

## ATENUACIÓN DE LAS CRECIDAS POR LOS HUMEDALES DEL BAJO PARAGUAY

J.J. Neiff<sup>1</sup>, C.A.E. Patiño<sup>1</sup> y S.L. Casco<sup>1</sup>

### RESUMEN

Esta contribución resalta la importancia de los humedales del Bajo Paraguay en la atenuación del escurrimiento durante las riadas considerando que la vegetación produce una fuerte interferencia durante las inundaciones, según su intensidad, y la permanencia del agua sobre el valle de inundación. Se consideró el tramo del río entre Asunción y la confluencia Paraguay-Paraná, utilizando la serie hidrológica 1980-1988 para datos de caudal y de volumen. La diferencia entre ambos fue de: -25-30% cuando las inundaciones ocurrieron luego de un período de aguas bajas muy largo y de sólo: -5% entre ambas localidades, cuando las inundaciones se repiten con intervalos muy cortos. Este cambio en la amortiguación de la onda de creciente, se produce por la muerte de la vegetación herbácea de la planicie de inundación.

### PALABRAS CLAVE

Humedales, Bajo Paraguay, ríos, crecientes, vegetación fluvial.

### SUMMARY

This contribution deals with the importance of the flood plain wetlands of the Low Paraguay riverine system in the attenuation of the runoff, considering

<sup>1</sup> Centro de Ecología Aplicada del Litoral. Ruta 5 km 2,5 (3400) Corrientes. E-mail: cecoal@arnet.com.ar

that the vegetation produces an a fast interference during the floods according to their intensity and permanency on the flood plain valley. The river tract between Asunción and the Paraguay/ Paraná Rivers confluence were considered using the hydrological series 1980-1988, on the runoff and volume values. The differences between both places was of -25-30% when the floods occurred after a very long period of low waters and of only -5% among both sections, when the floods repeated with very short intervals. This loss in the wave attenuation effect is a consequence of the death of the herbaceous vegetation during the extraordinary floods.

## KEYWORDS

Wetlands, Low Paraguay, rivers, floods, fluvial vegetation

## INTRODUCCIÓN

Los humedales se encuentran desde las latitudes frías hasta el ecuador y desde las montañas hasta el nivel del mar, ocupando aproximadamente 5,7 millones de km<sup>2</sup> de la superficie de los continentes, de los cuales 2% son lagos, 30% turberas, 26% marjales, 20% pantanos y 15% llanuras de inundación (Fernández Reyes, 2003). Sesenta por ciento de esta superficie ocupa el cinturón intertropical (Lugo *et al.*, 1990). La mayor parte de los humedales continentales se encuentra en las cuencas hidrográficas de los grandes ríos, especialmente en Sudamérica (Neiff, 1996), donde el conocimiento de sus funciones ecológicas, generalmente, no ha pasado de la fase enunciativa.

Entre los servicios ecológicos de los humedales se ha mencionado repetidamente que amortiguan las inundaciones al reducir la velocidad de las aguas de las riadas, debido al efecto de barrera de la cobertura vegetal y al almacenamiento del agua en los lagos y pantanos. El valor de este servicio natural es casi obvio, si se tiene en cuenta el alto costo de los daños que producen las inundaciones cada año en la agricultura, la infraestructura y servicios de los asentamientos humanos (Ramsar, 2000).

En los grandes ríos, las llanuras aluviales tienen mucha importancia como retardadores de flujo (Sioli, 1975; Rzoska, 1978; Welcomme, 1985) lo cual depende, esencialmente, de la extensión de su planicie inundable, del patrón geomorfológico, de la pendiente y de la estructura y cobertura de vegetación (Neiff, 1996). Durante las crecientes, la sección de escurrimiento incluye a la planicie de desborde y adquiere mayor rugosidad, produciendo cambios importantes en el flujo, al disipar la energía cinética (menor velocidad de propagación de la onda de creciente) y aumentar el tiempo de residencia del agua en cada tramo.

No se dispone de información que permita cuantificar el efecto de atenuación que ejercen las planicies inundables de los grandes ríos durante las crecientes. Esta deficiencia es más evidente a la hora de evaluar impactos de las inundaciones (Depetris *et al.*, 2000; Neiff *et al.*, 2000) y prever los riesgos que conlleva la alteración de los ecosistemas por obras de regulación hídrica.

Para valorar el efecto de las planicies inundables sobre la traslación de las ondas de creciente, se estudió el efecto de retención del agua en el Bajo Paraguay, en un tramo en el que el río no recibe aportes significativos de afluentes y, en el que la diferencia de caudal y de almacenamiento de agua, puede relacionarse con el estado de desarrollo de la vegetación de su planicie de desborde.

En este estudio se plantea como hipótesis que el efecto de amortiguación de la planicie de inundación sobre las riadas se produce por el efecto de barrera que ejerce la vegetación y, especialmente la vegetación herbácea de la planicie. De cumplirse el supuesto, las crecientes cuyos desbordes no superen los dos metros sobre la planicie, serían atenuadas con mayor eficacia por la vegetación del sotobosque.

Para comprobar esta hipótesis se evaluaron las diferencias entre los valores de entrada (Río Paraguay, en Puerto Pilcomayo, frente a la ciudad de Asunción) y de salida de agua del sistema (Pto. Bermejo, próximo a la confluencia Paraguay-Paraná) en el tramo seleccionado.

