

## Biodiversidad en ríos del litoral fluvial. Utilidad del software PULSO.

Sylvina Lorena CASCO<sup>1</sup>; Matías NEIFF<sup>1</sup> y Juan José NEIFF<sup>1</sup>

**Abstract:** The efforts of the Ecologists have been directed to know the number of species that inhabiting in a river and their basin. However, an smaller number of projects had been dedicated to study the causes of the biodiversity in systems with a high level of fluctuation. In this contribution available information of the Paraná River floodplain is discussed and a methodological advance for to link the biological and hydrological complexity it presents because, that is useful to interpret the biodiversity of the assemble of plants and animals that grow under different flood and dry conditions of the floodplain wetlands. PULSO is a tool to study the fluctuations and deposition of nutrients in floodplains, the causes and distribution and abundance of organisms in rivers and wetlands, to analyze the effects of catastrophic floods, and to understand the present structure of landscapes in fluctuating systems. PULSO is not a procedure for hydrological analysis, but a tool to diagnose the cause the structure or process related to fluctuating hydrological behavior typical of flood plains, wetlands flooded periodically by rain, and coastal areas under tidal regimes. The function and structure of rivers with floodplains are conditioned by pulses of energy and materials or *hydrosedimentological pulses*. The dynamics of pulses are characterized by hydrological attributes defined by the function *fFITRAS*, which is the acronym for Frequency, Intensity, Tension or stress, Regularity, Amplitude, and Seasonality. The pulsing regime is comprised of the pattern of variability of these phases within a certain time and space, conforming to a sinusoidal model that results, as we have said, from introducing in the hydrometric curve a reference level or an upper bankfull level where the river spills into the flood plain. **PULSO** works well with hydrometric data or the depth of a river or wetland, it is also able to be used to analyze situations or analogous processes. The user introduces a temporal series of data (hydrogram), selects the length of period of time to analyze and a value of intensity (reference value) which defines the incident of a process (flooding for example) or the presence of a determined element of the system (a forest of a certain species for example). With hydrometric data (of rivers) or depth (in wetlands), daily, weekly or annually taken above (or previously) in a city near the floodplain studied, it is possible to know the number of pulses, the number of flood and dry phases, the season of the year in which they occur, their duration, the magnitude that they reached and the regularity of the regime. The analysis of the fluvial pulses takes places for each sector of the flood plain as such their topographic position determines the distinct time of the *potamophase/limnophase*. Calculation of the function *fFITRAS* for the sites in which each species of tree grows, or in which each landscape is located, allows knowing quantitatively the influence of the hydrological phenomena in these sites. The reader is guided step by step in the use of the software using some examples for forests located in different topographical elevation within the floodplain river.

**Key words:** Pulse regime - Software PULSO - Paraná River - Wetlands.

**Palabras Clave:** Régimen de pulsos - Software - Río Paraná.

### Introducción

Se dispone de valiosos trabajos florísticos y faunísticos de humedales anegables e inundables, del litoral fluvial argentino aunque posiblemente un gran número de especies no han sido aún registradas por los científicos.

Los ríos y, especialmente aquellos que tienen extensas planicies inundables, se caracterizan porque la *riqueza específica actual* es generalmente baja, respecto de la *riqueza específica potencial*, o sea: el número

<sup>1</sup> Ruta 5 km 2,5 CC 291-Corrientes. Ruta 5 km 2,5 (3400) Corrientes. Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CONICET). E-mail: [sylvina@amet.com.ar](mailto:sylvina@amet.com.ar); [webmaster@neiff.com.ar](mailto:webmaster@neiff.com.ar); [neiff@amet.com.ar](mailto:neiff@amet.com.ar)

de especies expectables, que surge de considerar todos los registros tomados por los investigadores para determinado sitio a lo largo de la historia. Esto se debe a que, en sistemas de alta fluctuación, existen organismos adaptados a una u otra de las condiciones de inundación o de sequía, mientras que otras están adaptas a persistir en ambas fases (Neiff, 1996; Casco, 2003).

Este proceso de selección y adaptación de bioformas en sistemas de flujo alto permanece poco estudiado, en gran parte por no disponer de un esquema conceptual y metodológico adecuado para su estudio.

Desde los años sesenta, se ha reconocido que las fluctuaciones hidrométricas de los ríos, constituyen el macrofactor más importante para explicar la riqueza, distribución y abundancia de los organismos que viven en los ríos, si bien sólo recientemente se han ensayado procedimientos para ligar cuantitativamente los cambios en la biodiversidad con el macrofactor condicionante: el régimen de variación hidrológica.

Poco se avanzó en la explicación de los procesos que regulan el régimen fluctuante de los ríos, ni en las consecuencias biológicas y ecológicas de los pulsos, hasta que en 1989 Junk, Bailey y Spark *et al.* publicaron su concepto de "pulso de inundación".

Sin demasiados cuestionamientos, se sucedieron desde entonces numerosos trabajos que concordaban con la idea que las inundaciones constituyen el factor condicionante de la vida en los ríos. En 1990 se planteó la necesidad de ligar cuantitativamente la variabilidad hidrológica del río con el patrón de paisaje y con la organización del sistema biótico en series de tiempo (Neiff, 1990a).

El concepto de "pulso de inundación" fue reformulado, asignando a ambas fases de los pulsos igual importancia y definiendo sus atributos de los pulsos (frecuencia, intensidad, tensión, recurrencia, amplitud, estacionalidad). Finalmente, al comienzo del siglo XXI, se desarrolló un software que se convirtió en una herramienta útil para explicar la dinámica de los sistemas bióticos de los ríos.

Recientemente Casco explicó la biodiversidad de la vegetación del Paraná, aguas abajo de su confluencia con el Paraguay y su relación directa con los períodos alternantes de inundación y sequía del suelo (Casco, 2003).

Las fluctuaciones del río Paraná y sus implicancias ecológicas, sentaron las bases para diseñar y diagramar un software apropiado para el análisis de fenómenos recurrentes, como las inundaciones y las sequías, fases del pulso hidrosedimentológico.

PULSO fue diseñado originalmente para explorar algunas relaciones cuantitativas entre las características ecológicas de áreas anegables e inundables (Ej. distribución y abundancia de poblaciones) y las diferencias en las fases de inundación y de suelo seco en cada zona del paisaje. Las diferencias en la posición topográfica en distintos puntos de una planicie, determinarán diferente frecuencia, intensidad y duración de las fases de inundación y de sequía. La oferta de hábitat para micro y macro organismos también será distinta y puede ser calificada y cuantificada.

