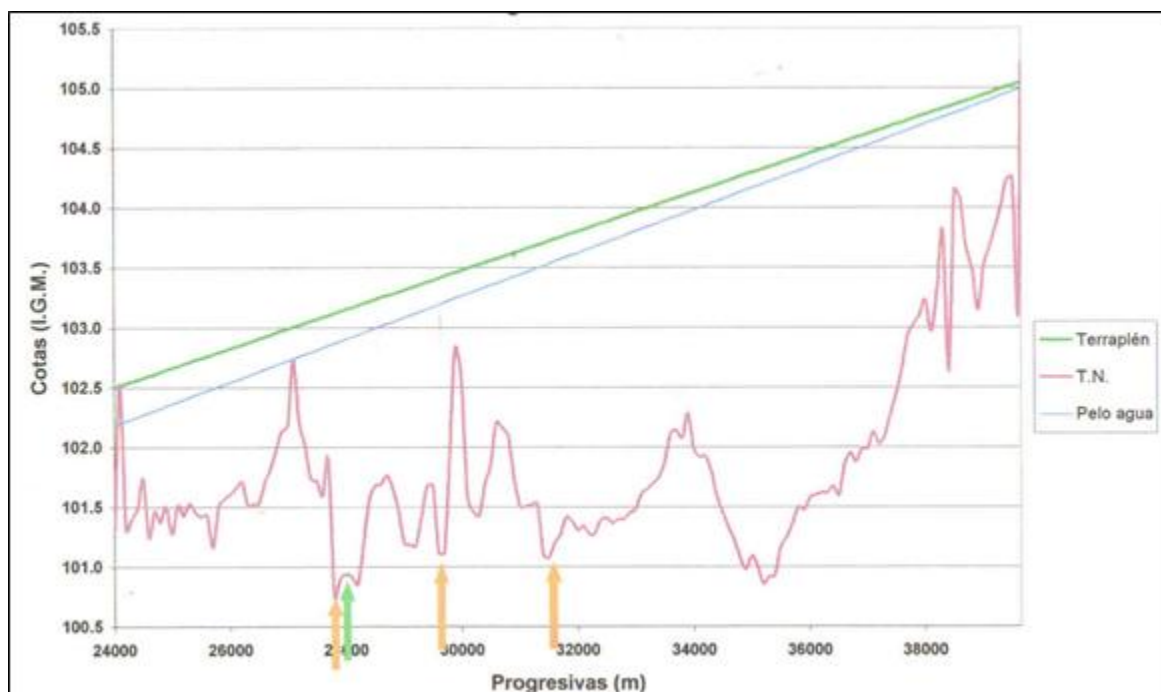


Figura 3. Altimetría de la cota de terraplén propuesto, terreno natural y cota máxima de pelo de agua.

En el área en estudio, el río Bermejo se presenta monocanalizado y con valores de sinuosidad superiores a 1,5. Desde un punto de vista geomorfológico, tales características corresponden a un modelo de escurrimiento meandroso (Orfeo y Ruberto [4]).

Las permanentes divagaciones de los canales de escurrimiento que presenta el río Bermejo en el tramo estudiado provoca el estrangulamiento de meandros, los que se transforman en lagunas de forma semilunar. Ello genera con el tiempo rectificaciones del cauce (Orfeo y Ruberto [4]).

Para describir cómo actúa la geomorfología del área estudiada en la dinámica fluvial, se consideraron unidades que se clasificaron como:

- Áreas elevadas (E): En términos relativos, son aquellas con menor probabilidad de sufrir el efecto de los desbordes fluviales;

- Áreas anegadas o anegables (A): Sufren temporariamente el efecto de los desbordes fluviales;
- Áreas de de baja frecuencia de anegabilidad (A-): De acumulación hídrica ocasional;
- Áreas de de alta frecuencia de anegabilidad (A+): De acumulación hídrica frecuente;
- Áreas inundadas o inundables (I): De acumulación hídrica permanente o semipermanente;
- Depósito aluvial (D): Acumulación sedimentaria por acreción vertical y/o lateral; y
- Paleocanal (P): Antiguo cauce fluvial actualmente desvinculado del sistema.

3. Procesamiento de datos hidrométricos

Se contó con un registro de 21 años de alturas hidrométricas (1978/79 a 1998/99) en puente Lavalle. Sobre la base de esa información se pudo determinar la permanencia del agua en situación de desborde. En la Tabla 1 se presentan las alturas máximas medidas en puente Lavalle.