Se tomaron como indicadores de la dinámica fluvial (Fuschini Mejía, 1978; 1983): alturas hidrométricas, caudales, volúmenes y duración de las riadas en ambos puertos. Se confrontaron las diferencias en tales parámetros para la serie hidrológica y se compararon las diferencias entre entradas y salidas de agua con el estado de la vegetación, previo a cada creciente, para estados hidrométricos semejantes del río entre 1985 y 1992.

## MÉTODOS

El Paraguay es uno de los tres grandes ríos que forman la Cuenca del Plata. Es el principal tributario del río Paraná, con el que forma la Confluencia a los 27° 20' S y 58° 37' O. Tiene rumbo predominante N-S, alta sinuosidad (1,66) y su caudal medio anual para el período 1910-1990, en la localidad de Puerto Bermejo (Chaco) es de 3734 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>.

La planicie de inundación evidencia intensos procesos de modelado fluvial, con migración lateral de los cursos menores, que aparecen como cauces efímeros, canales abandonados, cuerpos de agua y áreas de bañados, con distinta conectividad al curso principal (Orfeo, 1996). El paisaje integra llanura de meandros antiguos y llanura de avenamiento impedido, en el sector próximo al curso de agua. Por lo que se conoce, el paisaje es de origen Holoceno (Iriondo, 1991; Orfeo, 1998).

El área de este estudio limita al norte con la línea Puerto Pilcomayo (Argentina) - Asunción (Paraguay): 25°16' S; 57°37' W y la confluencia Paraná-

Paraguay en la isla del Cerrito: 27° 17' S y 58° 37' W, considerados «entrada» y «salida» del sistema, respectivamente. Ambos extremos están separados por 365 km en los que el valle inundable ocupa 1.664 km<sup>2</sup>, e incluye 40 islas con una superficie de 230 km<sup>2</sup>. El ancho más frecuente del curso es de 600 a 700 m con valores extremos de 250 y 2.270 m (Neiff *et al.*, 1985).

La pendiente general del tramo es homogénea, por lo que el curso de agua desborda sobre la planicie, cuando el nivel del hidrómetro alcanza entre 5,03

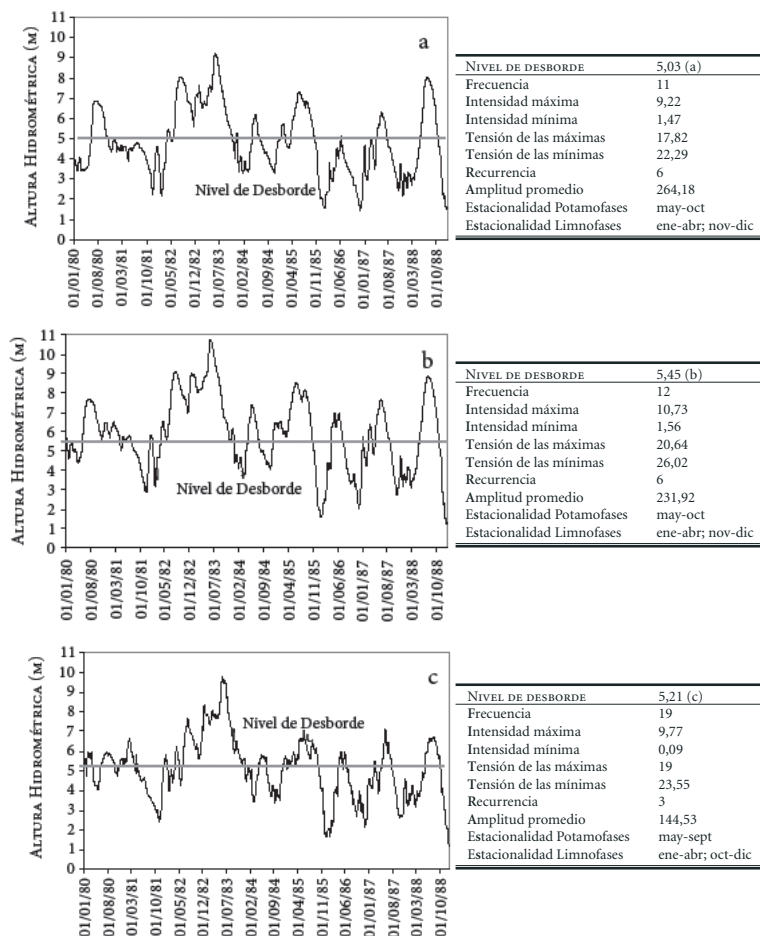


Figura 1. Los gráficos muestran la fluctuación del río Paraguay en los puertos Pilcomayo (a), Formosa (b) y Bermejo (c), cada uno de ellos con sus respectivos niveles de desborde y los atributos del pulso hidrosedimentológico.

y 5,45 m en distintas localidades del tramo. En algunos sectores la barranca puede ser algo más alta o más baja, lo que da una desviación en ambos sentidos de 0,80 m respecto del nivel medio de las márgenes del curso (Tabla 1). El río es monocalanzado y sinuoso (1,66).

El régimen del río Paraguay es regular. Las riadas anuales ocurren generalmente en invierno en el área de estudio y alcanzan a cubrir con una lámina de agua de un metro o más, el plano de inundación del río, que tiene su mayor desarrollo lateralmente al curso. Cada tres años, las inundaciones tienen mayor intensidad, cubriendo con dos metros o más, más del 80 % de la planicie inundable. En períodos con fuerte influencia del fenómeno de El Niño, tal como 1982-1983 (menos frecuentes), las riadas cubren con 4-5 metros de agua toda la planicie inundable.