PULSO estudia fenómenos que se repiten según una función sinusoidal a lo largo del tiempo, como puede ser el conjunto de fluctuaciones hidrométricas de un río, las lluvias en un período y localidad determinada o los eventos de fuego en las sabanas. Se establece en la serie un valor de intensidad (valor de referencia) el cual define la presencia de determinado elemento del sistema, o la ocurrencia de algún proceso que queremos investigar en el sistema, como podría ser la ocurrencia de suelo inundado. Así, los valores que se encuentran por encima de esta línea virtual son tomados como positivos e indican que la ocurrencia de la fase de inundación, en nuestro ejemplo, tal elemento (planta, animal) estaría presente, o que aquel proceso se cumple (germinación, riesgo de fuego). Por debajo del nivel de referencia, los valores son tomados por el modelo como negativos y señalan la ausencia potencial del elemento o proceso investigado.

Si el interés es analizar la distribución de la vegetación en una planicie inundable, se trabaja con datos hidrométricos, si se investigan procesos de dilución de plancton, se pueden usar datos de caudal.

A partir de estos datos hidrométricos o de caudal, diarios, semanales o anuales, tomados en una ciudad próxima a la planicie inundable estudiada, es posible conocer el número de pulsos, el número de fases de inundación y de sequía, la estación del año en que ocurren, la duración y magnitud que alcanzaron y la regularidad del régimen. El programa permite trabajar con series largas de tiempo o con sólo algunos meses, obtener la forma de las curvas, su amplitud y simetría, valores medios, mediana, desviación de las medias y realizar gráficos unitarios o representar varias series en cascada, que pueden ser visualizados e impresos.

PULSO, es una herramienta útil para estudiar las causas de la distribución y abundancia de los organismos en ríos y humedales, para analizar los efectos de inundaciones catastróficas y para comprender la estructura actual del paisaje en sistemas muy fluctuantes.

El modelo descompone una serie continua de valores (hidrograma) en dos subconjuntos de datos: fases positivas (valores tomados como *uno* en el software) y negativas; (valores tomados como *cero*) lo que permite analizar en un computador la recurrencia de cada una de estas fases.

En la Tabla 1 se ejemplifican algunos fenómenos que están relacionados con una u otra fase de los pulsos en los bosques fluviales.

LIMNOFASE		
Proceso o atributo controlado por el río	Atributo <i>firas</i> modificador del proceso o atributo	Explicación
Incremento de concentración de nutrientes en el piso de la planicie.	Frecuencia (+) Amplitud (+)	Durante las limnofases, el suelo es rápidamente colonizado por vegetación herbácea y leñosa que extrae nutrientes desde la profundidad del suelo y los transloca primeramente a las plantas y luego los incorpora a los horizontes superiores del suelo como hojarasca. Mayor frecuencia y duración de las limnofases favorece la acumulación de hojarasca.
Colonización de sedimentos expuestos por vegetación leñosa	Amplitud (+) Tensión (+)	La eccesis de los bancos de arena depende de la duración de las limnofases. Los brinzales deben crecer lo suficiente para que las plantas no sean totalmente sumergidas en la próxima inundación. Cuando las limnofases difieren de año en año (tensión) pueden ser colonizados bancos en distinta posición topográfica.
Riqueza de especies	Frecuencia (+) Amplitud (-) Tensión (+)	Cuando la frecuencia y la tensión son mayores el número de especies también lo es, pues es mayor el número de nichos y porque hay áreas transicionales tierra-agua en las que el N° de spp. es mayor.
Superficie ocupada por leñosas en la planicie	Frecuencia (+) Amplitud (+) Tensión (+)	Mayor frecuencia y duración de las fases de suelo descubierto determinan condiciones favorables para la colonización y permanencia de arbustos y árboles en albardones y bañados.
Abscisión foliar	Amplitud (+)	Cuando las sequías son más duraderas, muchos árboles sufren la caída de las hojas (Neiff y Poi de Neiff, 1990) y llegan a abortar sus frutos.
Acumulación de hojarasca	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (+)	La acumulación de hojarasca es proporcional a la duración de la limnofase y a la frecuencia de las mismas. En alguna medida se asocia positivamente con los valores bajos extremos (Neiff, 1990a y 1990b).

Producción de biomasa radicular	Frecuencia (+) Amplitud (#) Intensidad (-)	Durante las limnofases los árboles, especialmente los más jóvenes, invierten mayor energía en producir raíces en los horizontes del suelo por debajo de los 50 cm de profundidad.
Producción de raíces gemíferas	Amplitud (+) Intensidad (-) Tensión (+)	<i>Tessaria integrifolia</i> y otras, pueden producir nuevas plantas a partir de yemas que se encuentran en raíces subsuperficiales. Esto ocurre cuando las limnofases son extensas y cuando tienen diferente magnitud.
Producción de frutos	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (-)	<i>Prosopis alba</i> y otras, tienen mayor fructificación en limnofases prolongadas, cuando el suelo conserva aún humedad suficiente para el crecimiento de las plantas. Con intensidad es extrema, pueden abortar los frutos.
Diferenciación de paisajes (=>ecodiversidad)	Frecuencia (+) Amplitud (+) Tensión (+)	Con suelo descubierto de agua, aumenta la heterogeneidad del paisaje y también la heterogeneidad interna de cada paisaje. Aumentan la riqueza de especies y de bioformas hacia el final de la limnofase.

### LIMNOFASE

Proceso o atributo controlado por el río	Atributo fitras modificador del proceso o atributo	Explicación
Desarrollo de tapiz cespitoso herbáceo	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (-)	El estrato herbáceo (incluye plántulas forestales) sólo existe cuando la frecuencia y amplitud de las limnofases aumenta. Pero se encuentra controlado por la sequía extrema del suelo (intensidad extraordinaria).
Riqueza de la fauna edáfica	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (#) Tensión (-) Estacionalidad (+)	La mayor parte de la fauna edáfica está restringida a las limnofases. Su abundancia y complejidad (número de especies, bioformas) se relaciona con la duración de la limnofase. Algunas especies están controladas por la época en que ocurre la fase (estacionalidad)
Riqueza de la fauna de primates	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (-) Estacionalidad (+)	La distribución de las familias de monos se ve condicionada por la disponibilidad de hábitat y de alimento (muchos son folívoros y frugívoros). A su vez, se ha comprobado que los primates favorecen la distribución y germinación de semillas de muchas especies arbóreas (Bravo <i>et al.</i> , 1995).
Riqueza de la avifauna del bosque	Frecuencia (+) Amplitud (+) Intensidad (-) Estacionalidad (+)	Al igual que la fauna de primates, las aves son condicionadas por la oferta de hábitat y de alimentos en el bosque. Las mejores condiciones se dan durante las limnofases frecuentes, prolongadas y que ocurren en la misma época (Beltzer y Neiff, 1992).
Cambios en la distribución de mastofauna	Frecuencia (+) Intensidad (-) Estacionalidad (+) Tensión (+)	Son sensibles a los mismos factores que la avifauna, adicionándose que la mayoría de las especies requieren obligadamente del suelo descubierto de agua.

