

Importancia ecológica del régimen pulsátil del río Magdalena

Luis Carlos García Lozano¹, Claudia María Cardona Londoño
Fundación Neotrópicos, Medellín

Resumen

El conocimiento de los procesos ecológicos de los grandes ríos, tanto tropicales como holoárticos, está en estado de desarrollo. En la actualidad investigadores en las dos grandes regiones biogeográficas cuestionan el concepto del funcionamiento de los grandes ríos como ecosistemas sensu stricto y proponen esquemas que enfatizan los flujos tierra-río y la variabilidad de los procesos hidrológicos. Este trabajo intenta por una parte, hacer una síntesis de los diferentes enfoques conceptuales que articule los procesos hidrológicos, ecológicos y aún culturales. Por otra parte, propone elementos cuantitativos que permitan establecer comparaciones entre diferentes ríos, tramos y épocas de un mismo río. Finalmente, se compara el Magdalena con los ríos de la cuenca del Plata (Paraná, Paraguay y Uruguay), se establecen hipótesis, con algunos de los datos que las sustentan, sobre las implicaciones ecológicas de sus semejanzas y diferencias.

Introducción

En los dos últimos decenios se ha postulado un cuerpo conceptual y metodológico referido a los grandes ríos, particularmente en Sudamérica, útil para facilitar el entendimiento de sus procesos ecológicos (Sioli, 1975; Hill & Rai, 1982; Amoros, Bravard, Reygrobellet, Pautou & Roux, 1988; Junk, Bayley & Sparks, 1989; Lewis, Weibezahn, Saunders & Hamilton, 1990). Existe en la actualidad consenso en que los grandes ríos no se pueden clasificar como ecosistemas en el sentido clásico, en los cuales los flujos internos de nutrientes, a través de cadenas interconectadas por procesos biológicos, son mucho mayores que los flujos que ingresan y salen del sistema. Por otra parte, la heterogeneidad espacial (anchura variable de una planicie aluvial, diferencias entre las áreas cubiertas por agua durante la sequía y la inundación) y temporal (variabilidad de la escorrentía anual y su distribución mensual, relativa impredecibilidad de las fluctuaciones de nivel en el río y en la planicie, particularmente desde el punto de vista de organismos de longevidad corta -plantas anuales, insectos, peces, anfibios, pequeños reptiles y mamíferos) hacen que el sistema no se pueda enmarcar dentro de esquemas tradicionales.

Para la cuenca amazónica Hill & Rai (1982), sostienen que los cuerpos de agua de las planicies aluviales tropicales y los ríos forman una unidad complementaria en la cual el intercambio de energía de la corriente y la biomasa del lago ocurre todo el año, en una especie de sistema continuo, como consecuencia de su naturaleza léntica-lótica-lótica. Durante el primer período lótico la planicie reciben agua y nutrientes del río y de las interacciones ecosistema terrestre-lago. En el segundo período lótico el nivel del agua comienza a descender y la biomasa del plancton y de macrófitas acuáticas es arrastrada por el río.

Junk et al., también con investigaciones en la Amazonía, (1989) desarrollaron el concepto del pulso de inundación del río, que relaciona condiciones geomorfológicas, climatológicas e hidrológicas y explica la productividad e interacciones de la biota en estos ecosistemas. Los grandes ríos (Negro, Amazonas, Tocantins, etc.) y sus sistemas asociados presentan variaciones estacionales que permiten la distinción de tres períodos limnológicos: estiaje, inundación y descenso de las aguas.

Lewis et al. (1990) formularon el concepto complejo de ecosistemas (conformado por componentes en los que predominan los flujos internos -ecosistemas- enlazados por componentes de transporte) y lo aplicaron al Orinoco: bosques y sabanas sobre suelos diversos y con regímenes de precipitación variables que suministran nutrientes a las planicies aluviales vía el Orinoco y sus tributarios. No hay componente de transporte inverso entre los ríos y los componentes terrestres, pero sí lo hay entre las planicies y los ríos.

¹ lcgarcia@neotropicos.org

Los ríos como un macrosistema fluvial

El término *macrosistema fluvial*, concepto semejante al de complejo de ecosistemas y que integra las ideas anteriores, fue acuñado en Argentina (Neiff, 1990, 1994 y referencias) para entender las interrelaciones entre los ecosistemas de la gran cuenca del Paraná y sus dos grandes arterias el Paraná y el Paraguay. El énfasis está en la dinámica del macrosistema: el continuo temporal y carácter pulsátil de los flujos, la importancia de interacciones entre los elementos bióticos (organismos), abióticos (clima, hidrología y geomorfología) y culturales (asentamientos humanos, esquemas de utilización de recursos...) y la multidireccionalidad de los flujos de transporte-desde y hacia la planicie aluvial y aguas abajo.

Los procesos físicos, químicos, biológicos y ecológicos fluviales siguen un patrón sinusoidal causado por las diferencias temporales en la velocidad y duración del flujo de agua y de materiales transportados (organismos, sólidos disueltos y suspendidos). Cada una de las ondulaciones está compuesta de valores positivos y negativos, respecto de la ordenada. Durante la porción positiva, fase de inundación o *potamofase*, los cuerpos de agua de la planicie (lagunas, paleocauces y meandros abandonados) se interconectan por el flujo del río y reciben de éste materiales y a su vez aportan al agua materia orgánica y minerales del suelo. La porción negativa, fase de sequía o *limnofase*, conlleva el flujo de materiales desde la planicie hacia el río y el aislamiento paulatino de los cuerpos de agua de la planicie y aún su extinción temporal, hasta una nueva fase de inundación. El patrón de variabilidad de estas ondas en una secuencia temporal -en determinado punto y sección del río- conforman el *régimen pulsátil*.

Los regímenes hidrológicos de los grandes ríos (Paraguay, Paraná, Uruguay, Orinoco, Amazonas, Magdalena...) difieren en cuanto a la cantidad y calidad de los materiales en suspensión y en cuanto a la variabilidad intra- e interanual de sus caudales. Los valores típicos de caudal: medias mensuales y los rangos máximos y mínimos (ver figura 1 a. y 1b.) no son suficientes para entender los eventos desarrollados en sus planicies aluviales.