Las alturas hidrométricas para la serie estudiada fueron proporcionadas por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables - DNCPyVN (Argentina), y representan mediciones directas de la regla hidrométrica de los puertos Pilcomayo, Formosa y Bermejo, tomadas diariamente a la mañana.

Los datos de caudal para cada altura hidrométrica fueron estimados mediante las curvas de descarga ( $h/Q$ ) encontradas a partir de aforos por Soldano (1947) y luego actualizadas a partir de aforos producidos por el Departamento de Estudios y Proyectos de la Empresa Nacional de Agua y Energía, Regional Nordeste, durante 1981-1988, en el Bajo Paraguay (Figura 2).

Los caudales y su expresión como volumen para un período dado (derrame), se dedujeron comparando la cresta de la onda cada riada, secuencialmente en los puertos considerados como entrada y salida del tramo estudiado (Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo). Sólo se analizaron los meses de aguas altas, cuando el flujo inundaba la planicie, es decir, aquellos en que el nivel del agua (promedio mensual) superaba los 5.00 metros en Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo.

	NIVEL DEL HIDRÓMETRO (M)	ALT. LÍNEA RIBERA	NIVEL DE INUNDACIÓN	COTA M.S.N.M.
Pto. Pilcomayo	3,4	-0,94 1,63 -2,32 -0,72	-4,34 5,03 -5,72 -4,53	57.31
Pto. Formosa	3,81	1,64 -2,56 -1,29	5,45 -6,37 -4,82	52.75
Pto. Bermejo	3,53	1,68 -2,07	5,21 -5,60	49.91

*Tabla 1. Altura de la línea de ribera y cotas de derrame del río Paraguay en los distintos puertos*

Sólo se consideraron los períodos en que el flujo del Paraguay no era obstruido por el río Paraná. Es decir, con la condición analítica para niveles considerados estáticos:

$$h = B + C.P \text{ (1)}$$

Donde:

h= altura crítica, de desborde, comienzo de potamofase.

B= Estado del río Paraguay (lectura del hidrómetro) en Pto. Bermejo (próximo a su confluencia con el Paraná).

P= Estado del río Paraná (lectura del hidrómetro en Paso de la Patria), próximo a confluencia) de ambos ríos.

C= diferencia entre la posición topográfica de los ceros de ambos hidrómetros de la DNCPyVN.

C= 0,872, constante entre Pto. Bermejo y Paso de la Patria.

$$h = B + 0.872 P \text{ (2)}$$

Cuando el río Paraná, en el puerto de Paso de la Patria, se encuentra por debajo de 5,00 m, no ejerce taponamiento sobre el curso del Paraguay, por lo tanto los caudales del Paraguay corresponden exclusivamente a los aportes de su cuenca y fluyen libremente hacia el Paraná.

En el área estudiada, el Bajo Paraguay recibe al río Bermejo como principal afluente y a una decena de arroyos y ríos de poco caudal (módulo de 10-50 m<sup>3</sup>/s).

El caudal del río Bermejo, único río caudaloso en el área, fue estimado a partir de los aforos de la Empresa Nacional de Agua y Energía para la localidad de El Colorado (Formosa). El aporte de este río fue descontado al analizar las diferencias entre Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo (Tablas 2 y 3).

Para acotar las diferencias entre las secciones de entrada y de salida se calcularon los volúmenes aportados para períodos de 1, 10, 20 y 30 días (Tabla 4), utilizando los datos hidrométricos y las curvas altura-caudal (h-Q).

El análisis del tiempo de permanencia del agua sobre la planicie en cada sección del área de estudio, durante cada riada se realizó mediante el software

	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB
Paraná	14.300	15.600	16.300	17.800	18.900	21.400
Paraguay	7.875	7.800	7.275	8.525	8.800	7.750
Bermejo	55,6	43	44,1	154	442	787
Pilcomayo	12,5	16,5	62,6	156	321	509
	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
Paraná	19.900	16.600	15.200	16.200	15.000	15.100
Paraguay	8.125	8.525	8.975	9.600	10.950	9.400
Bermejo	987	841	353	206	136	94,6
Pilcomayo	399	215	98,8	50,6	30,6	18,6

Tabla 2. Caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) de los principales ríos.

PULSO (Neiff y Neiff, 2002), utilizando la serie hidrológica 1980-1988, que incluye la creciente excepcional 1982-1983, la mayor del siglo XX.

Para comprobar la magnitud real del retardo de la vegetación sobre la velocidad de escurrimiento se realizaron aforos de velocidad en sitios de flujo libre dentro del valle de inundación con diferentes tipos y cobertura vegetal.

La vegetación fue evaluada en reconocimientos de campo previos a las mayores riadas, utilizando tres escalas complementarias de análisis: imágenes satelitales, fotos aéreas en escala 1:2500 y mediante reconocimientos de campo (Neiff *et al.*, 1985). Los indicadores utilizados fueron: cobertura total de vegetación sobre el suelo, cobertura de vegetación herbácea y área ocupada por los troncos de los árboles (DAP)/ha.