### POTAMOFASE

Proceso o atributo controlado por el río	Atributo fitras modificador del proceso o atributo	Explicación
Producción de semillas y frutos	Intensidad (-) Amplitud (-)	La producción de unidades dispersantes se reduce o inhibe durante las inundaciones de extrema intensidad y duración. Algunas especies ( <i>Geoffroea striata</i> , <i>Peltophorum dubium</i> ) resultan muy afectadas.
Dispersión de semillas y frutos	Frecuencia (+) Intensidad (+)	La dispersión de semillas y frutos se realiza principalmente por el agua (tal como se puede ver en la forma de las barras de aliso ó de sauce en bancos formando barras, donde el oleaje amontona las semillas.

Germinación	Frecuencia (-) Intensidad (-) Amplitud (-) Estacionalidad (+)	La germinación es impedida por la inundación del suelo. Se relaciona positivamente con la estacionalidad. Cuando las inundaciones ocurren siempre en la misma época del año, las plantas encuentran condiciones más "predecibles"
Crecimiento de brinzales	Frecuencia (+) Intensidad (-) Amplitud (-)	El crecimiento de los brinzales es más activo cuando las inundaciones son más frecuentes. Aunque si llegan a tapar completamente a las plantas por varios días, puede que mueran.
<b>POTAMOFASE</b>		
Proceso o atributo controlado por el río	Atributo fitras modificador del proceso o atributo	Explicación
Crecimiento de árboles grandes	Frecuencia (+) Intensidad (-) Amplitud (#)	El crecimiento de los árboles maduros es favorecido por la mayor frecuencia de inundaciones debido a que se recarga el suelo con agua y con nutrientes. La duración exagerada de suelo inundado interfiere con la fisiología.
Producción de raíces adventicias	Amplitud (+) Intensidad (+)	La generación de raíces adventicias está asociada a las potamofases de mayor duración e intensidad. Se encuentran en la superficie del agua, hasta 50 cm de profundidad, durante el "pico" de las inundaciones.
Desarrollo de raíces tabulares	Amplitud (+) Tensión (+)	Se desarrollan cuando los árboles crecen en sitios de suelos flojos, sometidos a inundaciones de muy diferente intensidad. Pueden verse en <i>Cecropia pachystachia</i> , <i>Inga verna</i> , <i>Cephalantus glabratus</i> y otras.
Defoliación por parásitos	Amplitud (+) Intensidad (+)	La defoliación, principalmente por orugas ( <i>Oiketicus</i> spp, Psychidae) ocurre masivamente en las inundaciones extraordinarias, en <i>S. humboldtiana</i> y <i>T. integrifolia</i> , al quedar las larvas libres de los predadores edáficos.
Abscisión foliar	Intensidad (#) Amplitud (+)	Es el primer síntoma de stress durante las inundaciones extraordinarias, en la mayoría de los árboles.
Aumento en el número de brinzales	Frecuencia (#) Intensidad (-)	La eccesis de los bancos es controlada fuertemente por la inundación del suelo. Hay poca renovación de los bosques cuando ocurren varias décadas de aguas muy altas, como en el período 1970-2000.
Espesor del mantillo de hojarasca	Frecuencia (-) Intensidad (-)	La acumulación de hojarasca es muy pobre durante las potamofases, debido a que las hojas son llevadas en suspensión, en el agua.
Número de estratos	Intensidad (-) Amplitud (-)	Es controlado por la intensidad y duración de las inundaciones. El suelo queda "desnudo" de plantas al final de una creciente extraordinaria (Neiff <i>et al.</i> , 1985)
Desarrollo de enredaderas envolventes	Intensidad (+) Amplitud (+)	Las enredaderas crecen sobre los árboles cubriéndolos totalmente y terminan por matarlos durante las inundaciones prolongadas
Aparición de "gaps"	Intensidad (+) Tensión (+) Amplitud (+)	La caída de los árboles se produce como consecuencia del ablandamiento del suelo y por efecto del viento y del oleaje durante las inundaciones extraordinarias.
Atenuación de la velocidad del escurrimiento	Intensidad (-) Tensión (+) Amplitud (#)	El efecto barrera de la vegetación se ve favorecido por la diferencia interanual de la magnitud de inundaciones. Es menos manifiesto cuando las inundaciones son poco importantes.

Cambios en la distribución de mastofauna	Frecuencia (+)	La mastofauna tiende a agregarse en las islas y bancos altos cuando las inundaciones son frecuentes. No hay desplazamientos importantes cuando las inundaciones son de igual magnitud y duración en una serie de tiempo.
	Intensidad (-)	
	Estacionalidad (+)	
	Tensión (+)	

**Tabla 1.** Procesos relacionados con la fase de aguas bajas (Limnofase) y con la fase de aguas altas (Potamofase). Tomada de Neiff y Poi de Neiff (2002)

En cada caso particular, el investigador define si qué funciones del sistema que analiza (ej. población de peces) son interferidas o favorecidas por una u otra fase de los pulsos. Una aproximación a este tema fue presentada anteriormente para la biodiversidad de sistemas fluviales por Neiff (2001) y el análisis de la distribución y abundancia de la vegetación según el régimen de pulsos fluviales tiene un ejemplo en el trabajo de Casco (2003).

**El Régimen de pulsos.** El funcionamiento y estructura de los ríos con planicie de inundación están condicionados por pulsos de energía y materiales o pulsos hidrosedimentológicos (Neiff, 1990a).

Las crecientes y las bajantes conforman dos fases complementarias del pulso, que tienen mucha influencia en la estabilidad de los ecosistemas del río (Neiff, 1990a; 1996; 1999). La frecuencia, la intensidad y la duración de ambas fases dependen de la posición topográfica de las islas del río, por lo que, en cada punto de la planicie inundable los efectos de una misma creciente son distintos (Zalocar de Domitrovic, 1993; Neiff, 1996, Casco, 2003).

La dinámica de pulsos puede ser caracterizada por atributos hidrológicos, definidos en la función *f* FITRAS, acrónimo de: Frecuencia, Intensidad, Tensión, Regularidad, Amplitud, Estacionalidad (Neiff, 1990a).

Esos atributos presentan dos dimensiones (Schnack *et al.*, 1995):

- Temporales: que se relacionan con el comportamiento histórico de los atributos espaciales: frecuencia, recurrencia y estacionalidad.

- Espaciales: que determinan los efectos del pulso en la planicie: amplitud, intensidad y tensión.