Los datos hidrométricos se procesaron utilizando la distribución de Gumbel, que mostró un ajuste adecuado. Según ese análisis, la máxima altura registrada presentó una recurrencia del orden de los 50 años.

Tabla 1. Alturas máximas en puente Lavalle.

Nº	Año hidrológico	Lecturas Máximas	Máximas cotas (IGN)
1	1978/79	5,85	104,417
2	1979/80	6,04	104,607
3	1980/81	6,32	104,887
4	1981/82	6,12	104,687
5	1982/83	5,45	104,017
6	1983/84	6,39	104,957
7	1984/85	6,35	104,917
8	1985/86	5,99	104,557
9	1986/87	6,42	104,987
10	1987/88	6,34	104,907
11	1988/89	5,95	104,517
12	1989/90	5,64	104,207
13	1990/91	6,33	104,897
14	1991/92	6,44	105,007
15	1992/93	6,37	104,937
16	1993/94	6,40	104,967
17	1994/95	6,42	104,987
18	1995/96	6,12	104,687
19	1996/97	6,47	105,067
20	1997/98	5,76	104,347
21	1998/99	6,32	104,867

En esa sección del río no se contaba con registros de aforos sistemáticos. Para poder asociar caudales a los niveles hidrométricos se utilizaron caudales medidos por Vialidad Provincial en

oportunidad de la creciente del año 1991, entre Presidencia Roca y Pampa del Indio, los que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Aforos del año 1991 en el tramo Presidencia Roca - Pampa del Indio.

SECCIÓN	CAUDAL (m ³ /s)
Puente principal sobre el Guaycurú Chico	122,22
Puente aliviador	172,78
Primer corte sobre Ruta Provincial N° 3	649,35
Segundo corte sobre Ruta Provincial N° 3	239,6
Total:	1.183,95

Si bien las secciones de aforo no se ubican estrictamente en el tramo estudiado, ayudaron a obtener un orden de magnitud de los volúmenes de escurrimiento directo provenientes del área de aporte ubicada en la zona de las defensas.

También, se utilizaron valores de caudales de la adecuación hidráulica del tramo de la RP5 entre puente Lavalle y la rotonda ubicada en el cruce de la RN95 y la RP3, trabajo realizado por la consultora Oscar Grimaux y Asociados SAT. Esos datos fueron de gran importancia y trascendencia, debido a que los desbordes del río Bermejo se producen, también, aguas arriba de las RN95 y RP5, hasta Villa Río Bermejito, y alimentan a los sectores inmediatamente aguas abajo del tramo II estudiado.

El terraplén de la RP5 ha actuado en la inundación del año 1985 como dique de los desbordes provenientes del Bermejo. En esa oportunidad, el remanso provocado afectó a la localidad de Villa Río Bermejito, lo que motivó la necesidad de la adecuación hidráulica antes mencionada. En ese trabajo, se estimó que durante la inundación de 1985 habrían escurrido, entre puente Lavalle y la intersección de las RP3 y RP5, alrededor de 400m³/s en una extensión de casi 9.000m de terraplén de la RP5. El alcantarillado existente tiene capacidad de evacuar sólo 180m³/s.

En la adecuación hidráulica de la RP5 se propuso elevar el terraplén vial hasta la cota 106 IGN y ampliar la capacidad de descarga del alcantarillado hasta 400m³/s.

En la Figura 4 se presenta esquemáticamente el sistema de defensas junto a la hidrografía, alcantarillado y aforos máximos tanto de RP5 como de RP3.