	PTO. PILCOMAYO (1) Q (M <sup>3</sup> .S <sup>-1</sup> )	PTO. BERMEJO(2) Q (M <sup>3</sup> .S <sup>-1</sup> )	RELAC. % DE Q EN (1)-(2)	CAUDAL RÍO BERMEJO Q (M <sup>3</sup> .S <sup>-1</sup> )
<b>1980</b>				
Junio	8.975	7.125	-20,6	498
Julio	9.700	7.625	-21,4	498
Agosto	9.500	7.600	-20,0	418
<b>1982</b>				
Junio	9.325	7.000	-25	575
Agosto	11.950	9.250	-23	440
<b>1984</b>				
Julio	6.000	5.600	-6,7	289
Agosto	5.500	4.900	-11	241
Septiembre	5.500	4.775	-4,5	175

*Tabla 3. Caudales promedios mensuales del río Paraguay en Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo. Su relación porcentual y comparación con los aportes del río Bermejo.*

## RESULTADOS

El aporte de los tributarios del río Paraguay en este tramo es poco importante, especialmente en aguas altas, en que representan aproximadamente 10% del caudal de este río. El río Tebicuarí, en la margen izquierda, tiene poca influencia en los caudales. Las curvas de movimiento anual en Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo, son semejantes en su forma, especialmente en el período de aguas altas, lo que permite utilizar las diferencias entre Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo, realizando las correcciones por aporte de afluentes (Tabla 2).

Generalmente, las crecientes llegan a Asunción en la primera quincena de abril y finalizan a mediados de julio (Soldano, 1947; OEA, 1971). Cuando el Paraguay escurre sin la obstrucción del Paraná, la onda de crecida arriba a la Confluencia tres días más tarde. Por lo tanto, la velocidad media es del orden

de 1,10-1,5 m. s<sup>-1</sup>, si bien pueden registrarse valores puntuales de hasta 2.2 m. s<sup>-1</sup> próximo a la confluencia con el Paraná.

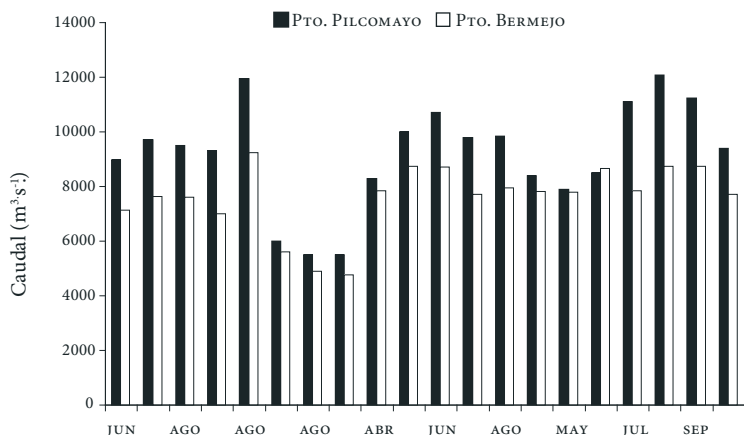


Figura 2. Variaciones en el caudal del río Paraguay en Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo en el período 1980-1984.

h (m)	Q (M <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )		V 1 DÍA (HM <sup>3</sup> )		V 10 DÍAS (HM <sup>3</sup> )		V 20 DÍAS (HM <sup>3</sup> )		V 30 DÍAS (HM <sup>3</sup> )	
	P.P	P.B.	P.P	P.B.	P.P	P.B.	P.P	P.B.	P.P	P.B.
2.0	3119	2595	269,5	224,4	2695	2244	5390	4484	8084	6726
2.5	3597	3243	310,8	280,2	3108	2802	6216	5604	9323	8406
3.0	4074	3893	352	336,3	3520	3363	7040	6726	10560	10091
3.5	4586	4541	396,2	392,3	3962	3923	7925	7847	11887	11770
4.0	5638	5189	487,1	448,3	4871	4483	9742	8968	14614	13450
4.5	6419	5837	554,6	504,3	5546	5043	11092	10086	16638	15129
5.0	7201	6486	622,2	560,4	6222	5604	12444	11208	18665	16812
5.5	8300	7140	717,1	617	7171	6170	14342	12338	21514	18507
6.0	9270	7805	800,9	674,3	8009	6743	16018	13487	24028	20230
6.5	10180	8600	879,5	743	8795	7430	17590	14860	26386	22291
7.0	10960	9400	946,9	812,1	9469	8121	18939	16243	28408	24365
7.5	11800	10200	1019,5	881,3	10195	8813	20390	17625	30586	26438
8.0	12800	11100	1105,9	959	11059	9590	22118	19180	33178	28771

Tabla 4. Relación h-Q-V, aportado en 1, 10, 20 y 30 días a partir de las curvas altura/caudal del río Paraguay en Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo (Soldano, 1947). P.P.: Pto. Pilcomayo; P.B.: Puerto Bermejo; h: altura hidrométrica; Q: caudal; V: volumen de agua escurrido.

Tanto en Pto. Pilcomayo como en Pto. Bermejo, las diferencias de caudal y de volumen son poco manifiestas, hasta 5 m del hidrómetro (57,28 y 49,69 m.s.n.m., respectivamente) y se relacionan, fundamentalmente, con cambios en la geometría hidráulica del cauce. Por encima de este nivel hidrométrico,



las diferencias son progresivamente mayores; si bien, al considerar los volúmenes, la relación entre altura y volumen, es menos homogénea entre ingreso y egreso (Tabla 7).