El régimen pulsátil está constituido por el patrón de variabilidad de esas fases en un determinado tiempo y espacio, conformando un modelo sinusoidal que resulta de introducir en la curva hidrométrica un nivel de referencia o nivel de desborde (Figura 1).

El valor de desborde es aquel registrado en la escala hidrométrica de una ciudad próxima en la cual cuando el agua sobrepasa determinado punto, inunda un punto determinado de la planicie. Las ondulaciones que se hallan por encima de ese valor, son positivas y definen el periodo de inundación o potamofase, durante el cual ocurren flujos horizontales de agua, sedimentos, organismos (*información* en sentido amplio) desde el curso del río hasta la planicie de inundación y, desde ésta hacia el curso del río viceversa.

Los valores ubicados por debajo del nivel de desborde, son considerados negativos, constituyen el período seco o limnofase y se corresponden con la situación de aislamiento de la planicie, durante la cual hay poco menor flujo de información entre ésta y el curso del río (Basterra, 1999). Cada lago de la planicie tiene una microsucesión potencialmente distinta de los demás.

Estas fases varían en sus características de acuerdo al gradiente topográfico y a la posición relativa respecto del/los canal/es de escurrimiento. Cada curso o cuerpo de agua, tiene distinta *conectividad funcional* con el curso principal del río, habiéndose ensayado diversos índices de conectividad (Neiff y Poi de Neiff, 2002).

Los organismos que están condicionados preponderantemente por la fase de inundación o por la fase de sequía, son denominados estrategias de fase, mientras que los que se adecuan a una gama

amplia de condiciones del régimen pulsátil, son conocidos como euritípicos (plásticos) o anfitolerantes (Neiff, 1996).

El patrón del pulso demuestra poseer una tendencia cíclica, con la intervención de variables endógenas y exógenas (Neiff, 1997). Para describir este patrón, se utiliza la función sinusoidal general (Schnack *et al.*, 1995):

$$y = f (a \text{ sen } bx^n)$$

donde:

$y$  = energía mecánica que atraviesa el sistema. Es medida a través de los niveles hidrométricos, caudales y variables asociadas (ej: concentración de sólidos suspendidos o de sólidos disueltos).

$X$  = tiempo.

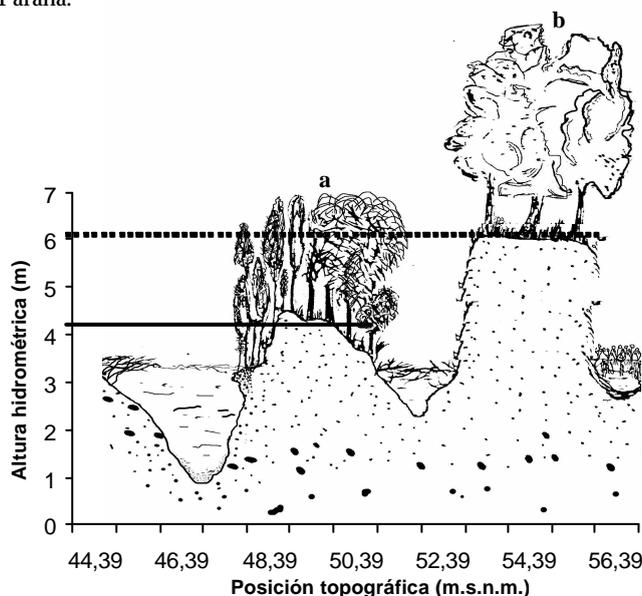
$a, b$  = coeficientes propios de cada macrosistema fluvial o ecorregión, que determina la intensidad (a) y amplitud (b).

$n$  = exponente específico de cada macrosistema que determina la regularidad.

El análisis de los pulsos fluviales se realiza para cada sector de la planicie fluvial, en tanto su posición topográfica determine tiempos distintos de potamofase/limnofase. El análisis de la función  $f$  fitra para los sitios mediante el software PULSO, permite conocer cuantitativamente la influencia de los fenómenos hidrológicos en la distribución y abundancia de los organismos en cada sitio analizado.

## Métodos

Se utilizó el software PULSO (Neiff y Neiff, 2003) para procesar las alturas hidrométricas del río Paraná, en el Puerto de Corrientes, durante el período 1984-2004, estableciéndose como ejemplo, dos niveles de referencia: 4 m (46,39 m.s.n.m.) y 6 m (48,39 m.s.n.m.), correspondientes a los niveles de desborde más frecuentes de bosques fluviales (sauces –Figura 1 a-, o pluriespecíficos-Figura 1 b), en islas del Bajo Paraná.



**Fig. 1.** Perfil esquemático de bosques de sauces y/o alisos (a) y bosques pluriespecíficos (b) con sus respectivos niveles de desborde.

**Utilización de PULSO.** Este programa de computación se obtiene gratuitamente en la página <http://www.neiff.com.ar> y permite procesar una serie de datos temporales, como pueden ser las alturas o caudales del río en una serie de tiempo.

La aplicación de este programa consistió en:

• **PASO UNO: carga de los datos**

Digitalizar la información hidrométrica de cada día, en el puerto más cercano al área de trabajo. Los datos pueden ser cargados en una planilla electrónica, como las que suministra el programa Excel de Microsoft.

• **PASO DOS: filtrado de los datos**

Se realiza para verificar que la información se encuentre en el formato correcto, que no haya fechas repetidas, que los datos estén correctamente ordenados y que no haya errores de sintaxis en la carga de los datos. Para esto se puede utilizar el programa CONVERT (Neiff, 2003) que se puede obtener gratuitamente en: <http://www.neiff.com.ar/Downloads.htm>. Este programa, además de corregir muchos de los posibles errores que pudiese haber en la serie de tiempo, tiene la capacidad de convertir distintos formatos de bases de datos existentes a un formato compatible con PULSO.

• **PASO TRES: uso del programa**

1. Abrir el programa PULSO.
2. Importar el archivo con los datos cargados en dos columnas: Fecha e Hidrómetro, ya filtrada.

• **PASO CUATRO**

Seleccionar la hoja donde se tienen cargados los datos. Colocar los niveles de desborde correspondientes y el intervalo de fechas a analizar. Repite el proceso de análisis por cada una de las situaciones analizadas en el ejemplo (4 m y 6 m) para la misma serie de datos ingresada. Para lograr esto se pueden abrir dos documentos de Pulso, utilizando la misma serie de tiempo, o bien, repetir el proceso para ambos casos.

• **PASO CINCO**

Dentro del menú *Herramientas* se seleccionan las opciones estadísticas que permitirán obtener los atributos de los pulsos: frecuencia, intensidad, tensión, recurrencia, amplitud y estacionalidad (tildar todas, o algunas, según el interés del estudio). En caso de tener valores acotados y que se plantease la necesidad de trabajar con valores referidos al nivel del mar, marcar la opción de "cota" y especificar el valor de la misma. Lo que lograremos es la adición de nuestro valor de cota a todos los valores de la serie de tiempo. Lo que conseguimos es representar los valores en función del mar.

