

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN UN TRAMO DEL RÍO PARANÁ, EMBALSE YACYRETÁ

SUSPENDED SOLIDS, EROSION AND SEDIMENTATION ALONG A SECTION OF THE PARANÁ RIVER, YACYRETÁ RESERVOIR

HUGO A. ROJAS¹

¹Docente Investigador. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UNA. Email: hugoarnulfor@gmail.com

Resumen: Se realiza un balance de los Sólidos Suspendidos considerando el ingreso y egreso del embalse y aguas mas abajo, a los efectos de analizar la sedimentación o floculación de coloides en el embalse, así como las potenciales erosiones aguas abajo de la presa, con datos colectados entre los años 1982 y 2009, de los sólidos suspendidos, la turbidez y la transparencia relacionados con el caudal medidos en las estaciones de monitoreo del Sistema Yacyretá, denominadas Ingreso al Sistema, en el Eje Candelaria/ Campichuelo; Egreso por los Vertederos Principal y Añá Cuá y Salida del Sistema, en el eje Itá Ibaté/ Panchito López, aplicando una estadística comparativa, entre las mismas. Las medianas obtenidas fueron volcadas en gráficos de evolución con el caudal, acompañadas de máximos y mínimos del mes correspondiente. Se analizó, el comportamiento de los sólidos suspendidos en función del caudal, graficando las medianas promedio en función del tiempo, mostrando los valores extremos de cada mes. Por último, se buscó conocer la tendencia aplicando el test Kendall. Se comprobó la disminución de los valores medios de sólidos en el Ingreso al Sistema. Los resultados mostraron condiciones de Tendencia decreciente altamente significativa, para los valores de sólidos. Los coeficientes de correlación de sólidos con el caudal fueron muy bajos, pero con los parámetros indirectos, transparencia y turbidez, tuvieron un mejor ajuste. Los parámetros indirectos entre sí y con los sólidos, tuvieron mejores coeficientes de correlación. Entre los años 2001/ 2009, se encontró similar tendencia de disminución de sólidos en el Ingreso, aunque los picos fueron cada vez menos acentuados, con niveles de tendencias decrecientes fuertemente significativos, con aumento de la transparencia y estabilización en los últimos años, sin diferencia significativa al igual que la turbidez ($\alpha=0,05$). Para los Vertederos Principal y Añá Cuá no existe una correlación aceptable con el caudal, sí un mejor ajuste entre los sólidos vs. turbidez y la transparencia vs. turbidez, con diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre la estación Ingreso y Egreso. El promedio de sólidos en el Ingreso es mayor que el de Salida por los Vertederos, sugiriendo sedimentación en el embalse. Asumiendo régimen estacionario, de febrero 2001 a noviembre 2009, se detecta diferencia entre las medianas. En la Salida del Sistema los sólidos vs. caudal con ajuste de retraso de 24 horas tuvieron una correlación bastante aceptable. Se observó crecimiento de los sólidos a la Salida del Sistema, asociados con fenómenos de erosión o aporte de la cuenca en el tramo, aunque en los últimos años se nota cierta disminución en el rango de valores de los sólidos.

Palabras clave: sólidos, embalse, sedimentación.

Abstract: It takes stock of suspended solids, considering both the inflow and outflow of the reservoir and water immediately below, for the purposes of analyzing both sedimentation and flocculation of colloids in the reservoir, as well as the potential erosion downstream of the dam with Data from 1982 to 2009, suspended solids, turbidity and transparency related to the flow monitoring stations Yacyretá System, namely: login, on Axis Candelaria / Campichuelo; Exit for Main Landfills and Añá Cuá and system output, Itá-axis Ibaté / Panchito Lopez. We applied a comparative descriptive statistics, including entry and Exit Dam and Reservoir and System Output. The median values obtained were overturned on evolution graphs with the flow, accompanied by maximum and minimum of each month. We analyzed the behavior of suspended solids as a function of flow, plotting the average medium versus time, showing the extremes of each month, using the analysis of variance between points. Finally, we sought to know the tendency of solids, turbidity and transparency, using the Kendall test. We confirmed the decrease in the mean values of solids entering the system. The results showed conditions highly significant decreasing trend for both solid values such as those referring to the flow. The strong correlation coefficients with the flow were very low, but with transparency indirect parameters turbidity had a better fit. Indirect parameters to each other and with solids had better correlation coefficients. Between the years 2001/ 2009, found similar strong trend of decreasing in income, although the peak became less pronounced, with levels strongly significant decreasing trends, with increased transparency and stability in recent years, with