Las mayores diferencias volumétricas entre Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo (Tablas 4 y 6) se producen cuando el hidrómetro registra entre 5,00 y 7 m (57,28 y 49,69 m.s.n.m. y 59,28 y 51,69 m.s.n.m., respectivamente) y luego decrecen paulatinamente cuando el río supera 7,00 m en ambos puntos. Para un período de 10 días, los cambios volumétricos entre 5,50 m (57,78 y 50,19 m.s.n.m.) y 6,00 m (58,28 y 50,69 m.s.n.m.) de hidrómetro son:

$$1) 5,50 \text{ y } 6,00 \text{ m es de } 1266-1001 = 265 \text{ Hm}^3$$

$$2) 7,00 \text{ y } 7,50 \text{ m es de } 1399-1365 = 34 \text{ Hm}^3$$

	PTO. PILCOMAYO				PTO. BERMEJO			
h (m)	5	6	7	8	5	6	7	8
Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	7201	9270	10960	12800	6486	7805	9400	11100
V (Hm <sup>3</sup> .día)	622	800	947	1106	560	674	812	11100
Diferencia (Hm <sup>3</sup> )	622-560 = 62	800-674 = 126	947-812 = 135	1106-959 = 147				

**Tabla 5.** Comparación h-q-V derramado en las secciones de entrada (Pto. Pilcomayo) y de salida (Pto. Bermejo). h: altura hidrométrica; Q: caudal; V: volumen

Este comportamiento hidrológico durante las crecientes se explica por el funcionamiento de la llanura de inundación:

Hasta los 5 m del hidrómetro en ambos puertos, el río fluye encauzado (Neiff *et al.*, 1985; Tabla 1). Los desbordes ocurren por encima de los 5,00 m, desplazándose sobre una mayor superficie, en un lecho con los obstáculos de la vegetación. El movimiento del agua es retardado, por la rugosidad biológica, que genera la vegetación herbácea de la planicie.

Durante el período 1980-1988, el río Paraguay en Puerto Pilcomayo-Asunción, permaneció 425 días en aguas altas, para un nivel de desborde de 7 m, repitiéndose cuatro veces esta situación, mientras que en Puerto Bermejo, la amplitud y la frecuencia de las riadas fue menor (325 días, con una frecuencia de tres veces).

La cobertura de la misma durante los períodos prolongados de suelo emergente fluctuó entre 40-70% en los bosques y entre 70 y 90% en los bañados herbáceos. En ambos sistemas este estrato se levanta hasta dos metros de alto.

Los bosques pluriestratificados y pluriespecíficos ocupan 23% del área estudiada; los bañados con vegetación herbácea 42% y los bosques densos dominados por poblaciones de *Tessaria integrifolia* o de *Salix humboldtiana* 11%; existiendo amplias áreas de transición y cuerpos de agua permanentes (Reboratti y Neiff, 1987).

Esta trama vegetal puede casi desaparecer a causa de inundaciones extraordinarias (Neiff *et al.*, 1985) y sólo quedan los troncos como obstáculo al escurrimiento. La recuperación del estrato herbáceo del bosque comienza apenas dos o tres meses después que el suelo queda descubierto de agua, pero se necesita entre 1 y 3 años para llegar a una formación densa, continua, sobre el suelo. El área total ocupada por troncos, en el tramo estudiado del Paraguay, es de 28,2 m<sup>2</sup>/ha (valor medio de 400 árboles/ha, con DAP medio de 30 cm).

Los bañados herbáceos son formaciones densas, continuas, de plantas altas y tiernas posicionadas en la parte baja del gradiente topográfico, en el borde de lagunas y cursos de agua, con buen anclaje al sustrato, formando una trama resistente de tallos y hojas (Casco, 2003). Durante las riadas extraordinarias, por efecto erosivo y/o por la altura de la columna de agua que las cubre, estas plantas mueren. El tiempo de recuperación, luego de que bajan las aguas, puede ser próximo a dos años.

Por las características comentadas, se produce efecto de interferencia del escurrimiento desde el nivel de desborde (5,03 m= 57.31 m.s.n.m., en Pto. Pilcomayo) hasta que se alcanza los 7,00 m en el hidrómetro de Formosa (cota de 54,3 m.s.n.m.). Por encima de los 7,00 m, la interferencia que produce la planicie es mínima, recuperándose velocidad de flujo (disminuye el tiempo de residencia del agua) y con ello se reduce la diferencia de derrames calculado entre Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo (Tabla 7).

Los caudales obtenidos a partir de la curva h/Q para los niveles hidrométricos alcanzados en Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo en 1985, 1987 y 1988 en aguas altas se resumen en la Tabla 7. Se advierte una estrecha correspondencia entre la magnitud de cada crecida y el volumen de agua interferido por la llanura aluvial, confirmándose que las principales diferencias se notan cuando son iguales o algo superiores a 6,00 m en ambas escalas.

Esta tendencia es coherente con el incremento del perímetro mojado de la sección de escurrimiento durante la fase de desborde o potamofase, ya que paulatinamente se incorporan al lecho de inundación, sectores de planicie profusamente vegetados.

El distanciamiento de los valores de caudal y de volumen entre Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo, es mayor cuando el nivel del río, en el primer punto, supera los 7,00 m, aproximándose a 30%. Lo que representó en el año 1988, por ejemplo, la cantidad de agua retenida en 24 horas (Tabla 6).

h (m)	Mes	PTO. PILCOMAYO		PTO. BERMEJO		Dif. relativa
		Q(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	V(Hm <sup>3</sup> )	Q(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	V(Hm <sup>3</sup> )	
7,07	Junio	11.100	959	7.840	667	-30,4
7,71	Julio	12.090	1.045	8.730	754	-28
7,18	Agosto	11.230	970	8.730	754	-23
6,10	Septiembre	9.400	812	7.700	665	-18

Tabla 6. Valores de caudal y de volumen entre Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo, año 1988.