Entre las opciones se encuentra "Estadística Pulso a Pulso", que estudiará los valores estadísticos de la variable en cada uno de los pulsos, o de lo que definamos por unidad de pulso, en el cuadro "Definición de Pulso". Así, si nosotros definimos el pulso como Limnofase y Potamofase, el programa procesará separadamente ambas y nos dará la estadística de cada una de ellas por separado.

Si tildamos la opción "Tomar solamente Pulsos completos", estaremos descartando los extremos de la serie de tiempo hasta llegar al nivel de referencia (o de desborde). Resulta útil para aumentar la precisión al cuantificar el número de pulsos de la serie de tiempo considerada, con

lo cual una serie de tiempo como la que se observa en la Figura 5 a, quedaría como la que aparece en el Figura 2 b.

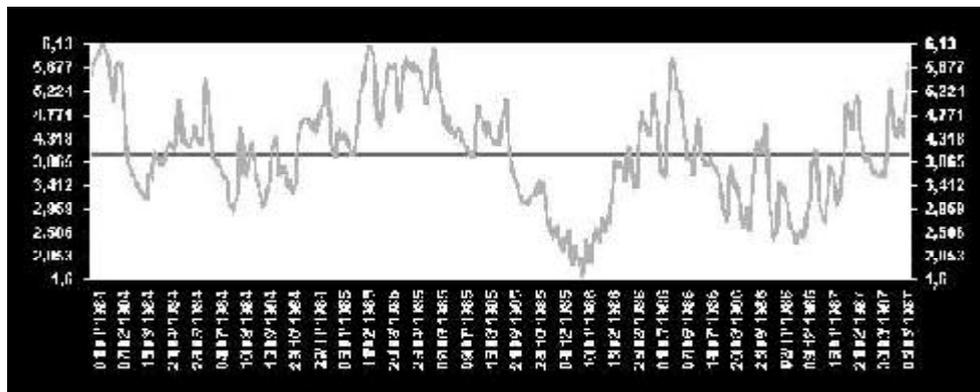


Fig. 2. a. Representación gráfica de pulsos incompletos en la serie de tiempo: 01/01/84-20/05/87

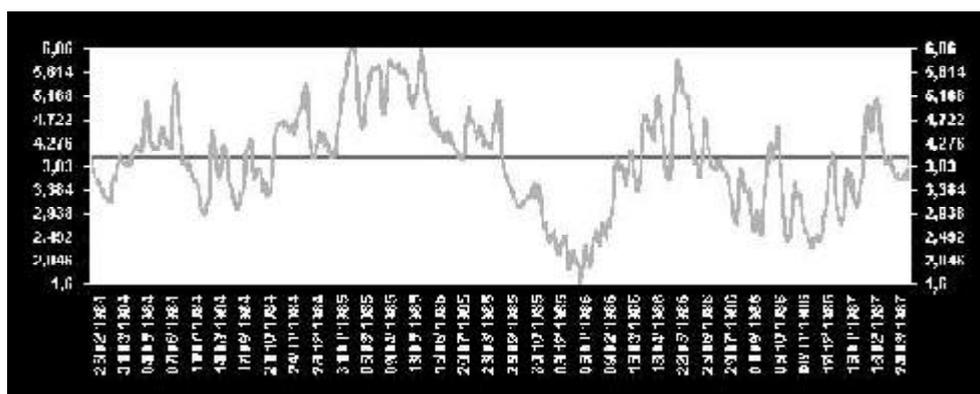


Fig. 2. b. Cuantificación de los pulsos completos en la serie de tiempo: 26/02/84-16/04/87

- **PASO SEIS : *procesar serie*, en la barra de menú.**

Se procesa la serie, obteniéndose los hidrogramas correspondientes a cada nivel de desborde, que aparecen marcados con la línea de referencia asignada en el ejemplo de la Figura 1.

- **PASO SIETE: *Opciones Gráficas Barra de Menú -> Gráfico -> Opciones***

Aquí podemos personalizar el gráfico hecho por PULSO según las necesidades de formato de nuestro informe. Tenemos la posibilidad de cambiar el título, el tipo de línea, el color, el color de fondo y las leyendas.

- **PASO OCHO: *Guardar. Barra de Menú -> Archivo -> Guardar como***

Una vez seleccionado el nombre del archivo que se va a guardar, aparecerá un cuadro con las opciones a guardar. Cada una de esas casillas de verificación se corresponden con los gráficos de las Figuras 3, 4 y 5.

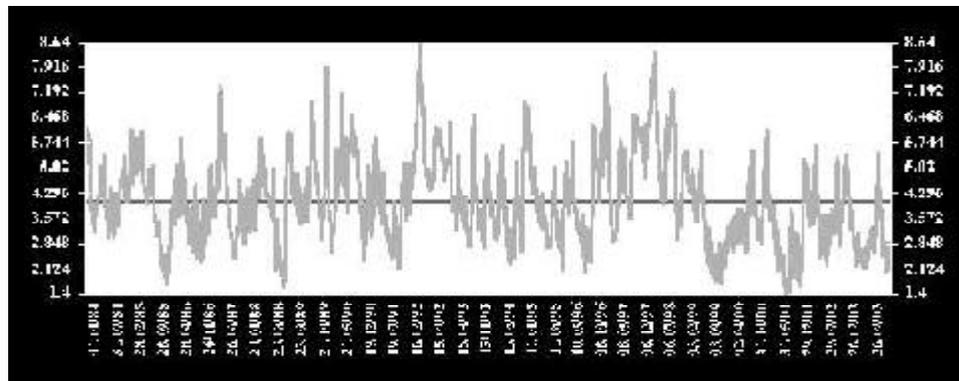


Fig. 3. Gráfico general de la serie hidrológica considerada.

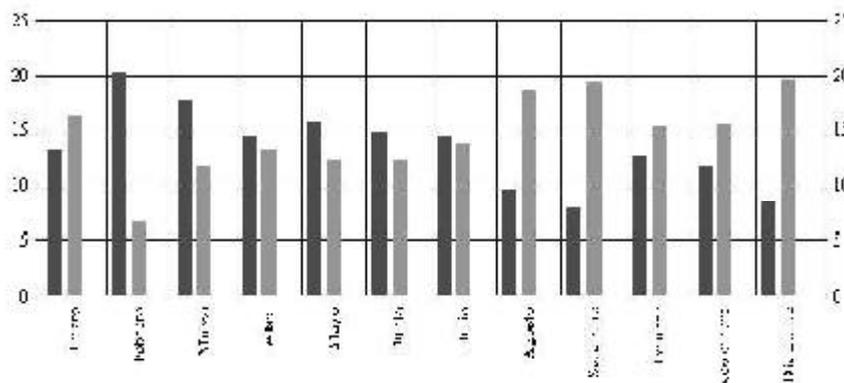


Fig. 4. Histograma de frecuencias de la serie hidrológica considerada.