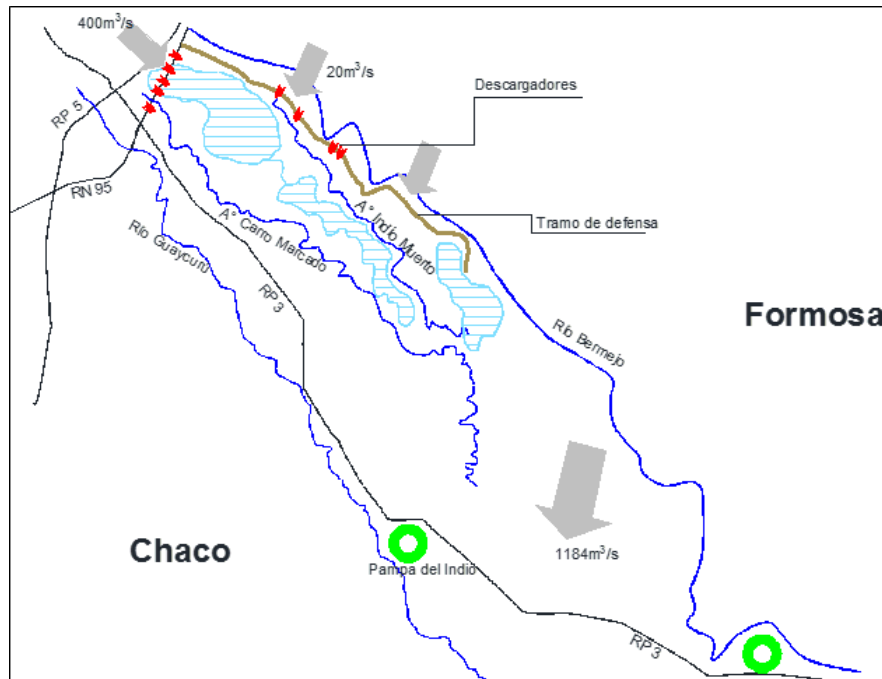


Figura 4. Esquema del sistema hídrico y de las obras existentes y propuestas.

4. Funcionamiento hidráulico de las obras propuestas

Se estudió el funcionamiento de los descargadores propuestos (ver fig. 3) para el paso de agua a través del terraplén, con el objeto de determinar volúmenes escurridos y las ventajas y desventajas de los mismos.

El funcionamiento hidráulico de los descargadores proyectados se realizó sobre la base de modelos y cálculos matemáticos.

Curvas de descarga

Para determinar con (cierta) precisión el funcionamiento hidráulico de los descargadores, para diferentes aperturas de las compuertas y diferentes combinaciones de tirantes aguas arriba y aguas abajo, habría sido necesario recurrir a ensayos sobre modelos físicos.

Teniendo en cuenta esas consideraciones y para tener idea aproximada de las curvas de descarga de las obras proyectadas, se realizaron cálculos hidráulicos basados en coeficientes obtenidos por diversos autores, considerando que los descargadores, en determinadas circunstancias, funcionarán como canales y en otras como compuertas planas u orificios, según los niveles del agua y la posición de las compuertas. El funcionamiento para situaciones intermedias fue ajustado por interpolaciones.

Las características hidrogeométricas de cada conducto de los descargadores y según la posición de la compuerta son mostradas en la Figura 5 y las curvas de descarga que se estimaron se presentan en la Figura 6.

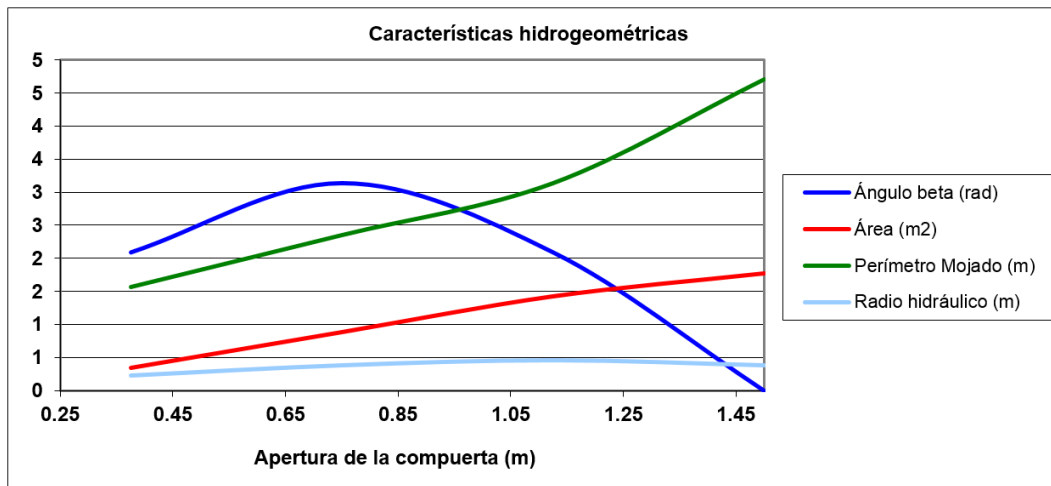


Figura 5. Características hidrogeométricas según la posición de la compuerta.