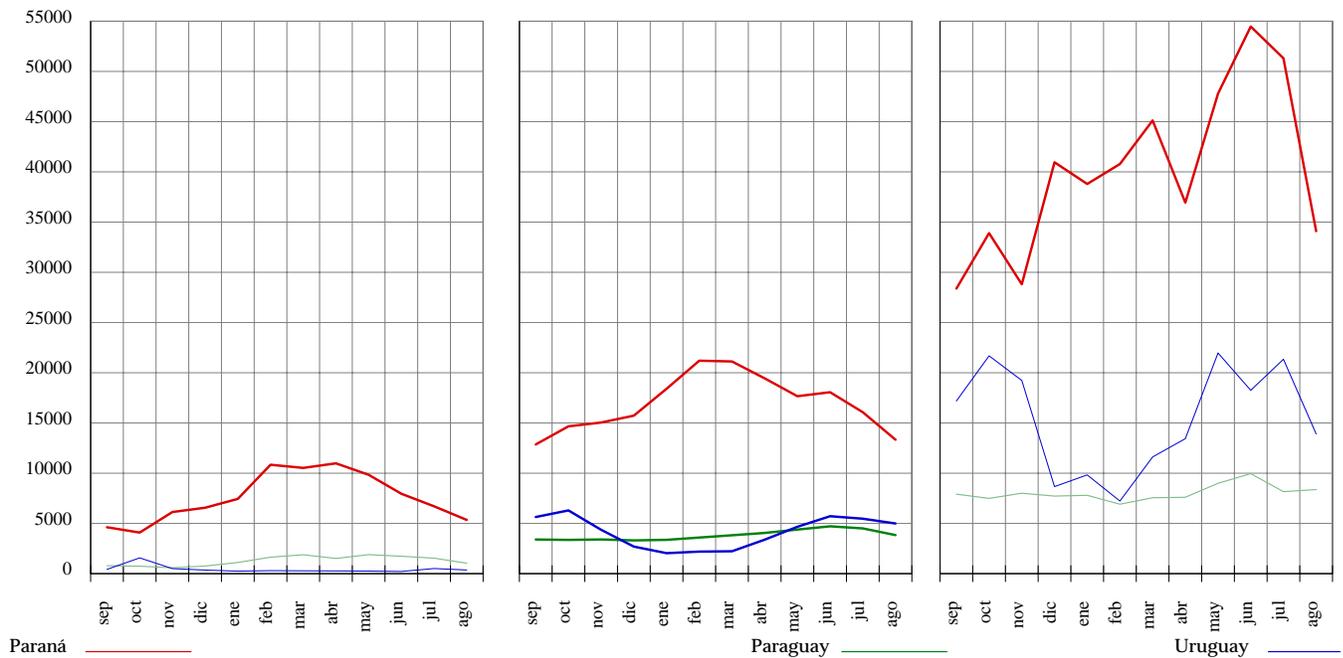


Figura 1a. Comparación de caudales multianuales medios (centro), mínimos (izquierda) y máximos (derecha) de los tres ríos del sistema Par. Río Paraná en Corrientes (1904-1994); río Paraguay en Puerto Bermejo (1911-1994) y Uruguay en Paso de los Libres (1909-1994)

* Fuente: Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables, Buenos Aires, Argentina, datos sin publicar, septiembre de 1

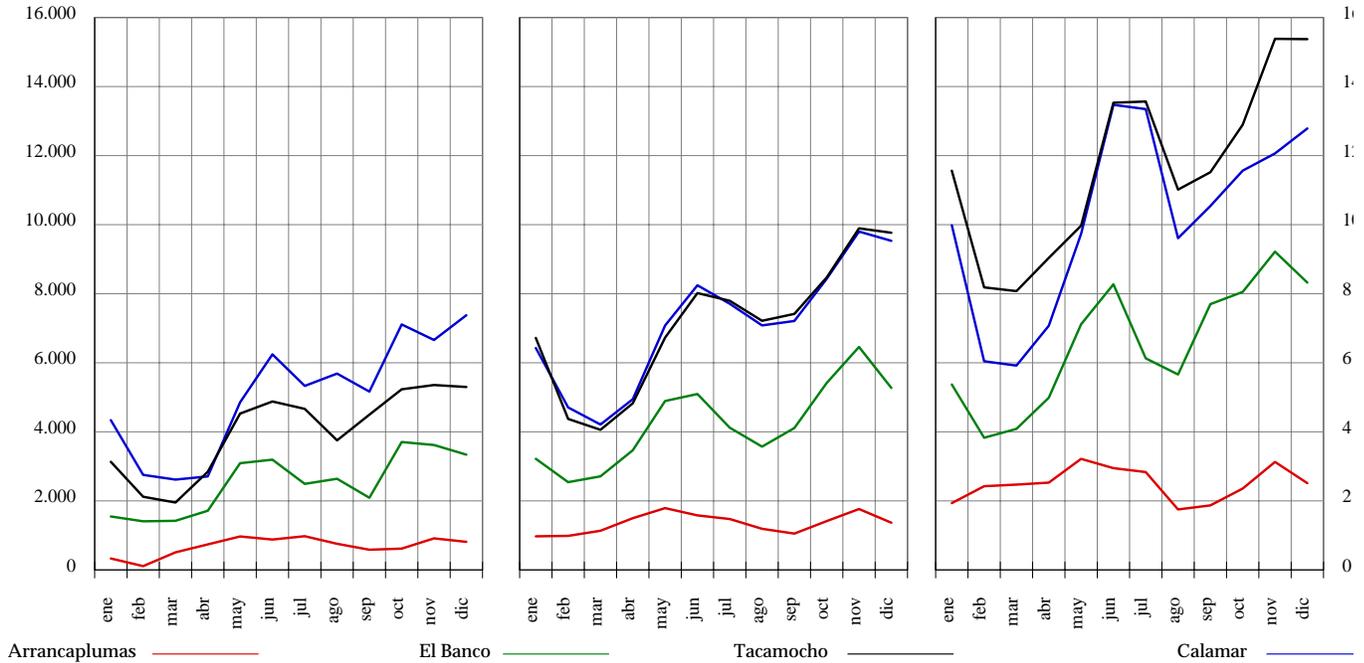


Figura 1b. Comparación de caudales multianuales medios (centro), mínimos (izquierda) y máximos (derecha) del río Magdalena* en Arrancaplumas (1934-1994), antes del inicio de la llanura aluvial; El Banco (1972-1994) y Tacamocho (1976-1994), antes y después de la depresión mosina respectivamente y Calamar (1940-1994), al inicio del delta.

* Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Santafé de Bogotá, datos sin publicar, febrero de 1996

En las planicies aluviales el pulso, comportamiento cíclico e impredecibilidad relativa de caudales, niveles, transporte de sedimentos y nutrientes, etc., determina el funcionamiento e interrelaciones de los hábitats acuáticos –lóticos-lénticos del río, ciénagas, madrevejas y canales de conexión– y de los hábitats terrestres asociados -playones, islas y orillares (García & Dister, 1990; Neiff, 1990). Prácticamente todos los eventos ecológicos en la planicie aluvial están relacionados positiva o negativamente con la amplitud y regularidad del pulso. El transporte, depósito y exposición de sedimentos (Drago, 1990); la colonización, desarrollo y descomposición de vegetación herbácea anual y el desarrollo de vegetación leñosa; el consumo y mineralización de materia orgánica (Moreno, García & Márquez, 1987); la actividad de herbívoros y carnívoros; las migraciones de organismos, v. gr. peces y aves acuáticas, (Neiff, 1990, 1994) y aún la pesca (Kapetsky, et al. 1976 y Arias, 1977, Quirós, 1990) y otras actividades de explotación de recursos (siembras, cosechas, pastoreo, cacería) están afinadas a los pulsos hidrológicos del río (García & Dister, 1990).

La función FITRAS

El patrón cíclico del pulso no es fácil de describir puesto que en él intervienen múltiples variables tanto internas como exógenas. La función sinusoidal general

$$y = f [a \sin bx^n]$$

permite establecer cuales son los parámetros que caracterizan las fases de un pulso, donde:

- y = niveles, caudales y variables asociadas (p.ej., concentraciones de nutrientes o sedimentos)
- x = tiempo
- a, b = coeficientes propios de cada macrosistema fluvial que determinan la intensidad (a) y amplitud (b) n = exponente específico de cada macrosistema que determina la regularidad

Con este propósito Neiff (1990, 1994) definió la función FITRAS: acrónimo de los atributos frecuencia, intensidad, tensión, regularidad, amplitud y estacionalidad de un pulso, estos se representan esquemáticamente en la figura 2.

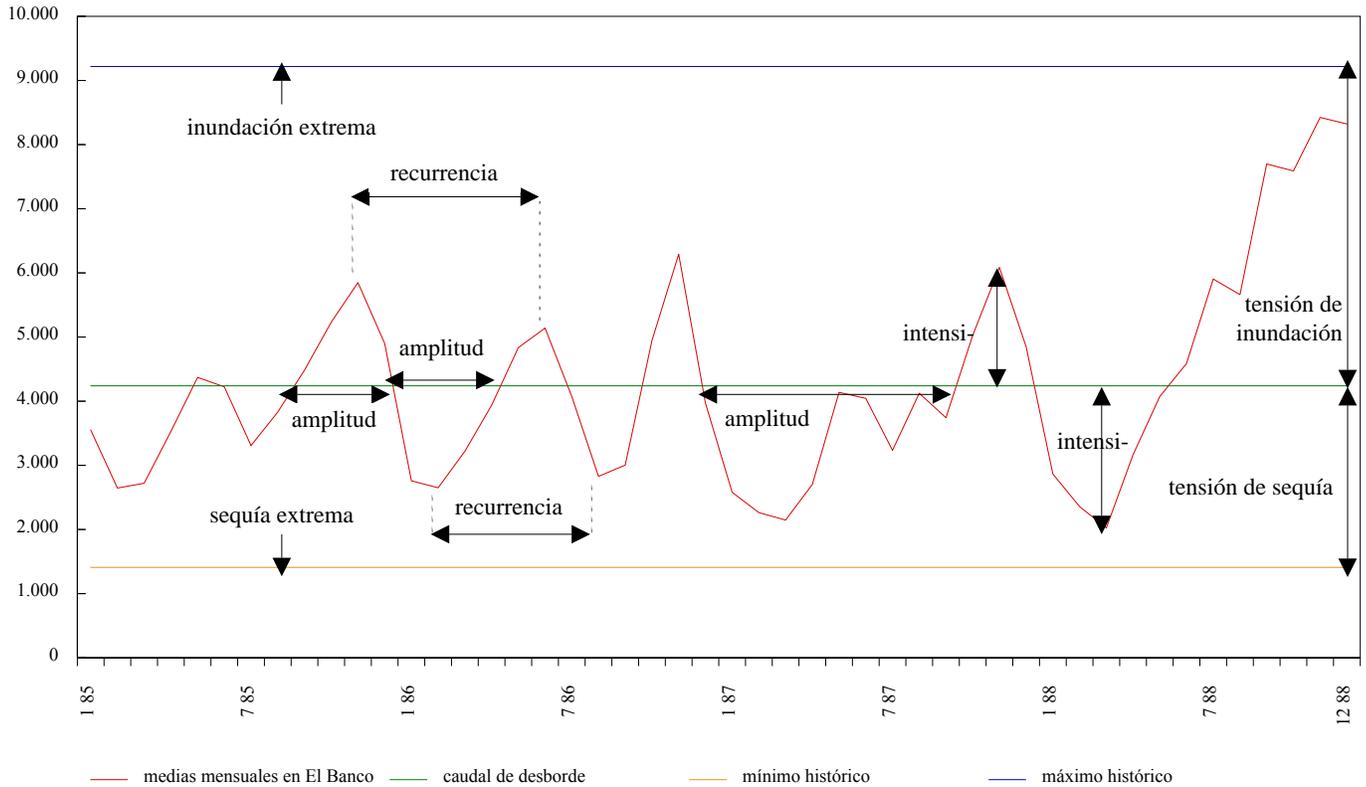


Figura 2. Representación esquemática de los atributos de la función FITRAS, con base en caudales medios mensuales (m³/s) en El Banco, río Magdalena*. Caudal de desborde = caudal medio mensual multianual = 4.240 m³/s. Adaptada de Neiff, 1990 y Neiff et al. 1994.

* Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Santafé de Bogotá, datos sin publicar, febrero de 1996

La *fFITRAS* en si misma, como resultado de la interacción de múltiples factores, es también una variable, i.e., cambia de un punto a otro de un mismo río y de una fecha a otra. Sin embargo en la medida en que los factores que las determinan se mueven entre rangos estadísticos, se pueden tipificar y por tanto comparar puntos o episodios distintos de uno o varios ríos; detectar la influencia de acciones antrópicas (represamiento, canalización de afluentes, obras de riego y drenaje), asociar sus atributos a eventos ecológicos (cambios en productividad, migraciones animales, fenología de eventos reproductivos, etc.) para diseñar esquemas óptimos de manejo de recursos, etc.

La función *fFITRAS* está caracterizada por dos tipos de atributos:

- espaciales (intensidad y tensión) que determinan la magnitud normal y máxima del pulso en la planicie,
- temporales, relacionados con el comportamiento histórico de los atributos espaciales (frecuencia, recurrencia y estacionalidad).

***fFITRAS* típicas del Magdalena y del sistema Paraná**

En la tabla 1. se presentan los atributos de la *fFITRAS* tal como están definidos por Neiff (op. cit.) y los algoritmos sugeridos por este estudio para su medición. Estos se aplicaron al Magdalena y a los tres grandes ríos del sistema Paraná (Paraguay, Paraná y Uruguay) dentro de las condiciones que se explican a continuación:

Tabla 1. Atributos de la función FITRAS

| definición (Neiff: 1990, 1994) | medición (este estudio) | | |
|---|---|------------|------------|
| | algoritmo | límites | |
| | | inferior | superior |
| Frecuencia: número de veces que ocurre un fenómeno determinado dentro de una magnitud de tiempo (ej. inundaciones de 8 m en el hidrómetro de Corrientes a lo largo de un siglo). | <i>sequía:</i> [número de años en período con caudal medio anual < caudal de desborde o caudal medio multianual del período] ÷ longitud del período <i>inundación:</i> [número de años en período con caudal medio anual > caudal de desborde o caudal medio multianual del período] ÷ longitud del período | → 0 | → 1 |
| Intensidad: magnitud alcanzada por una fase de inundación o de sequía. Se mide generalmente por el valor alcanzado en el hidrómetro más próximo, o en términos de caudal de agua. | <i>sequía:</i> 1 - [caudal mínimo medio mensual de años secos ÷ caudal de desborde o medio mensual multianual] <i>inundación:</i> [caudal máximo medio mensual de años húmedos ÷ caudal de desborde o medio mensual multianual] | → 0 → 1 | → 1 → ∞ |
| Tensión: valor de la desviación típica desde las medias máximas o desde las medias mínimas en una curva de fluctuación hidrométrica del río. Se la define también como la envolvente de fluctuación, y permite establecer la variabilidad en la magnitud de los eventos de inundación y sequía. Se expresa generalmente en valores hidrométricos, o en caudal. | tensión = intensidad máxima <i>sequía:</i> 1 - [caudal mínimo mensual histórico ÷ caudal de desborde o medio mensual multianual] <i>inundación:</i> [caudal máximo mensual histórico ÷ caudal de desborde o medio mensual multianual] | → 0 → 1 | → 1 → ∞ |
| Recurrencia: corresponde a la probabilidad estadística de un evento de inundación o sequía de magnitud determinada, dentro de una centuria o de un milenio. Está dada por valores de frecuencia relativa. | <i>sequía:</i> 1 - [probabilidad de excedencia de caudales medios multianuales de años secos] <i>inundación:</i> [probabilidad de excedencia de caudales medios multianuales de años húmedos] | → 0 → 0 | → 1 → 1 |
| Amplitud: también expresada como duración es el segmento de tiempo que permanece el río en una fase de inundación o sequía de determinada magnitud. | <i>sequía:</i> [número de meses continuos con caudal medio mensual < caudal de desborde o caudal medio multianual] ÷ 12 <i>inundación:</i> [número de meses continuos con caudal medio mensual > caudal de desborde o caudal medio multianual] ÷ 12 | → 0 → 0 | → 1 → 1 |
| Estacionalidad: se refiere a la frecuencia estacional en que ocurren las fases de sequías o inundaciones. Los organismos, excepto el hombre, tienen ajustes de sus ciclos de vida (fertilidad, reproducción, crecimiento) a la época en que ocurren los eventos hidrológicos. | <i>sequía e inundación:</i> basada en concepto de <i>regularidad temporal</i> , (Obrdlik & García Lozano, 1992) $S = 1 - [R_{real} ÷ R_{max}]$ $R_{real} = -\sum p_i \log p_i$ donde: S = estacionalidad R _{real} = regularidad temporal medida R _{max} = log [longitud de serie en años] p _i = [número de veces en período que evento tiene valor extremo en mes i-ésimo] ÷ período | → 0 | → 1 |

1. Los caudales (volúmenes de agua por unidad de tiempo) están correlacionados con los niveles hidrométricos en un punto determinado, pero la relación no es lineal, depende de las características geométricas y físicas del canal. Para el cálculo de la amplitud, en particular de los eventos de inundación, y para el efecto de ciertas extrapolaciones ecológicas en ambientes terrestres, sería preferible estimar los parámetros de *f*FITRAS con base en niveles hidrométricos; aunque los caudales disminuyan, los niveles en la planicie pueden permanecer altos, así que los caudales siempre estarán subestimando la duración de los eventos de inundación. Sin embargo, no se cuenta con información de niveles ni con las curvas de correlación, por tanto los cálculos se realizaron con base en caudales. Esta deficiencia también limita las comparaciones espaciales (de un río con otro y de tramps diferentes de un mismo río) en atención a las diferencias en los canales.