no difference significantly as turbidity ($\alpha = 0.05$). For Home and Landfill Añá Cuá there is a good correlation with the flow, with best fit between the solid vs. vs. turbidity and transparency. Inference, significant difference ($\alpha = 0.05$) between station revenues and expenses. The average solid income is greater than the output from landfills, suggesting sedimentation in the reservoir. Assuming steady from February 2001 to November 2009, differences were detected between the medians. In the System Output, the solids vs flow rate adjustment delay of 24 hours had a correlation quite acceptable. It was noted solid growth in the system output, associated with phenomena of erosion or provide watershed in the section, although in recent years there has been some decline in the value range of solids.

Key word: *solids, reservoir, sedimentation*

INTRODUCCIÓN

La presencia de un embalse produce modificaciones en los modelos de circulación del agua, sedimentación y/o floculación, generando la acumulación de sedimentos (O' Conner, D. J., 1976)

Muchos lagos y embalses poseen una entrada y una salida, por lo que se les puede considerar ríos de caudal lento. El tiempo de residencia, asegura que las aguas se irán clarificando por la actividad bacteriana eliminando materia orgánica, además de los procesos de floculación y sedimentación, convirtiéndose en sedimentadores de partículas, (Steele, T. E., 1971).

Una manera de determinar la carga en suspensión es la medición de esa carga, utilizando medidores normalizados. Los procedimientos de toma de datos y procesamiento, tropiezan sin embargo, con una serie de inconvenientes derivados de las simplificaciones que deben hacerse, para que el método resulte práctico. (Gems, Agua Guía metodológica Guide to Hidrological Practices, OMM, 1974); (Manual for Stream Gaugin, OMM, 1978); (Solomon, S.I., 1971)

Una de esas simplificaciones, es suponer que existe una relación única entre los caudales líquido y sólido, lo cual es cierto solamente en contadas ocasiones. Los pares de puntos, que se obtienen a partir de series de aforos líquidos y sólidos simultáneos, presentan siempre una gran dispersión alrededor de las curvas teóricas de ajuste que se calculan por métodos numéricos. Para poder explicar la causa de esa dispersión, es necesario tener en cuenta otras variables que derivan de los procesos erosivos en la cuenca y del régimen de transporte del curso, (Manual for Stream Gaugin, OMM 1978); (Steele, T. E.; Jennings M.E., 1972).

En este trabajo, se utilizan los datos de archivo de los Convenios de Calidad de agua, ICB/ COMIP y EBY/ FaCEN, efectuando un análisis del comportamiento y tendencia de los sólidos suspendidos e indicadores indirectos como la transparencia y la turbidez, relacionados con el flujo o caudal. El balance de los sólidos suspendidos, se efectúa considerando el ingreso y egreso inmediato del embalse y aguas abajo, a los efectos de analizar tanto la sedimentación o floculación de coloides, como las potenciales erosiones aguas abajo, determinando sobre la base del Análisis de Tendencia su comportamiento, especificando la reducción del flujo máscico de los sólidos durante la última década.

MATERIALES Y METODOS

Se realiza una recopilación de datos de archivo, desde el año 1983, de los sólidos en suspensión (Programa Calidad de agua, Informe Final FaCEN/ E.B.Y. 2001), en la que se estudia el comportamiento de los sólidos suspendidos en función del caudal, desarrollando una estadística comparativa de las medianas en función del tiempo, verificando los valores extremos de cada mes. Con el Análisis de Varianza, se busca la existencia de diferencias espaciales y temporales (Pérez, C. L. 2004), observando la tendencia de los sólidos, la turbidez y la transparencia, con el test Kendall. (Kendall M. G.; Sundrum R. M., 1953).

Con la misma metodología y criterio se analizan los datos del periodo 2001-2009, de las mismas estaciones: Entrada al Sistema, sección Candelaria/ Campichuelo, la Salida de los Vertederos Principal y Añá Cuá y la Salida del Sistema, en la sección Itá Ibaté/ Panchito López a unos 80 Km. aguas abajo, nuevamente en condición de río.

Para la determinación de la tendencia frecuentemente se utiliza la regresión lineal de la variable de interés con el tiempo. La hipótesis nula, es que la variable y el tiempo no están correlacionados y las suposiciones de fondo son, que los valores están normal, independiente, e idénticamente distribuidos en el tiempo. Si la pendiente de la ecuación de regresión llega a ser estadísticamente significativa, la tendencia está sostenida, (Montgomery, D. 2005).