El retardo de la onda de crecida y los volúmenes retenidos por la llanura dependerán de la superficie inundada. Esto se corrobora en la Tabla 5, en la que se cuantifican las situaciones hidrológicas para  $h=5,00; 6,00; 7,00$  y  $8,00$  m en las estaciones de Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo, comparando las relaciones de  $h, Q$  y  $V$ .

Luego de inundaciones de duración excepcional, como la de 1982-1983, las diferencias para  $h, Q$  y  $V$  en distintas localidades del tramo estudiado, son mucho menores debido a que el agua se propaga con mayor libertad a causa

	h (m)		Q(m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )		DIF.
	PTO. PILCOMAYO	PTO. BERMEJO	PTO. PILCOMAYO	PTO. BERMEJO	
<b>1985</b>					
Abril	5,63	6,07	8300	7840	-6
Mayo	6,48	6,62	10000	8750	-14
Junio	6,82	6,61	10700	8720	-20
Julio	6,34	5,9	9800	7700	-21,4
Agosto	6,35	6,21	9830	7950	-19
Septiembre	5,66	6	8400	7805	-7
<b>1987</b>					
Mayo	5,38	5,97	7900	7780	-1,5
Junio	5,69	6,55	8500	8660	-10,02
<b>1988</b>					
Junio	7,07	6,11	11100	7840	-29,4
Julio	7,71	6,58	12090	8730	-28
Agosto	7,18	6,58	11230	8730	-22,3
Septiembre	6,1	5,9	9400	7700	-18,1
<b>1989</b>					
Mayo	5,13	5,24	7400	6900	-6,8
Junio	5,22	5,03	7800	6500	16,7
Julio	5,8	5,64	8700	7100	18,4
Agosto	5,83	5,75	8800	7300	17
Septiembre	6,26	6,46	9650	8500	12
Octubre	6,13	6,58	9500	8750	7,9
<b>1990</b>					
Junio	5,5	6,52	8100	8650	
Julio	5,04	6,08	6600	7860	
<b>1991 H &lt; 5 m. todo el año</b>					
<b>1992</b>					
Mayo	7,58	7,23	11900	9250	22
Junio	7,82	8,54	12200	12300	no
Julio	s/d	s/d			
Agosto	5,76	6,01	8650	8000	7,5
Septiembre	5,66	6	8400	7500	10,7
Octubre	6,56	6,59	10250	8800	14
Noviembre	s/d	s/d			
Diciembre	s/d	s/d			

Tabla 7. Diferencia de caudales de entrada (Pto. Pilcomayo) y salida (Puerto Bermejo).

de la desaparición del 90% del estrato herbáceo (Neiff *et al.*, 1985). Esto se corroboró analizando el comportamiento del río en aguas altas durante los años previos y posteriores a la creciente excepcional de 1982 (Tabla 3). En los años que anteceden a esta riada extraordinaria, los caudales del río Paraguay en Pto. Pilcomayo y en Pto. Bermejo, indican una amortiguación próxima a 25% en junio de 1982. En 1984, disminuyó significativamente la diferencia entre ambas localidades, como consecuencia de la muerte de gran parte de la vegetación durante 1981-1983.

Durante esta riada fueron afectados entre el 40 y 65% de los árboles del bosque en galería, con pérdidas mayores en los bosques dominados por *Tessaria integrifolia* o por *Salix humboldtiana* que resultaron en 70 a 95% y pérdida total del sotobosque (Neiff *et al.*, 1985). La remoción drástica de la vegetación permitió que el flujo superficial tuviera pocas perturbaciones y se aproximara al comportamiento de tipo encauzado, con menor diferencia en los caudales pasados entre los puntos de control (Tabla 3).

En las riadas posteriores de 1985, 1987 y 1988 se aprecia la recuperación gradual del efecto disipador que ejerce la vegetación sobre el escurrimiento (Tabla 7) como se desprende del aumento de las diferencias de *h* y *Q* entre Pto. Pilcomayo y Pto. Bermejo en 1988. El año hidrológico 1987 es poco repre-

PTO. PILCOMAYO								
Junio	h	Q	Julio	h	Q	Agosto	h	Q
10	6.86	10800	10	7.75	12200	10	7.36	11450
11	6.91	10900	11	7.76	12230	11	7.33	11420
12	6.97	10950	12	7.75	12200	12	7.30	11400
13	7.02	11000	13	7.75	12200	13	7.27	11340
14	7.06	11080	14	7.75	12200	14	7.21	11285
15	7.10	11100	15	7.75	12200	15	7.20	11280
16	7.13	11180	16	7.75	12200	16	7.19	11250
17	7.18	11230	17	7.74	12180	17	7.18	11230
18	7.22	11300	18	7.73	12150	18	7.14	11190
19	7.26	11320	19	7.72	12110	19	7.14	11190

PTO. BERMEJO								
Junio	h	Q	Julio	h	Q	Agosto	h	Q
13	6.00	7805	13	6.60	8770	13	6.66	8900
14	6.02	7815	14	6.56	8680	14	6.62	8800
15	6.02	7815	15	6.54	8650	15	6.60	8770
16	6.01	7810	16	6.54	8650	16	6.58	8730
17	6.03	7820	17	6.56	8680	17	6.56	8680
18	6.04	7825	18	6.56	8680	18	6.55	8660
19	6.06	7835	19	6.56	8680	19	6.54	8650
20	6.12	7870	20	6.54	8650	20	6.54	8650
21	6.26	8170	21	6.54	8650	21	6.55	8660

Tabla 8. Retardo de la onda de crecida y relación *h-Q* en el año 1988.

sentativo, porque esta riada fue de poco caudal. Por lo tanto, el flujo fue predominantemente encauzado y sólo un corto tiempo circuló por los terrenos adyacentes al canal principal.