2. Se seleccionaron las estaciones hidrológicas de Corrientes (río Paraná), Puerto Bermejo (río Paraguay) y Paso de los Libres (río Uruguay) por contar con períodos de registro de caudales relativamente largos (> 80 años) y estar ubicadas aproximadamente a la misma altitud. Paso de los Libres (aguas arriba de la represa Salto Grande) no es una estación propia de llanura aluvial; aunque no se cuenta con datos adecuados en otras estaciones en el río Uruguay, los datos de ésta se consideran representativos de la situación en la planicie baja del río. Para el Magdalena se seleccionaron cuatro estaciones; Arrancaplumas un poco aguas arriba del inicio de la planicie aluvial del río y tres en la planicie aluvial misma (El Banco, antes de la depresión momposina, Tacamocho a la salida de ésta y Calamar donde se inicia el delta). Ninguna estación en el Magdalena cuenta con registros tan largos como los del sistema del Plata; Arrancaplumas y Calamar, las más antiguas, apenas superan los 60 años. El Banco y Tacamocho tienen registros inferiores a 25 años.

3. Para un mismo río las dos fases del pulso (limnofase y potamofase) difieren en varios de los atributos, por tanto se estimaron para cada río las *f*FITRAS de años secos (predominantemente de limnofase) y de años húmedos (predominantemente de potamofase).

4. La mejor diferenciación entre años secos y húmedos se establece con caudal (o nivel) de desborde del río hacia la planicie, pero este dato sólo se tiene para la estación de Corrientes (río Paraná). La diferenciación de las dos fases se estableció con base en los caudales medios, ligeramente inferiores a los de desborde. En una planicie los intercambios de agua río-planicie pueden ocurrir en los dos sentidos, a cualquier nivel, dependiendo de la altura relativa entre las dos láminas de agua. Sin embargo, los caudales específicos (volúmenes por unidad de tiempo y de área de escurrimiento) en los tramos con planicie aluvial de los ríos del sistema Paraná son mucho menores que los de las cuencas altas, de tal manera que los intercambios serán predominantemente en aguas altas, del río a la planicie y viceversa en aguas bajas. Este no es el caso del Magdalena, en el cual el tramo medio (entre las estaciones Arrancaplumas y El Banco) tiene un caudal específico mayor que la cuenca alta, así que los intercambios río-planicie pueden ocurrir en cualquier dirección y en cualquier época.

5. Análisis hidrológicos realizados para un proyecto de protección contra las inundaciones en la parte argentina de los ríos de la cuenca del Plata han coincidido en distinguir dos épocas en el presente siglo, la primera hasta ca. 1960, con inundaciones poco frecuentes y sequías prolongadas y la segunda, posterior a dicha fecha, con eventos de inundación más prolongados, intensos y frecuentes. Aunque son varias las posibles causas de estas diferencias un factor importante es la frecuencia e intensidad de fenómenos de El Niño, los cuales también se supone afectan el comportamiento de las lluvias en la cuenca del Magdalena. Por esta razón se calcularon *fFITRAS* para cada río en los dos períodos.

Es posible analizar el conjunto de datos dentro de una escala temporal diferente, esto es, considerar la recurrencia, amplitud e intensidad de macro-pulsos alternos de quinquenios o decenios secos y húmedos; sin embargo los datos no parecen ser suficientes para este análisis.

6. La regularidad temporal (Obrdlik & García Lozano, 1992) hace referencia a la probabilidad de que un evento ocurra en cualquier mes, su complemento es la estacionalidad, i.e., la probabilidad de que el evento esté restringido a un mes particular. En el caso de *fFITRAS* se tomó como evento la ocurrencia en un mes dado de valores extremos (sequía o inundación).

La tabla 2. lista los parámetros hidrológicos requeridos para el cálculo de las *fFITRAS* típicas de las dos fases del pulso hidrológico (limnofase y potamofase) de los ríos Magdalena, Paraguay, Paraná y Uruguay, para tres épocas (todo el período de registros, antes y después de 1960).

Tabla 2. Parámetros hidrológicos * del río Magdalena requeridos para evaluar la función FITRAS

* Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Santafé de Bogotá, datos sin publicar, febrero de 1996