En general, los valores de Calidad de agua tienen su temporada, son sesgados y están sucesivamente correlacionados, contradiciendo la suposición de estacionalidad, normalidad e independencia de la variable casual requerida, para calcular la distribución de probabilidad, en el test de regresión para tendencia. La estacionalidad, agranda la variación utilizada en el test t, el sesgo incrementa el error Standard de la pendiente estimada y la correlación real, levanta el nivel relativo actual de α al nivel seleccionado (Kendall M. G.; Sundrum R. M., 1953; Bradley V. J. 1968)

El test de distribución que sirve como base para el ensayo de tendencia en este estudio, es el Kendall TAU (Kendall, M. G. 1975; Kendall, M. G., 1955). La hipótesis nula es que la variable casual es independiente del tiempo. La única suposición de fondo necesaria, es que la variable casual es independiente e idénticamente distribuida, para cualquier distribución. En este test, son comparados

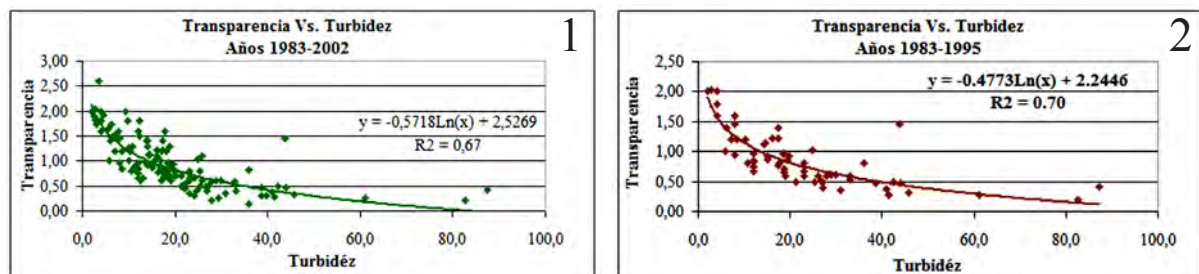
todos los pares de valores; si el último valor (en tiempo) es más alto, se marca con un (+) (positivo); si el valor último es más bajo, con un (-) (menos). Si no hay tendencia en los datos, la condición está en igualdad, de que un valor sea mayor o menor que uno de sus antecesores. En ausencia de una tendencia, el número de (+) sería casi el mismo que el número de (-). Sin embargo, si hay más n° de (+) que n° de (-), los últimos valores en las series, serían más frecuentemente mayores que aquellos primeros y sólo podría esperarse una tendencia para arriba. Similarmente, si hay más (-) que (+), se espera una tendencia para abajo.

Como un asistente al test se define el estimador de pendiente, como la mediana de las diferencias (expresadas como pendientes) de pares ordenados de valores que son comparados en el test. Para indicar si existe una tendencia, puede ser conveniente estimar la magnitud de tal tendencia. Esta magnitud se expresa aquí como una pendiente (valor por unidad de tiempo), aunque esto no implique la aceptación de una tendencia lineal. En lugar de registrar un (+) o (-) para cada comparación, simplemente se registra la diferencia dividida por el número de años, separando los valores puntuales. La mediana de estas diferencias se toma como el cambio por año, debido a la tendencia. (Kendall M. G., 1975)

Según el Manual on Stream Gauging, OMS, 1978, en muchos ríos, las concentraciones de só-

Tabla 1. Ajustes con los datos del periodo 1983-2002 en la Entrada al Sistema.

Periodo	Parámetros	Función	R2
Años 1983 - 1995	Transparencia vs Turbidez	$y = -0.4773 \ln(x) + 2.2446$	0,70
Años 1983 - 2002	Transparencia vs Turbidez	$y = -0.5718 \ln(x) + 2.5269$	0,67
Años 1995 - 2002	Sólidos vs Caudal	$y = 5E-08x^{1,9484}$	0,63
	Transparencia vs Caudal	$y = 882718 x^{-1,4438}$	0,61
	Sólidos vs. Turbidez	$y = 2.1863 e^{0,0682 x}$	0,68
	Sólidos vs Transparencia	$y = 6.9808 x^{-1,1521}$	0,71
	Transparencia vs Turbidez	$y = 2.3225 e^{-0,0601x}$	0,71