En la Tabla 8 se compara, en Pto. Pilcomayo y Puerto Bermejo, la relación de  $h$  y  $Q$  para 10 días consecutivos para la riada de los meses de junio, julio y agosto de 1988 en los que se registraron aguas altas.

Los días 10 de junio, julio y agosto en Pto. Pilcomayo deben confrontarse con los días 13 de estos meses en Pto. Bermejo, debido al tiempo que demora en llegar la onda de creciente, ya que la velocidad media entre ambos puntos es de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Así, por ejemplo, el 10/06/88 en Pto. Pilcomayo se produjo un gasto de  $10.800 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , que se transformó el 13/06/88 en  $7.805 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  en Puerto Bermejo. El máximo caudal promedio evaluado en Pto. Pilcomayo,  $12.230 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , el día 11/07/88, se modificó a  $8.680 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  el día 14/07/88 en Pto. Bermejo, lo que da una diferencia de  $3.550 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (Tabla 8).

Los aforos realizados para comprobar el efecto de la vegetación sobre la velocidad del escurrimiento en sitios de flujo libre dentro del valle de inundación, con diferentes tipos y cobertura de vegetación, indican que el retardo del escurrimiento es muy importante. En las islas pobladas por bosques de aliso (*Tessaria integrifolia*) con densidad de 20-30 plantas por metro cuadrado, la velocidad del flujo fue, en promedio, 10 veces menor que en el borde de la isla, con igual profundidad y dirección de flujo, pero exento de vegetación.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos ratifican la importancia de estos humedales sobre la estabilidad del sistema fluvial y la interacción entre los humedales y el flujo del agua (Brinson, 1990; Gioria, 1985; Lugo *et al.*, 1990; Neiff, 2004). La reducción de la velocidad del flujo por la vegetación, tuvo valores semejantes a los encontrados por Depettris *et al.*, (1992) en el Bajo Paraná.

Los registros hidrométricos de las riadas analizadas y las medidas directas de velocidad en campo, dan valores de transmisión de la onda de creciente mayores a los 120 km/día en el Bajo Paraguay, muy superiores a la información proporcionada por Welcomme (1985) para ríos tropicales de planicie. A su vez, la velocidad de la onda en el tramo bajo es mayor que en el Alto Paraguay, si se compara nuestra información con los datos de Soldano (1947).

En el Bajo Paraguay la vegetación produce una amortiguación marcada de las crecidas al retardar el escurrimiento y disipar grandes volúmenes de agua que no llegan al tramo bajo. La disminución de la velocidad del flujo produce una reducción de la tasa erosiva por el agua. García Nájera (1962) demostró que la tasa erosiva en cuencas de fuerte pendiente disminuye con proporcionalidad equivalente al cuadrado de la disminución de la velocidad. Este efecto es más importante en estos tramos de planicies fluviales, donde la energía del

relieve es menor y se comportan como sistemas de tendencia equipotencial (González Bernáldez, 1981).

Este hecho no se manifiesta como una función continua directamente relacionada al aumento del caudal, sino como una función escalonada, en la que el efecto atenuador de la vegetación comienza cuando el río desborda sobre el valle, aumenta hasta que la lámina de agua de inundación supera al sotobosque, la vegetación herbácea de los bañados y disminuye cuando la magnitud de las crecidas cubren totalmente este tipo de vegetación. En el área estudiada, la atenuación se produce en un rango hidrométrico de 5,05 a 7,00 m; anulándose, cuando el río llega a los 8,00 m en Pto. Pilcomayo, equivalente a la cota de 60,28 m.s.n.m.

Esquemáticamente se pueden reconocer al menos tres fases hidrológicamente diferentes: a) de flujo encauzado (coincidente con aguas bajas, denominado limnofase (Neiff, 1996; Casco, 2003); b) de desborde (cuando el río supera el albardón y el flujo es interferido por la vegetación del valle (llamada también *potamofase*, por los autores antes citados) y c) cuando por la magnitud de la riada se sobrepasa el nivel de atenuación que ejerce la vegetación y el río no sufre el efecto retardador de la planicie. Siguiendo la terminología antes comentada, llamaremos a esta fase *potamofase extraordinaria*.

Obviamente, esta función atenuadora no es estática, dependiendo del desarrollo de la vegetación (cobertura, continuidad, densidad, altura, etc.) previo a las crecidas, lo que depende en gran medida de la duración de las crecientes.

En ríos regulados, la curva hidrométrica tiene menor rango entre aguas máximas y mínimas, disminuyendo la frecuencia de las crecientes «extraordinarias». Con ello, la persistencia de la vegetación en el valle acentuará su importancia como disipador de la energía de las crecidas.

Es necesario sugerir que los modelos de transmisión de crecidas contemplen el efecto mecánico de la vegetación de la planicie de inundación. Esta contribución brinda un esquema de procedimiento que puede implementarse en otros ríos de llanura para evaluar el efecto de los humedales sobre el escurrimiento.

Es preciso que los programas de represamiento en ríos de llanura contengan normas adecuadas de gerenciamiento de caudales, para la protección de la estabilidad del paisaje fluvial. Esencialmente se trata de mantener el *feedback*: funcionamiento hidrológico-vegetación y evitar que los desajustes de este mecanismo se potencien aguas abajo de los embalses, especialmente en aquellos ríos con represas en cascada.