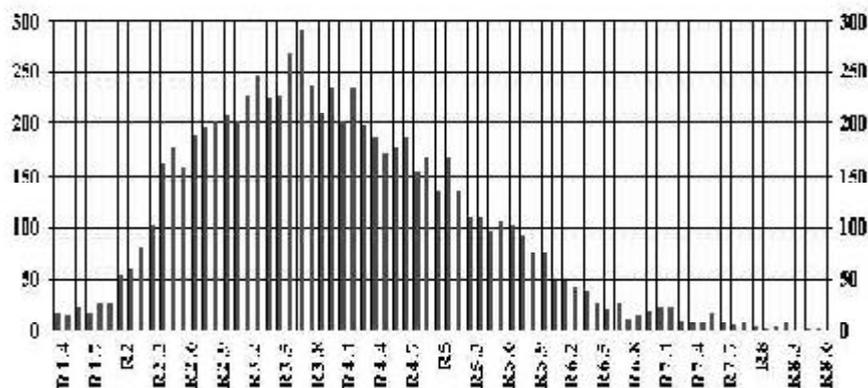


Fig. 5. Gráfico de dispersión de la serie hidrológica considerada.

También se pueden guardar todos los resultados obtenidos. En la hoja 1 están desarrollados todos los pulsos de la serie, en la hoja 2 la estacionalidad de cada fase del pulso y en la hoja 3 los resultados de las opciones estadísticas.

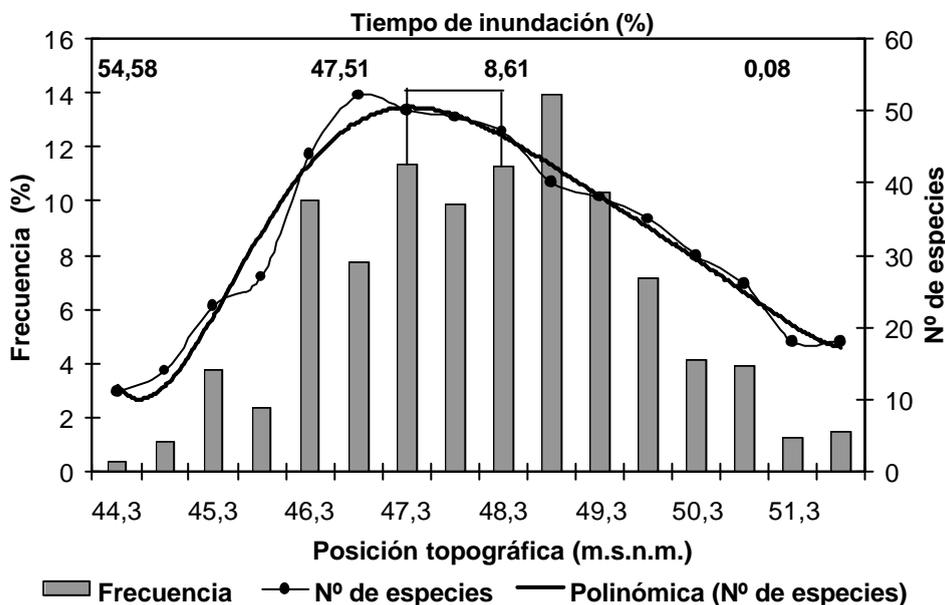
Para trabajar con datos de caudal, es decir, cantidad de agua que pasa por una sección determinada, existen dos opciones:

**Directa:** se procede como en el PASO UNO, cargando la información en unidades de metros cúbicos por segundo, en la columna "Hidrómetro".

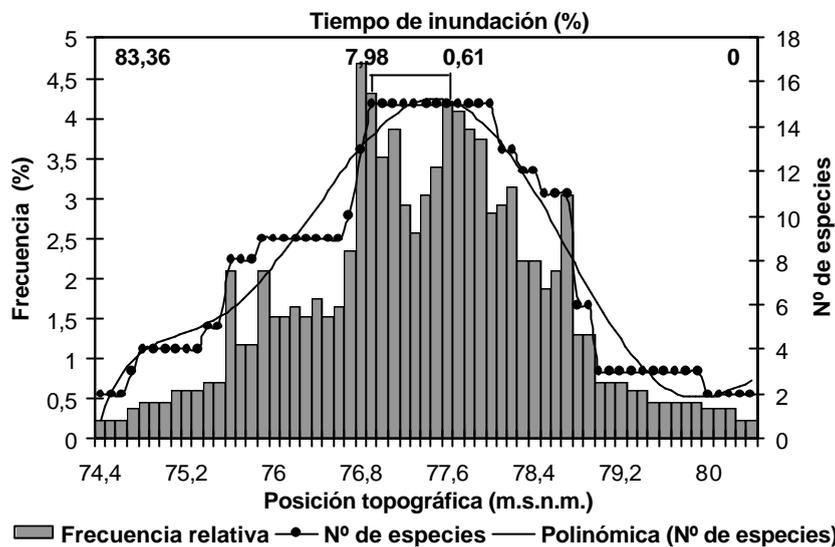
**Estimada:** cuando solamente se dispone de datos aislados de caudal, se debe efectuar una correlación entre los datos de caudal (Q) y las alturas hidrométricas (h) que corresponden al momento en que se realizó el aforo de caudal líquido. Se obtiene entonces, la curva  $h/Q$  que es propia de cada sección del río (Linsley *et al.*, 1977).