Gráficos 1-2. Ajustes entre la transparencia vs. turbidez. 1) Ajuste en el periodo 1983-2002 con una función logarítmica $R^2 = 0,67$. 2) Mejor ajuste del periodo 1983-1995 mediante una función logarítmica con $R^2 = 0,70$.

lidos suspendidos están referidas a la descarga de los mismos, pudiendo ser un fenómeno complejo. Como base de condiciones de flujo, mucho sólido puede proceder de fuentes puntuales de carga y una disminución en el flujo tendería a estar acompañado de un incremento en la concentración. Por otro lado, la ocurrencia de un temporal sobre la cuenca, puede causar erosión y transporte de cantidades sustanciales de material en suspensión, por lo que un incremento en el flujo puede causar un incremento en las concentraciones. Dependiendo de la relativa importancia de estos dos procesos (dilución y erosión), la pendiente de la relación de descarga y concentración de sólidos puede ser negativa, positiva o quizás ambos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la sección Entrada al Sistema, se trató de encontrar una función Sólido – Caudal que arrojara un coeficiente de determinación aceptable, con un ajuste temporal del caudal con atraso de un día; las funciones probadas registraron coeficientes bastante menores a uno.

En la Tabla 1. Con los datos del periodo 1983-2002, se obtuvieron valores de $R^2 = 0,22$, $0,27$ y $0,46$ para la relación Sólidos, Turbidez y Transparencia Vs. Caudal, respectivamente, éste último en una función potencial. Sin embargo, la transparencia y turbidez, ajustaron con $R^2 = 0,67$ en una función logarítmica como se ilustra en el Gráfico 1.

Con los datos del periodo años 1983-1995, se consiguió mejorar el ajuste con el caudal, con coeficientes de correlación, R^2 de $0,63$, $0,52$ y $0,61$ para sólidos, turbidez y transparencia, respectivamente.

Los parámetros indirectos entre sí y con los sólidos, mejoraron sus coeficientes, siendo la transparencia vs. Turbidez la de mejor correlación mediante una función exponencial con $R^2 = 0,70$ (Gráfico 2) y los sólidos con la turbidez con un $R^2 = 0,68$ ambos con una función exponencial.

Período años 1998-2002

Para el periodo 1998-2002, no se encontró una correlación aceptable entre los sólidos, los parámetros indirectos, y el caudal, en la Salida por los Vertederos Añá Cuá y Principal. Los coeficientes de correlación, bastante menores que la unidad, indican una pobre correlación con el caudal, apenas $R^2 = 0,30$, sólidos vs. caudal, en el Vertedero Principal. Para los parámetros indirectos entre sí, y los sólidos, el mejor ajuste se tuvo en la Vertedero Principal, con $R^2 = 0,62$ (Tabla 2); entre los sólidos y la turbidez, con una función exponencial, mientras que en el Vertedero Añá Cuá, la mejor correlación $R^2 = 0,68$ fue entre la transparencia y la turbidez también con una función exponencial (Tabla 3).

La Tabla 4, en la estación Salida del Sistema, los sólidos contra el caudal tuvieron un ajuste bas-

Tabla 2. Periodo 1998-2002, funciones de ajuste y coeficientes de correlación a la salida del Vertedero Principal.

Parámetros	Vertedero Principal	R^2
Sólidos vs. Turbidez	$y = 0.3201 e^{0.1411x}$	0,62
Sólidos vs Transparencia	$y = -4.6068 \ln(x) + 5.0138$	0,52
Transparencia vs Turbidez	$y = 2.2323 e^{-0.0511x}$	0,58

Tabla 3. Periodo 1998-2002, funciones de ajuste y coeficientes de correlación a la salida del Vertedero Añá Cuá.

Parámetros	Vertedero Añá Cuá	R ²
Sólidos vs. Turbidez	$y = 0.2007x^{1.1082}$	0,52
Sólidos vs Transparencia	$y = 3.4464 x^{-1.3111}$	0,43
Transparencia vs Turbidez	$y = 2.3464 e^{-0.0568x}$	0,68

tante aceptable a través de una función lineal, R² = 0,65. Los demás parámetros con el caudal, dieron un ajuste bajo, un R² = 0,42 para la transparencia. Los parámetros de correlación inversa, como la transparencia y la turbidez, ajustaron a través de una función exponencial con R² = 0,58.