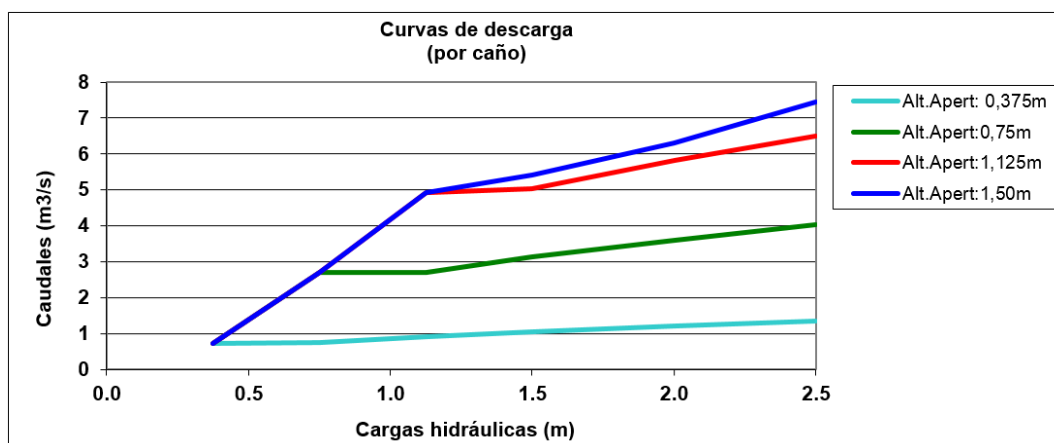


Figura 6. Curvas de descarga (por conducto).

Estimativa del caudal que podría verse sobre el terraplén de defensa

Adicionalmente, se realizó una estimativa del caudal que podría escurrir por arriba del terraplén, por unidad de longitud del mismo, durante una crecida importante. Para ello, se utilizó como hipótesis que, en esas circunstancias, el terraplén funcionará como un vertedero de pared gruesa.

La ecuación utilizada fue:

$$q = CD \times 1,704 \times H^{3/2} \quad (1)$$

en la que:

q: caudal por unidad de longitud de terraplén (en m³/s por metro de terraplén)

CD: coeficiente de descarga (como para vertederos muy largos el mismo varía entre 0,85 y 0,87, se adoptó un valor intermedio)

H: carga hidráulica sobre el terraplén (en m)

La curva que se obtuvo es mostrada en la Figura 7.

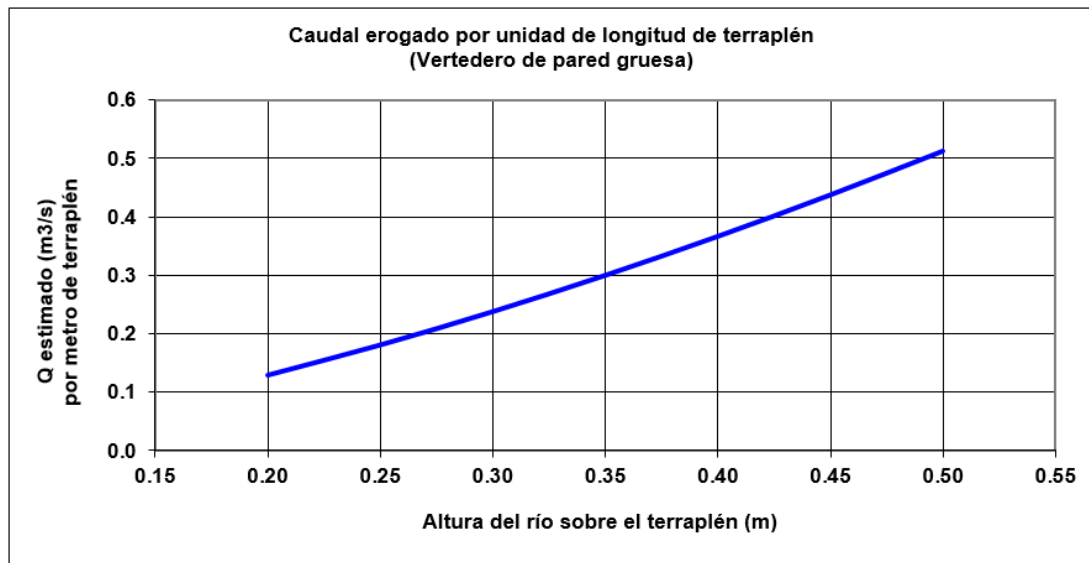


Figura 7. Curva de descarga sobre el terraplén por unidad de longitud del mismo.