### Resultados

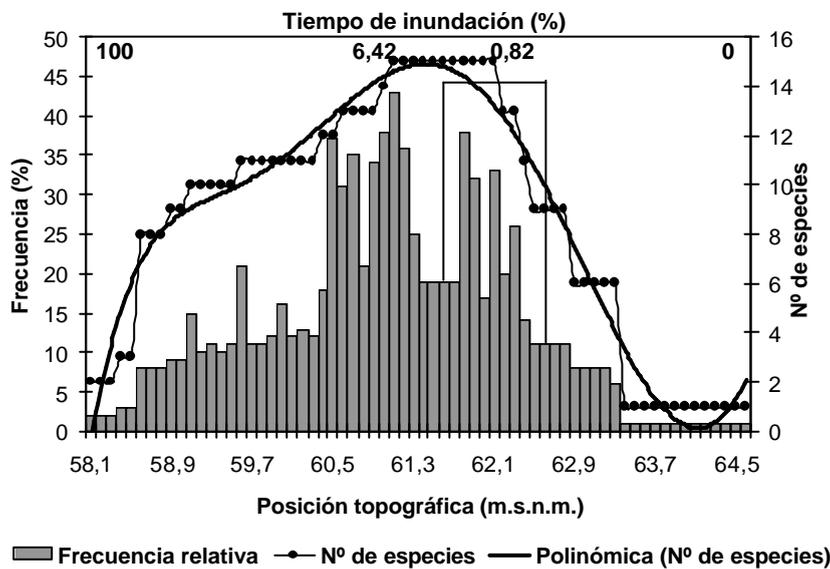
La información sinóptica disponible para el sistema Paraguay-Paraná (Neiff, 2001) da cuenta que el número de especies expectables de la vegetación (Figuras 6, 7 y 8) y de la fauna es alto y que el mayor número de especies se encontró, generalmente, en los bosques inundables y en bañados con pastos cortos y tiernos (Tablas 2 y 3). Entre el 55 y 77% de las plantas vasculares correspondieron a especies de hierbas que crecen en los diferentes tipos de humedales (Tabla 2). De todos los grupos bióticos, las aves fueron las más representadas, encontrándose en los bañados de pastos cortos y tiernos y en los bosques, entre el 30 y 32% de especies, respectivamente. Los reptiles y peces siguieron en orden importancia, registrándose más especies en humedales con pajonales (64) y en la zona litoral de los lagos (59), respectivamente (Tabla 3).



**Fig. 6.** Distribución de frecuencias y número de especies en el Bajo Paraná (Puerto Corrientes). Nivel de desborde del curso fluvial sobre la planicie de inundación. 47,3 m.s.n.m.= barras de formación recientes y 48,3 m.s.n.m.= mayoría de las barras (albardones) más antiguos de la planicie. El 75% de las especies fueron encontradas entre 46 y 50 m.s.n.m., tolerando entre 5976 y 50 días de suelo inundado durante su vida (adaptado de Casco, 2003).



**Fig. 7.** Distribución de frecuencias y número de especies en el Alto Paraná (Puerto Posadas). Niveles de desborde de la planicie de inundación: 76,8 ms.n.m. y 77,8 m.s.n.m. Entre 76,9 y 78,1 m.s.n.m se encontró el mayor número de especies, tolerando entre 612 y 47 días de suelo inundado.



**Fig. 8.** Distribución de frecuencias y número de especies en el Alto Paraná (Puerto Ituzaingó). Niveles de desborde de la planicie de inundación: 61,9 ms.n.m. y 62,7 m.s.n.m. Entre 61,1 y 62,1 m.s.n.m se encontró el mayor número de especies, tolerando entre 692 y 63 días de suelo inundado.

Tipo de humedal	Humedales con Bosques	Sabanas anegadas con Palmas	Humedales con pajonales	Bañados de pastos cortos y tiernos	Esteros con <i>Typha</i> u otros geófitos	Zona litoral de los lagos
Grupo Biótico Número expectable (*)						
Árboles	61	17	11	5	7	0
Hierbas	312	186	149	307	119	219
Arbustos	72	88	19	12	6	11
Geófitos	5	23	27	69	84	52
Número total de especies de plantas vasculares	450	314	206	405	216	282

Tomado de: Neiff (2001)

**Tabla 2.** Riqueza específica potencial (\*) de plantas vasculares en humedales del sistema fluvial Paraguay – Paraná. El número de especies de cada columna fue compilado de distintos autores, para diferentes años y épocas de colecta. Cada especie puede estar incluida en una o más columnas.

(\*) Riqueza específica potencial = total de especies resultante de sumar las mencionadas por distintos autores en una secuencia histórica.

Tipo de humedal	Humedales con Bosques	Sabanas anegadas con Palmas	Humedales con pajonales	Bañados de pastos cortos y tiernos	Esteros con <i>Typha</i> u otros geófitos	Zona litoral de los lagos
Grupo Biótico Número expectable (*)						
Aves	218	107	61	207	32	58
Mamíferos	28	39	51	42	15	22
Reptiles	31	55	64	25	13	19
Anfibios	9	7	13	39	18	43
Peces	21	27	30	42	23	59
Nº total de especies de vertebrados	307	235	219	355	101	201

Tomado de: Neiff (2001)

**Tabla 3.** Riqueza específica potencial de la fauna del sistema fluvial Paraguay-Paraná. El número de especies en las columnas fue compilado de diferentes autores. Cada especie puede estar incluida en una o más columnas.

(\*) Riqueza específica potencial = total de especies resultante de sumar las mencionadas por distintos autores en una secuencia histórica.

En este nivel de análisis no se puede encontrar una relación entre las condiciones hidrológicas y la biodiversidad, debido a que la escala de análisis es muy pequeña. Para esto, se deben analizar sitios que se encuentren en distintas posiciones topográficas en la planicie. En el ejemplo dado (Figura 1), para la presentación de PULSO, el procesamiento permitió obtener los siguientes resultados: En los bosques de sauces y alisos (a) los pulsos fueron más frecuentes y recurrentes que en los pluriespecíficos (b), es decir, se encuentran conectados funcionalmente con el flujo del río mayor número de veces en la serie de tiempo, pero la duración de la fase de conexión es menor (menor amplitud), como indica la Tabla 4.

Para el suelo de estos bosques, el río permaneció en potamofase la mayor parte del tiempo, entre 1987 y 1999, con lo cual el suelo estuvo cubierto de agua durante 3504 días y solamente pudieron existir condiciones favorables para la germinación durante 513 días (Tabla 4). En ese período, la duración de las limnofases fue muy corta como para permitir que los árboles alcancen la altura necesaria para no quedar sepultados por las aguas de la próxima inundación, a pesar que hubiera buena disponibilidad de semillas en las plantas (las limnofases ocurrieron a fines de verano y en otoño, cuando las plantas de sauce se encuentran fértiles).

La intensidad de las limnofases (Tabla 4) indica que los períodos de bajante no fueron muy pronunciados, dado que el nivel del agua estuvo, en promedio, un metro y medio debajo del nivel

del suelo en estos períodos. Hasta esa profundidad llegan habitualmente las raíces de absorción, lo que no permite suponer condiciones de estrés hídrico por deficiencia de agua en el suelo.

Durante el período analizado, el agua nunca alcanzó más de 2,60 m sobre el suelo, lo que permite conocer que los árboles grandes nunca tuvieron sus copas bajo el agua, lo que los habilita a translocar oxígeno hasta las raíces (Neiff, 2004) y justifica su permanencia en ambos sitios. También justifica la escasa cobertura y densidad del sotobosque durante el período 1987-1999, debido a que los estratos bajos de la vegetación, fueron alcanzados por el agua durante gran parte del tiempo.