Período años 2002-2010

En el Ingreso al Sistema en los años 2002-2010 disminuyeron totalmente los coeficientes de correlación entre caudal y sólidos y demás parámetros relacionados, de 0,26 a 0,34, sin embargo, los coeficientes de sólidos y parámetros indirectos alcanzaron valores de R² inmejorables: Sólidos vs. Turbidez R² = 0,93 (lineal), Sólidos vs. Transparencia R² = 0,84 (potencial), y Turbidez vs. Transparencia R² = 0,89 (potencial) (Tabla 5) y Gráficos 3-5.

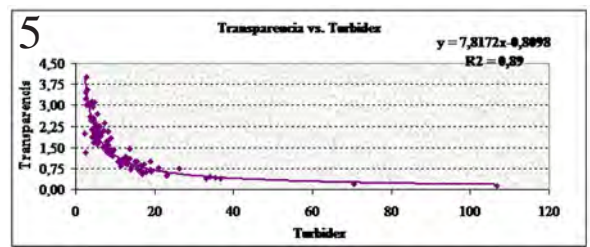
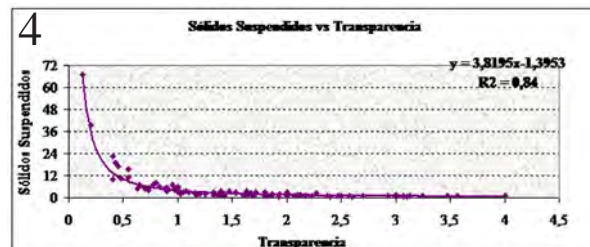
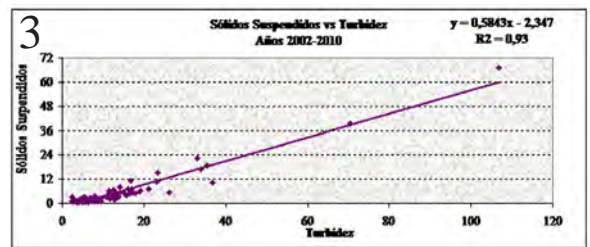
Tabla 4. Funciones de ajuste y coeficientes de correlación con el caudal en la sección Salida del Sistema en el periodo años 1998-2002.

Salida del Sistema. Periodo 1998-2002		R ²
Sólidos vs Caudal	$y = 0.0008x - 4.8628$	0,65
Turbidez vs Caudal	$y = 0.0008x + 2.2638$	0,26
Transparencia vs Caudal	$y = 2.6847 e^{-6E-05x}$	0,42
Sólidos vs. Turbidez	$y = 2.5264 e^{0.051x}$	0,38
Sólidos vs Transparencia	$y = -6.4702 \ln(x) + 7.2642$	0,42
Transparencia vs Turbidez	$y = 2.027 e^{-0.0477x}$	0,58

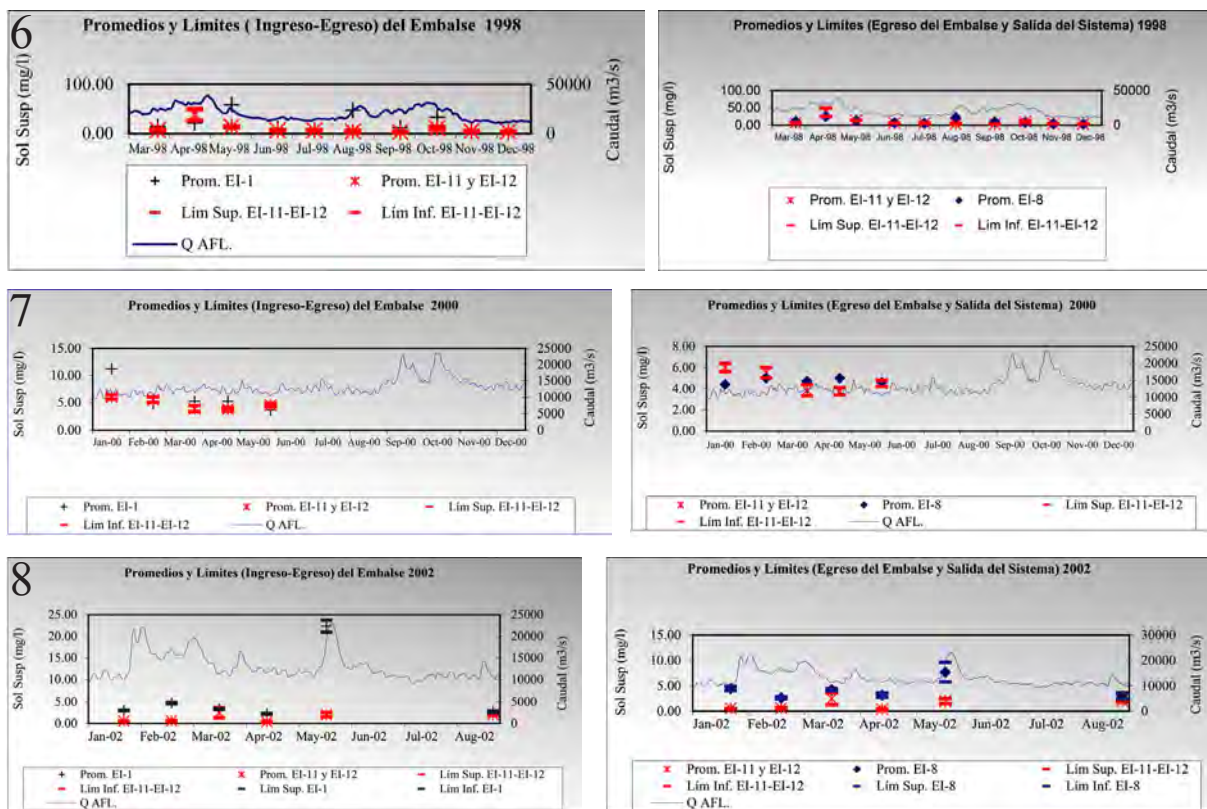
Tabla 5. Ajustes en el periodo años 2002-2010 para los parámetros indirectos en el Ingreso al Sistema.