| | | | | | | | | |
|----------------------|--------------|--------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| río Magdalena | | período | 1934 | 1994 | 1934 | 1960 | 1961 | 1994 |
| localidad | Arrancapumas | tipo de año | seco | húmedo | seco | húmedo | seco | húmedo |
| latitud | 05°11' N | media de promedios anuales | 1.226 | 1.710 | 1.244 | 1.795 | 1.214 | 1.600 |
| longitud | 74°43' O | número de años en período | 45 | 16 | 18 | 9 | 27 | 7 |
| altitud | 830 msnm | desviación | 142 | 174 | 163 | 188 | 128 | 64 |
| | | probabilidad de duración de caudales | 0,65 | 0,11 | 0,63 | 0,07 | 0,70 | 0,22 |
| | | promedio anual mínimo | 876 | 1.469 | 926 | 1.526 | 876 | 1.469 |
| | | promedio anual máximo | 1.453 | 2.127 | 1.453 | 2.127 | 1.398 | 1.664 |
| desborde m³/s | 1.453 | mínima mensual | 111 | | 111 | | 429 | |
| | | máxima mensual | | 3.217 | | 3.217 | | 2.609 |
| | | longitud de serie | 61 | 61 | 27 | 27 | 34 | 34 |
| | | R real | 0,62 | 0,60 | 0,47 | 0,47 | 0,69 | 0,66 |
| | | R max | 1,79 | 1,79 | 1,43 | 1,43 | 1,53 | 1,53 |
| | | sequía media: meses | 4,54 | | 4,19 | | 4,82 | |
| | | sequía máxima | 12 | | 12 | | 12 | |
| | | inundación media | | 2,95 | | 2,71 | | 2,74 |
| | | inundación máxima | | 7 | | 7 | | 7 |
| río Magdalena | | período | 1972 | 1994 | | | | |
| localidad | El Banco | tipo de año | seco | húmedo | | | | |
| latitud | 09°00' N | media de promedios anuales | 3.737 | 4.893 | | | | |
| longitud | 73°58' O | número de años en período | 13 | 10 | | | | |
| altitud | 24 msnm | desviación | 350 | 313 | | | | |
| | | probabilidad de duración de caudales | 0,75 | 0,24 | | | | |
| | | promedio anual mínimo | 2.828 | 4.471 | | | | |
| | | promedio anual máximo | 4.054 | 5.359 | | | | |
| desborde m³/s | 4.240 | mínima mensual | 1.409 | | | | | |
| | | máxima mensual | | 9.218 | | | | |
| | | longitud de serie | 23 | 23 | | | | |
| | | R real | 0,34 | 0,44 | | | | |
| | | R max | 1,36 | 1,36 | | | | |
| | | sequía media: meses | 4,52 | | | | | |
| | | sequía máxima | 11 | | | | | |
| | | inundación media | | 3,83 | | | | |
| | | inundación máxima | | 8 | | | | |
| río Magdalena | | período | 1976 | 1994 | | | | |
| localidad | Tacamocho | tipo de año | seco | húmedo | | | | |
| latitud | 09°29' N | media de promedios anuales | 6.450 | 7.854 | | | | |
| longitud | 74°48' O | número de años en período | 10 | 9 | | | | |
| altitud | 14 msnm | desviación | 467 | 521 | | | | |
| | | probabilidad de duración de caudales | 0,83 | 0,23 | | | | |
| | | promedio anual mínimo | 5.558 | 7.159 | | | | |
| | | promedio anual máximo | 7.038 | 8.855 | | | | |
| desborde m³/s | 7.115 | mínima mensual | 2.617 | | | | | |
| | | máxima mensual | | 13.470 | | | | |
| | | longitud de serie | 19 | 19 | | | | |
| | | R real | 0,37 | 0,43 | | | | |
| | | R max | 1,28 | 1,28 | | | | |
| | | sequía media: meses | 5,16 | | | | | |
| | | sequía máxima | 11 | | | | | |
| | | inundación media | | 4,37 | | | | |
| | | inundación máxima | | 8 | | | | |
| río Magdalena | | período | 1940 | 1994 | 1940 | 1960 | 1961 | 1994 |
| localidad | Calamar | tipo de año | seco | húmedo | seco | húmedo | seco | húmedo |
| latitud | 10°15' N | media de promedios anuales | 5.826 | 7.783 | 5.766 | 7.730 | 5.957 | 7.816 |
| longitud | 74°55' O | número de años en período | 19 | 36 | 13 | 14 | 6 | 22 |
| altitud | 8 msnm | desviación | 552 | 830 | 573 | 723 | 529 | 906 |
| | | probabilidad de duración de caudales | 0,82 | 0,24 | 0,84 | 0,27 | 0,79 | 0,24 |
| | | promedio anual mínimo | 4.670 | 6.785 | 4.670 | 6.996 | 5.044 | 6.785 |
| | | promedio anual máximo | 6.575 | 9.988 | 6.575 | 9.011 | 6.496 | 9.988 |
| desborde m³/s | 6.598 | mínima mensual | 1.953 | | 2.138 | | 1.953 | |
| | | máxima mensual | | 15.382 | | 11.606 | | 15.382 |
| | | longitud de serie | 55 | 55 | 27 | 27 | 28 | 28 |
| | | R real | 0,36 | 0,59 | 0,30 | 0,44 | 0,37 | 0,39 |

Los resultados de la tabla 3. muestran claras diferencias en las f FITRAS de los cuatro ríos y entre las fases de sequía e inundación de cada uno.

Tabla 3. Valores de los atributos de la función FITRAS¹ para sequía (limnofase) e inundación (potamofase) calculados con base en caudales medios en cuatro estaciones del río Magdalena y en los ríos Paraguay y Uruguay y con base en caudal de desborde en el río Paraná

| río/localidad | período | frecuencia | intensidad | tensión | recurrencia | amplitud | estacionalidad |
|----------------------------------|-----------|------------|------------|---------|-------------|----------|----------------|
| pulso de sequía (limnofase) | | | | | | | |
| Magdalena/Arrancaplumas | 1934-1994 | 0,74 | 0,87 | 0,92 | 0,35 | 0,38 | 0,65 |
| | 1934-1960 | 0,67 | 0,88 | 0,92 | 0,37 | 0,35 | 0,67 |
| | 1961-1994 | 0,79 | 0,51 | 0,70 | 0,30 | 0,40 | 0,55 |
| Magdalena/El Banco | 1972-1994 | 0,57 | 0,50 | 0,67 | 0,25 | 0,38 | 0,75 |
| Magdalena/Tacamocho | 1976-1994 | 0,53 | 0,53 | 0,63 | 0,17 | 0,43 | 0,71 |
| Magdalena/Calamar | 1940-1994 | 0,35 | 0,58 | 0,70 | 0,18 | 0,38 | 0,79 |
| | 1940-1960 | 0,48 | 0,54 | 0,68 | 0,16 | 0,42 | 0,79 |
| | 1961-1994 | 0,21 | 0,61 | 0,70 | 0,21 | 0,34 | 0,74 |
| Paraná/Corrientes | 1904-1994 | 0,77 | 0,45 | 0,79 | 0,45 | 0,51 | 0,59 |
| | 1904-1960 | 0,84 | 0,44 | 0,79 | 0,32 | 0,52 | 0,61 |
| | 1961-1994 | 0,65 | 0,45 | 0,68 | 0,40 | 0,49 | 0,48 |
| Paraguay/Puerto Bermejo | 1911-1994 | 0,51 | 0,56 | 0,85 | 0,32 | 0,46 | 0,53 |
| | 1911-1960 | 0,62 | 0,50 | 0,85 | 0,30 | 0,52 | 0,51 |
| | 1961-1994 | 0,35 | 0,56 | 0,78 | 0,38 | 0,35 | 0,39 |
| Uruguay/Paso de los Libres | 1909-1994 | 0,52 | 0,85 | 0,95 | 0,50 | 0,42 | 0,58 |
| | 1909-1960 | 0,62 | 0,85 | 0,95 | 0,45 | 0,43 | 0,52 |
| | 1961-1994 | 0,38 | 0,57 | 0,90 | 0,49 | 0,40 | 0,48 |
| pulso de inundación (potamofase) | | | | | | | |
| Magdalena/Arrancaplumas | 1934-1994 | 0,26 | 1,51 | 2,21 | 0,11 | 0,25 | 0,67 |
| | 1934-1960 | 0,15 | 1,51 | 2,21 | 0,07 | 0,23 | 0,67 |
| | 1961-1994 | 0,21 | 1,57 | 1,80 | 0,22 | 0,23 | 0,57 |
| Magdalena/El Banco | 1972-1994 | 0,43 | 1,72 | 2,17 | 0,24 | 0,32 | 0,68 |
| Magdalena/Tacamocho | 1976-1994 | 0,47 | 1,52 | 1,89 | 0,23 | 0,36 | 0,66 |
| Magdalena/Calamar | 1940-1994 | 0,65 | 1,54 | 2,33 | 0,24 | 0,44 | 0,66 |
| | 1940-1960 | 0,52 | 1,29 | 1,76 | 0,27 | 0,44 | 0,69 |
| | 1961-1994 | 0,79 | 1,54 | 2,33 | 0,24 | 0,44 | 0,73 |
| Paraná/Corrientes | 1904-1994 | 0,23 | 1,95 | 2,81 | 0,19 | 0,26 | 0,54 |
| | 1904-1960 | 0,16 | 1,31 | 2,08 | 0,31 | 0,24 | 0,51 |
| | 1961-1994 | 0,35 | 1,95 | 2,81 | 0,21 | 0,28 | 0,40 |
| Paraguay/Puerto Bermejo | 1911-1994 | 0,49 | 2,05 | 2,61 | 0,27 | 0,38 | 0,49 |
| | 1911-1960 | 0,38 | 1,60 | 2,03 | 0,31 | 0,32 | 0,48 |
| | 1961-1994 | 0,65 | 2,05 | 2,61 | 0,20 | 0,49 | 0,39 |
| Uruguay/Paso de los Libres | 1909-1994 | 0,48 | 2,10 | 5,31 | 0,31 | 0,33 | 0,51 |
| | 1909-1960 | 0,38 | 1,80 | 5,31 | 0,32 | 0,31 | 0,48 |
| | 1961-1994 | 0,62 | 2,10 | 5,16 | 0,25 | 0,37 | 0,45 |