Cabe destacar que, según la experiencia local, en este tipo de terraplenes (de material cohesivo y sección homogénea) no es aconsejable permitir que el agua escurra sobre su coronamiento, especialmente porque los ángulos que forman la cresta y los taludes provocan la separación de la lámina y la aparición de zonas de turbulencia y, consecuentemente, de subpresiones importantes. Estos fenómenos son relatados por Porto [5]. Sin embargo, situaciones como esas sólo se darían en situaciones de emergencia, que, no obstante, podrían llegar a ocurrir durante la vida útil de la obra.

El diseño de los descargadores fue complementado con el proyecto de los correspondientes disipadores de energía. En este trabajo no se presenta el cálculo hidráulico de los mismos.

5. Conclusiones y recomendaciones

- Según las evaluaciones hidráulicas realizadas, los descargadores proyectados cumplirían su objetivo de recarga, lo cual fue confirmado por el funcionamiento de la obra ejecutada, lo que es validado por las curvas presentadas en la Figura 6.
- En lo referido al aprovechamiento de los desbordes, estaría faltando una adecuación como la presentada en este trabajo, con la inclusión de descargadores con compuertas para el alcantarillado de la RP5, buscando aprovechar los desbordes del río Bermejo aguas arriba de puente Lavalle y, al mismo tiempo, regular el escurrimiento en situaciones de crecientes extraordinarias.
- Actualmente, el área de influencia de las obras que se proyectaron y construyeron, muestra un desarrollo importante de la actividad agrícola y ganadera, lo que posiblemente fue potenciado por la mitigación del riesgo de inundaciones y las recargas garantizadas por los descargadores.
- Deberían ser consideradas como alternativas viables la utilización de “terraplenes fusibles” y vertederos construidos sobre la cresta del terraplén de defensas. El uso de esos

vertederos permitiría que el agua de recarga tenga menos sedimentos que con el uso de descargadores de fondo.

- Con un desnivel de 20cm entre los extremos de los conductos ($I_0 = 0,0005\%$) se garantizará que la máxima velocidad se produzca a la entrada de los mismos (control de entrada) y no a la salida, donde su efecto sería más perjudicial.
- La operación de compuertas no debe ser realizada como una maniobra de emergencia para aliviar una situación de crecida importante en la que el agua del río pase por sobre la cresta del terraplén. Según la evaluación realizada en este estudio, se puede demostrar que 84m de terraplén, con una carga de 20cm, verterían un caudal igual al erogado por cada una de los descargadores trabajando con carga de 1,87m, medido desde el umbral de entrada de los conductos.
- A partir de 1,87m, el comportamiento de los mismos comenzará a ser oscilante, con pulsos de sobrepresiones y succiones, pudiéndose comprometer la integridad estructural de la obra.
- Es importante destacar que la construcción de las defensas como dique lateral modifica las condiciones de escurrimiento del río Bermejo y, consecuentemente, la probabilidad de ocurrencia de distintos niveles, estimadas sin la existencia de terraplén.
- Por la divagación propia de este río, que modifica el paisaje del valle de escurrimiento, se verifica que crecidas de cotas similares tuvieron consecuencias diferentes, fundamentalmente en lo que se refiere a la superficie afectada, a la intensidad y permanencia de la afectación, dependiendo también del estado de almacenamiento de los cuerpos lagunares y humedales.

6. Referencias

- [1] Orfeo, O. 1999. Sedimentological characteristics of small rivers with loessic headwaters in the Chaco, South America. *Quaternary International*. 62: 69-74.
- [2] Secretaría de Energía, 1994. *Estadística Hidrológica. Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos de la Nación*. Argentina. Tomo I: 367 p.
- [3] 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.
- [4] Orfeo, O.; Ruberto, A. 2000. Zonas de riesgo para obras contra inundaciones (río Bermejo, Chaco). In: VII Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas – UNNE. *Anales*.
- [5] Porto, R. De Melo. 1998. *Hidráulica básica*. São Carlos: EESC / USP. 540p.