Ingreso. Funciones de mejor ajuste Periodo 2002-2010		R ²
Sólidos vs. Turbidez	$y = 0,5843x - 2,347$	0,93
Sólidos vs. Transparencia	$y = 3,8195 x-1,3953$	0,84
Transparencia vs. Turbidez	$y = 7,8172 x-0,8098$	0,89

Considerando los datos generados desde el año 1982, pareciera existir una disminución de los valores medios para la estación ubicada en el Ingreso al Sistema. Dicha tendencia podría estar afectada por una disminución de los aportes externos no naturales o por una variabilidad natural en los valores, ya sea por efectos estacionales (dentro



Gráficos 3-5. Correlaciones de sólidos suspendidos, transparencia y turbidez entre los años 2002-2010. 3) Sólidos suspendidos vs. turbidez. 4) Sólidos suspendidos vs. transparencia. 5) Transparencia vs. turbidez.



Gráficos 6-8. Evolución de sólidos suspendidos vs. caudal. 6) Para el año 1998. 7) Para el año 2000. 8) Para el año 2002.

de cada año) o por los asociados a las distintas condiciones meteorológicas, y fundamentalmente, al acondicionamiento dado por la existencia de represas aguas arriba.

A los datos del año 1998, se le aplicó una estadística descriptiva entre el Ingreso-Egreso del Embalse y el Egreso del Embalse-Salida del Sistema. Las medianas obtenidas fueron volcadas en gráficos de evolución con el caudal, acompañadas de máximos y mínimos del mes correspondiente. Se encontraron diferencias significativas entre valores medios, siendo mayor en la Salida del Sistema que a la Salida de los Vertederos, sugiriendo un aporte de sólidos, aguas abajo de los mismos (Gráfico 6)