En el Paraná, las sequías son más frecuentes, tienden a ocurrir en la misma época del año, así sucedió en especial en el período 1904-1960, y duran más que en los otros dos ríos, pero son menos intensas.

Por el contrario, en el río Uruguay la frecuencia, recurrencia y duración de los eventos secos es menor pero sus intensidades son mayores, cercanas al extremo histórico.

El río Paraguay, como reflejo del efecto regulador del Pantanal presenta sequías moderadas con recurrencias muy bajas. Las fases de inundación son más frecuentes en el período 1961-1994 en los tres ríos que en el período anterior a 1960; aunque en el Paraná en este período predominaron las fases de sequía. También para los tres ríos las intensidades de potamofase son mayores que las de limnofase, especialmente en el Uruguay. El Paraguay, de nuevo, es moderado en este aspecto.

Los eventos de sequía e inundación tienden a ser poco estacionales, i.e., se pueden presentar en cualquier mes, en especial las inundaciones.

En síntesis, una caracterización de las *fFITRAS*, permite definir los ríos así:

Paraguay: Eventos de sequía e inundación moderados (intensidades medias, cercanas a las las tensiones, en particular las de inundación), aproximadamente iguales en frecuencia (con predominio de las inundaciones en el período reciente), duración baja de ambos eventos y recurrencias bajas.

Paraná: Con la planicie más desarrollada de los tres ríos, muestra una predominancia de las sequías, con intensidad y tensiones bajas y de una duración cercana a los seis meses. Sus inundaciones son poco frecuentes, pero intensas, pueden ocurrir en cualquier mes y de acuerdo con los caudales, son de corta duración, alrededor de tres meses.

Uruguay: Presenta los mayores contrastes entre las dos fases. Sequías e inundaciones frecuentes, intensas, de duración media (4 a 5 meses) y recurrentes.

¿Cuáles son las implicaciones de la variabilidad de los atributos de *fFITRAS* sobre las características estructurales y dinámicas de los hábitats de la planicie aluvial? A pesar de los varios estudios adelantados en la cuenca del Paraná, se está muy lejos de tener claridad sobre este aspecto. Los cálculos presentados hasta ahora y las generalizaciones derivadas sólo hacen referencia a uno de los elementos del pulso, la cantidad de agua. Claramente que los materiales disueltos y en suspensión transportados por ésta y otras propiedades físicas y químicas (temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno y carbono orgánico disuelto, etc.) también son sujeto de análisis mediante el concepto de régimen pulsátil aquí detallado.

La tabla 4. sintetiza los principales tipos de eventos geomorfológicos, ecológicos y culturales asociados a los atributos de *fFITRAS* en los ríos del sistema Paraná, para los cuales existe algún tipo de documentación.

Tabla 4. Eventos del río y la planicie asociados a los atributos de fFITRAS

| tipo de evento asociado al régimen pulsátil | atributo FITRAS asociado* | autor |
|---|---|-------|
| Limnofase | | |
| exposición de sedimentos en la planicie aluvial | amplitud + intensidad + | 1, 3 |
| colonización de sedimentos expuestos por vegetación herbácea | recurrencia + estacionalidad + | 3 |
| colonización de sedimentos expuestos por vegetación leñosa | amplitud + tensión + | 3 |
| actividad de herbívoros terrestres (mamíferos, insectos) y sus depredadores (carnívoros, carroñeros, insectívoros) | amplitud + intensidad + | 3 |
| incremento de la concentración de nutrientes en lagos de la planicie | amplitud + | 3 |
| aumento de la productividad primaria en lagos de la planicie | amplitud + | 3 |
| estabilidad de bancos y orillares | amplitud + intensidad + | 1 |
| iniciación de las migraciones de peces desde los lagos de planicie hacia el río | intensidad + estacionalidad + | 2 |
| aumento de las concentraciones de carbono orgánico particulado en el río | intensidad + | 4 |
| auemento de los procesos extractivos (pesca, caza, leñateo, extracción de madera...) | amplitud + tensión - | 2, 3 |
| disminución de la temperatura del agua y aumento del contenido de oxígeno del río | intensidad + | 1 |
| fragmentación de los hábitats acuáticos de la planicie, reemplazo de comunidades reófilas por comunidades limnéticas particularmente invertebrados acuáticos y sus depredadores (otros invertebrados, anfibios) | amplitud + intensidad + tensión - | 3 |
| establecimiento de explotaciones agropecuarias y de asentamientos urbanos en la planicie | amplitud + tensión + frecuencia - | 3 |
| potamofase | | |
| transporte y depósito de sedimentos en la planicie | intensidad + amplitud + | 1 |
| descomposición de materia orgánica terrestre, acumulación de detritos y aumento de la actividad bacteriana en los sedimentos | intensidad amplitud | 2, 4 |
| reactivación de paleocauces | intensidad + | 1 |
| integración de hábitats acuáticos de la planicie, predominancia de comunidades reófilas | amplitud + intensidad + tensión + | 3 |
| aumento de la concentración de carbono orgánico disuelto en el río | intensidad + | 4 |
| erosión de bancos y orillares | intensidad + | 1 |
| disminución de productividad primaria en lagos de planicie, aumento de la turbidez y disminución de la concentración de nutrientes en el agua | intensidad + | 1, 3 |
| migraciones de retorno de peces a los lagos de la planicie | intensidad + estacionalidad + | 2 |
| abandono de explotaciones agropecuarias y de asentamientos | amplitud + intensidad + tensión + | 3 |