El importante papel de la vegetación sobre el escurrimiento fluvial puede ser perturbado también por el fuego y por la extracción forestal indiscriminada, condicionando que las crecientes posteriores encontrarán a su paso menor densidad de obstáculos. Las quemadas deberían ser prohibidas en estos ecosistemas, porque además perjudican la oferta de hábitat para la vida silvestre. La extracción forestal debería realizarse únicamente luego de que se evalúen los riesgos emergentes de las mismas.

## BIBLIOGRAFÍA

- BRINSON, M. 1990. *Riverine forests*. En: A.E. Lugo, M. Brinson y S. Brown (eds). *Forested Wetlands. Ecosystems of the world* 15 Capítulo 5. Elsevier New York: 87-142.
- CASCO, S.L. 2003. Poblaciones vegetales centrales y su variabilidad espacio-temporal en una sección del Bajo Paraná, influenciada por el régimen de pulsos. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. 127 p y anexos.
- DEPETTRIS, C.; O. ORFEO Y J.J. NEIFF, 1992. Atenuación del escurrimiento fluvial por bosques de "aliso". Ambiente Subtropical, 2. 2: 33-43. Corrientes, Argentina.
- DEPETTRIS, C., E.M. MENDIONDO, J.J. NEIFF Y H.R. ROHRMANN. 2000. Flood Defence Strategy at the Confluence of the Parana-Paraguay Rivers, En: F. Toenmsmann & M. Koch (eds.). River Flood Defence, Kassel Reports of Hydraulic Engineering, N° 9, Kassel, Herkules Verlag, Volumen I, Sección C: Hydrological Data & Precipitation: C31-C30.
- FERNÁNDEZ REYES, L. 2003. Los humedales de Cuba: estado actual y estrategia de uso sostenible. 212-225. En: J. J. Neiff. Humedales de Iberoamérica, Edit. CYTED 386 p: ISBN 959-270-036-2.
- FUSCHINI MEJÍA, M.C. 1978. *La singularidad geográfica Guayrense*. Ed. Oikos, Buenos Aires. 122 p. y láminas.
- FUSCHINI MEJÍA, M.C. 1983. Elementos para el análisis de la hidrología de las regiones tropicales húmedas alteradas. Acad. Nac. Cienc. Exact. y Nat. Disertación. 72 p.
- GARCÍA NÁJERA, J.M. 1962. Influencia de la vegetación en las riadas. Revista de Investigaciones Forestales 3 (1): 35-40. Argentina.
- GIORIA, R. 1985. Modificación del escurrimiento en el valle de inundación del río Paraná por efecto de inundaciones prolongadas. Disertación en: Consulta de expertos sobre el tema «Manejo del sistema agua-vegetación para la mitigación de inundaciones». FAO-IFONA-Provincia del Chaco, Argentina. 1-14
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. 1981. Ecología y paisaje. Ed. Blume. 250 p.
- IRIONDO, M. 1991. El Holoceno en el Litoral. Com. Mus. Prov. Ciencias Naturales «Florentino Ameghino» (Nueva Serie), 3 (1): 40.
- LUGO, A.E.; M. BRINSON Y S. BROWN (EDS). 1990. *Forested Wetlands. Ecosystems of the world 15: Elsevier The Netherlands* 527 p.
- LUGO, A.E.; S. BROWN Y M. BRINSON 1990. *Concepts in wetland ecology*. En: A.E. Lugo, M. Brinson y S. Brown (eds). *Forested Wetlands. Ecosystems of the world* 15 Capítulo 4. Elsevier The Netherlands: 53-85.
- NEIFF, J.J. 1996. Large rivers of South America: toward the new approach. Verhandlungen der Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie, 26: 167-180. Alemania.

- NEIFF, J.J.; H.J. REBORATTI; M. GORLERI Y M. BASUALDO. 1985. Impacto de las crecientes extraordinarias sobre los bosques fluviales del Bajo Paraguay. Boletín Comisión Especial del Río Bermejo. Honorable Cámara de Diputados de la Nación, Buenos Aires, N° 4: 13-31.
- NEIFF, J.J. Y M. NEIFF. 2002. PULSO, software para análisis de fenómenos recurrentes. Dir. Nac. de Derecho de Autor N° 236164 (Argentina). Buenos Aires, 17 de febrero. <http://www.neiff.com.ar>
- OEA. 1971. Cuenca del río de la Plata. Inventario y análisis de la información básica sobre recursos naturales. 169 p.
- Orfeo, O. 1996. Geomorfología del sistema fluvial Paraguay-Paraná en el área de su confluencia. Actas del XIII Congreso. Argentino de Geología, Buenos Aires. 331-344
- RAMSAR. 2000. Manuales para el uso racional de los humedales. T. 1-9. Gland, Suiza. ISBN 2-940073-27-9
- REBORATTI, H.J. Y J.J. NEIFF. 1987. Distribución de los alisales de *Tessaria integrifolia* (Compositae) en los grandes ríos de la Cuenca del Plata. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 21 (1-2): 25-42.
- RZÖSKA, J. 1978. *On the nature of rivers*. Dr. Junk Publ. The Netherlands 67 p.
- SIOLI, H. 1975. *Tropical rivers as expression of their terrestrial environments*. En: F.B. Golley y E. Medina (eds.): *Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer Verlag, New York. 275-288.
- SOLDANO, F.A. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. Ed. Cimera, Buenos Aires. 165 p.
- WELCOMME, R.L. 1985. River Fisheries. FAO Fish. Tech. Paper, 262. 329 p.