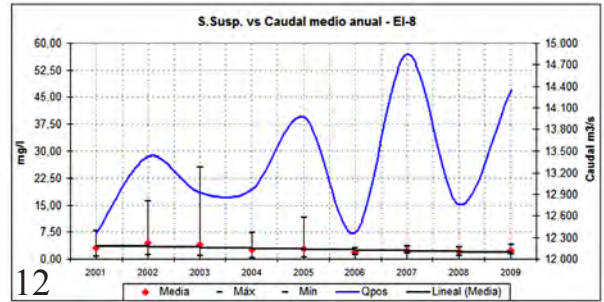
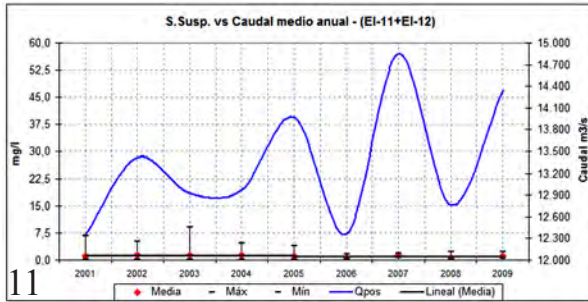
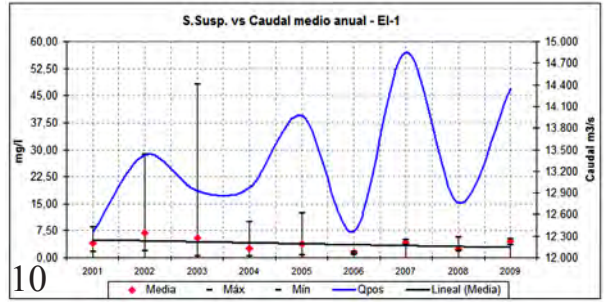
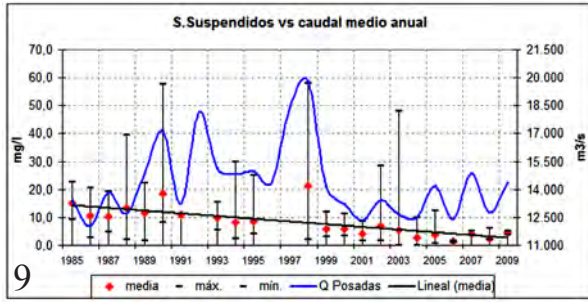
Con los datos del año 2000, se encontró diferencia significativa ($\alpha=0,05$) entre el Ingreso al Sistema y la Salida por los Vertederos, con el valor promedio de entrada mayor que el de salida, sugiriendo una probable sedimentación en el embalse (Gráfico 7).

A partir de los datos generados en el año 2002

(Gráfico 8), se observa una considerable disminución de los sólidos en la entrada al Sistema como a la salida del mismo. Esto sugiere una posible sedimentación aguas arriba, con la consiguiente disminución de los aportes de sólidos al Sistema.

Analizando los sólidos suspendidos ingresantes al Sistema, desde el año 1985 al 2009 (Gráfico 9), se observan picos aislados de máximos en épocas de crecida que en los últimos seis años son cada vez menos pronunciados. Para la cuenca del Alto Paraná, el proceso de mayor peso está vinculado a la erosión, existiendo una dependencia directa con el caudal (Drago, 1975). Pero, la presencia de embalses aguas arriba, como la de Itaipú y la ubicada sobre el Iguazú, alterarían dicha correspondencia, estando asociada al manejo hidráulico, de acuerdo a las profundidades de erogación.

Los fenómenos de retención de sólidos aguas arriba de Yacyretá, la probable sedimentación/ floculación de los coloides en el embalse, y la erosión



Gráficos 9-12. Sólidos suspendidos vs. caudal medio anual. **9-10)** Correspondientes al caudal medio ingresante en el Sistema. **9)** Correspondiente a los años 1985 al 2009. **10)** Correspondiente a los años 2001 al 2009. **11-12)** Correspondientes al caudal medio de salida entre los años 2001 al 2009. **11)** Correspondiente al caudal de salida de los vertederos. **12)** Correspondiente al caudal de salida del sistema.

aguas abajo del mismo, se ilustran en los siguientes gráficos. Los valores medios anuales entre los años 2001 y 2009, indican un menor ingreso de sólidos (Candelaria) en el tiempo (Gráfico 10).

El decrecimiento de los sólidos a la salida de los Vertederos (EI-11 + EI-12), con relación a su ingreso en la EI-1 (Candelaria), estarían señalando la sedimentación de una fracción de los sólidos en el embalse (Gráfico 11).

En el Gráfico 12, evolución en los años 2001 al 2009, se visualiza el crecimiento de los sólidos suspendidos a la salida del Sistema, asociado a fenómenos de erosión o aporte de la cuenca en el tramo notándose en los últimos años, cierta disminución en el rango de los sólidos a la Salida.

Asumiendo régimen estacionario, constancia en las concentraciones de sólidos por estación, la diferencia entre las medianas y rangos de valores máximos y mínimos de los sólidos suspendidos totales entre el ingreso al Sistema y la salida del Embalse por los Vertederos, muestran una muy factible sedimentación de una fracción de los sólidos suspendidos en el embalse (Gráfico 13)

En el análisis entre el Ingreso al Sistema y el Egreso del Embalse (Figura 14), muestra los potenciales fenómenos de erosión que se manifiesta entre las dos salidas del embalse (Vertederos) y la Sección del Río Paraná, a la altura del eje Itá Ibaté/ Panchito López, a 80 Km. aguas debajo, Salida del Sistema.