	<b>a</b>	<b>b</b>
<b>Frecuencia</b>	100	27
<b>Intensidad máxima</b>	8,64	8,64
<b>Intensidad mínima</b>	1,4	1,54
<b>Tensión máxima</b>	40,43	35,90
<b>Tensión mínima</b>	44,73	40,33
<b>Recurrencia</b>	52	9
<b>Amplitud</b>	72,55	200,41
<b>Estacionalidad potamofase</b>	ene-jul	feb, may
<b>Estacionalidad limnofase</b>	ago-dic	ene, mar-abr, jun-dic
<b>Nº de días en potamofase</b>	3504	513
<b>Nº de días en limnofase</b>	3897	5746

**Tabla 4.** Atributos de los pulsos durante 1984-2004 en los bosques ejemplificados. a) Dominados por sauces y/o alisos. b) Pluriespecies.

## Discusión

El conocimiento de la biodiversidad de los ecosistemas es algo mucho más complejo que una lista de especies de la flora y de la fauna. El conocimiento de la distribución y abundancia de los organismos, permite avanzar en las relaciones que condicionan la complejidad biótica del sistema, su variabilidad temporal y las posibilidades de los organismos para colonizar y mantenerse en un universo siempre cambiante como el de los ríos.

El análisis de la distribución de las especies vegetales en la planicie inundable del río Paraná ha demostrado que la mayor complejidad biótica se encuentra generalmente en islas cuyo suelo se encuentra en el nivel de desborde más frecuente del río, o algo por debajo de él. Un número mucho menor de plantas viven en las islas con inundaciones muy frecuentes y prolongadas o en las islas muy altas, raramente alcanzadas por el agua de las riadas.

Las diferencias de elevación del terreno, determinan diferente concentración de especies. Al mismo tiempo, cambios climáticos que modifiquen el régimen hidrológico, influirán en la biodiversidad de cada sitio de la planicie, al modificar los tiempos de inundación y de suelo seco del sitio. Es decir que la *riqueza específica actual* constituye una configuración muy dinámica que puede ser evaluada conociendo los procesos que son interferidos positiva o negativamente por las fases de los pulsos.

PULSO, puede ser visto como una herramienta que permite analizar cuantitativamente las relaciones entre parámetros de la organización de las colectividades bióticas y la recurrencia, intensidad, duración y estacionalidad de los eventos hidrológicos. Esta línea incipiente de investigación puede ser de utilidad para el análisis de los fenómenos periódicos que condicionan la biodiversidad en sistemas fluctuantes como los ríos.

## Bibliografía

- Basterra, I. 1999. Patrones naturales de variabilidad espacio-temporal del paisaje fluvial de una sección del Bajo Paraná, como base para la gestión de su manejo hídrico. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental y Ecología. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina. 94 p.
- Beltzer, A. y Neiff, J.J. 1992. Distribución de las aves en el valle del río Paraná. Relación con el régimen pulsátil y la vegetación. *Ambiente Subtropical* 2: 77-102.
- Bravo, P.S., Kowalewski, M.M. y Zunino, G.E. 1995. Dispersión y germinación de semillas de *Ficus monckii* por el mono aullador negro (*Alouatta caraya*). *Bol. Primatol. Latinoamer.* 5: 25-27.
- 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. Corrientes, Argentina. 127 p.
- Junk, W.J., Bayley, P. y Sparks, R.E. 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems: En: Dodge, D.P. (Ed.). *Proc. of the Internat. Large River. Symp. Canad. Spec. Publ. Fish Aquatic. Sci.* (Lugar Canadá), 101-127.
- Linsley, R.K.; Kohler, M. A., Paulus, J.L. 1977. *Hidrología para Ingenieros*. Mc Graw Hill Latinoamericana, Bogotá, 386 p.
- Neiff, J.J. 1990a. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia* 15 (6): 424-441.
- Neiff, J.J. 1990b. Aspects of primary productivity in the lower Paraná and Paraguay riverine system. *Acta Limnol. Brasil*, 3: 77-113.
- Neiff, J.J. 1996. Large rivers of South America: toward the new approach. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26: 167-180.
- Neiff, J.J. 1997. Aspectos conceptuales para la evaluación ambiental de tierras húmedas continentales de América del Sur. *Anais VIII Seminar. Regional de Ecol* 8: 1-18.
- Neiff, J.J. 1999. El régimen de pulsos en ríos y grandes humedales de Sudamérica. En: A.I. Malvárez y P. Kandus (Eds.), *Tópicos sobre grandes humedales sudamericanos ORCYT-MAB* (UNESCO), Montevideo, pp 1-49.
- Neiff, J.J. 2001. Diversity in some tropical wetland systems of South America. En: B. Gopal, W. Junk y J. Davis (Eds.), *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*, Vol II. Backhuys Publish., The Netherlands, pp 157-186.
- Neiff, J.J. 2004. Bosques fluviales de la cuenca del Paraná. En: M. F. Arturi, J.L. Frangi y J.F. Goya (Eds.), *Ecología y Manejo de los Bosques de la Argentina* (en prensa), pp 1-27.
- Neiff J.J. y Poi de Neiff, A. 1990. Litterfall, leaf decomposition and litter colonization of *Tessaria integrifolia* (compositae) in the Paraná river floodplain. *Hydrobiología*, 203: 45-52.
- Neiff, J.J. y Poi de Neiff, A. 2002. Connectivity processes as a basis for management of aquatic plants. En: S. Magela Thomaz y L.M. Bini (Eds.), *Ecología e Manejo de Macrófitas Acuáticas* Universidade Estadual de Maringá, Maringá, pp 40-58.
- Neiff, J.J. y Neiff, M. 2003. 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>.
- Neiff, J.J., Reboratti, H.J., Gorleri, M.C. y Basualdo, M. 1985. Impacto de las crecientes extraordinarias sobre los bosques fluviales del Bajo Paraguay. *Bol. Com. Especial Río Bermejo* 4: 13-23.
- Neiff, M. 2003. Convert. <http://www.neiff.com.ar/convert>
- Schnack, J.A., De Francesco, F., Galliari, F., Neiff, J.J., Oldani, N., Schnack, E. y Spinelli, G. 1995. Estudios ambientales regionales para el proyecto de control de inundaciones. Informe final. Minist. del Interior (SUPCE), Buenos Aires. 149 p.
- Zalocar de Domitrovic, Y. 1993. Fitoplancton de una laguna vegetada por *Eichhornia crassipes* en el valle de inundación del río Paraná (Argentina). *Ambiente Subtropical*, 3: 39-67.