* El signo + ó - se refiere al de la correlación estimada o inferida entre el evento y el atributo

1. Drago, 1990 y referencias
2. Quirós, 1990 y referencias
3. Neiff, 1990, 1994 y referencias
4. Paolini, 1990 y referencias

La asociación de un tipo de evento a uno de los atributos particulares no está en todo los casos especificada por el autor, es más bien la interpretación de los autores. La mención de un evento de ninguna manera quiere decir que estos sean los únicos factores responsables o que exista una relación causal.

Por otra parte, se debe enfatizar que muchos de los eventos citados como asociados a una fase son sólo una parte de un fenómeno cuyo complemento ocurre en la otra fase. Los procesos ecológicos requieren de la alternancia estacional de fases de sequía y de inundación de amplitudes e intensidades determinadas, es decir del régimen pulsátil.

Las inundaciones y en menor grado las sequías, son problemas eminentemente humanos ya que la estructura de los ecosistemas inundables y la biota en sus diferentes niveles de integración, están ajustados mediante mecanismos de selección adaptativa que han operado en forma continua durante periodos muy largos. La inundación es la malla de procesos biológicos, sociales, económicos, políticos y culturales que parten del desborde anormal de las aguas sobre un territorio. Esta situación puede resultar dañina por su magnitud, por su amplitud, por lo inesperado de su ocurrencia pero también por la incoherencia del funcionamiento

de la sociedad humana antes, durante y posterior a la misma.

Bibliografía

- Amoros, C. & G. van Urk. 1989 Paleoeological Analysis of Large Rivers: Some Principles and Methods. In: Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europa. G.E. Petts (Editor). pp. 143-165 John Wiley & Sons Ltd.
- Amoros, C., A.L.Roux, J.L.Reygrobellet, J.P. Bravard, G. Pautou 1987 A method for applied ecological studies of fluvial hydrosystems Regulated Rivers, 1:17-36. John Wiley & Sons, Ltd.
- Amoros, C., J.P. Bravard, J.L. Reygrobellet, G. Pautou, A.L. Roux Arias, P. 1988 Les concepts d'hydrosystème et de secteur fonctionnel dans l'analyse des systèmes fluviaux à l'échelle des ecocomplexes Bull. Ecol.,19(4):531-546
- 1977 Evaluación limnológica de las planicies inundables de la cuenca norte del río Magdalena. Proyecto para el desarrollo de la pesca continental. Inderena-FAO. Bogotá.
- Drago, E. C.E. 1990 Geomorphology of large alluvial rivers: lower Paraguay and middle Parana. Interciencia, 15(6): 378-397
- García, L. C. & E. Dister, 1990 La planicie de inundación del medio-bajo Magdalena: restauración y conservación de hábitats Interciencia, Vol 15 (6): 396-409. Asociación Interciencia, Caracas, Venezuela.
- Hill, G. & H. Rai. 1982 A preliminary characterization of the tropical lakes of the Central Amazon by comparison with polar and temperate systems. Arch. Hydrobiol. 96(1): 97-111.
- Jukka Salo, Risto Kalliola, Ilmari Häkkinen, Yrjö Mäkinen, Pekka Niemälä, Maarit Puhakka 1986 River dynamics and the diversity of Amazon lowland forest Nature 332: 254-258
- Junk, W.J., P.B. Bayley & R.E. Sparks. 1989 The flood pulse concept in river-floodplain systems, p.p.110-127. en D.P. Dodge (ed.) Proceedings of the International Large River Symposium. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106:110-127.
- Kapetsky, J., J. Escobar & P. Arias. 1976 Evaluación de las poblaciones de peces del canal del Dique. Proyecto Inderena Fao.
- Lewis, W. M. Jr., F. Weibezahn, J. F. Saunders, S. K. Hamilton. 1990 The Orinoco River as an ecological system. Interciencia 15(6): 346:357
- Moreno F., L.C. García y G. Márquez 1987 Productividad e importancia del bosque ripario del complejo de ciénagas de Chucurí. (Departamento de Santander, Colombia). Actualidades Biológicas (Universidad de Antioquia)16: 93-102.
- Neiff, J. J. 1990 Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. Interciencia, 15(6):424-441
- Neiff, J. J., M. H. Iriondo, & R. Carignan. 1994 Large tropical South American wetlands: an overview. pp 156-165, en: G. L. Link & R. J. Naiman, compiladores, Proceedings of the international workshop on the ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. UNESCO, MAB, IHP, Center for Streamside Studies-University of Washington. Seattle. February 14-19, 1994.
- Obrdlik, P. & L. C. García Lozano. 1992 Spatio-temporal distribution of macrozoobenthos abundance in the Upper Rhine alluvial floodplain. Arch. Hydrobiol. 124(2):205-224.
- Paolini, J. 1990 Carbono orgánico y particulado en grandes ríos de la América del Sur. Interciencia, 15(6): 358-366
- Quirós, R. 1990 The Parana river basin development and changes in the lower basin fisheries. Interciencia, 15(6): 442-451
- Sioli, Harald 1975 Tropical Rivers as Expressions of their Terrestrial Environments En: F.B. Golley & E. Medina (eds.) Tropical Ecological Systems/Trends in Terrestrial and Aquatic Research. pp 275-288