Sobre esta base, se analizó estadísticamente la existencia de diferencias significativas entre los promedios de las estaciones, para cada campaña (Tabla 6). De acuerdo al test ANOVA, la componente de variación debido a la heterogeneidad espacial

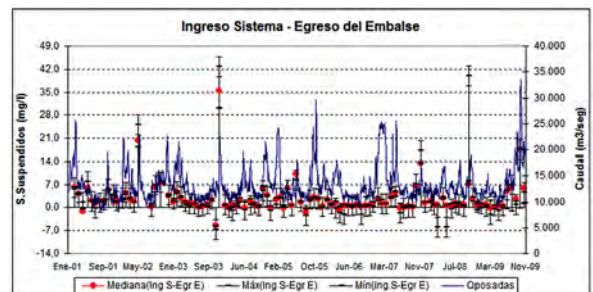


Gráfico 13. Disminución de los sólidos a la salida del embalse (Vertederos), son relación al ingreso al Sistema, con datos del periodo feb/2001 a nov/2009.

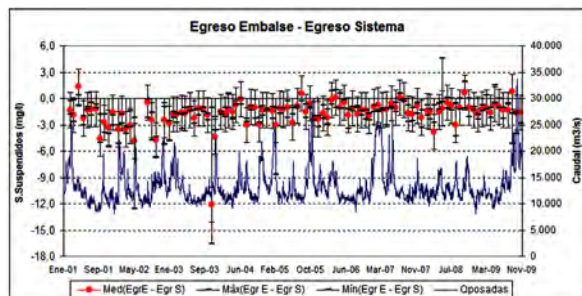


Gráfico 14. Diferencia de la mediana, máximo y mínimo de los sólidos suspendidos vs. caudal medio anual años 2001 al 2009 entre el egreso del embalse y egreso del sistema.

entre el Ingreso y la Salida por los vertederos, es significativamente más fuerte que aquella inherente a las fuentes de variación operativas. La componente temporal de variación no es significativa frente a las otras fuentes de variación

De acuerdo a ANOVA, la componente de variación debido a la heterogeneidad espacial entre la Salida por los Vertederos y la Salida del Sistema es significativamente más fuerte que aquella inherente a las fuentes de variación operativas; dicha diferencia sería equivalente a una potencial erosión o aporte alóctono de la cuenca intermedia.

La componente de variación temporal es también significativamente más fuerte que las otras fuentes de variación (Tabla 7).

Los fenómenos de retención de Sólidos aguas

arriba, la probable sedimentación/ floculación de los coloides en el embalse, y la erosión aguas abajo del mismo, fueron analizados estadísticamente mediante el Test Kendall (Tabla 8), el cual determina una tendencia decreciente de sólidos, tanto en la Entrada como en la Salida del Sistema. Los niveles decrecientes muestran ser fuertemente significativos, de acuerdo a los criterios empleados, $\alpha < 0,1$. Estas tendencias pueden estar asociadas a la tasa de erogación aguas arriba, como el manejo de suelos en la cuenca intermedia y fundamentalmente a la existencia de embalses aguas arriba, que actúan como retentores de sedimentos.

Para la interpretación del test de tendencia quedan establecidas las siglas, indicando en los cuadros correspondientes del resumen lo siguiente: S (TEND) indica la dirección de la tendencia; el grado de significancia viene dado por el valor de Z calculado (en valor y signo), con relación al teórico de 1,28; esta significancia viene representada por el N° de asteriscos en la última columna. Si el valor de Z calculado es menor que el valor teórico asumido (1,28), la tendencia es NS (no significativa).

Las lecturas de turbidez ya no presentan tendencia significativa, debido a un fuerte decrecimiento o aumento de la transparencia, observado en los últimos años (Tabla 9).

Tabla 6.

FUENTES DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	COMPROBACIÓN DEL TEST F	
Heterogeneidad temporal	11069,90	102	108,5	CM3/CM2= 0,02	F (102,103, 0,05)=1,39
Heterogeneidad espacial entre Ingreso al Sistema y Egreso del Embalse	744381,37	103	7227,0	CM2/CM1= 3100,7	F (103,822, 0,05)=1,26
Heterogeneidad debido al Muestreo y Análisis Químico	1916,28	822	2,3	-	-

Tabla 7.

FUENTES DE VARIACIÓN	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	COMPROBACIÓN DEL TEST F	
Heterogeneidad temporal	2621, 24	102	25, 7	CM3/CM2= 2,23	F (102,103, 0,05)=1,39
Heterogeneidad espacial entre Egreso del Embalse y Egreso del Sistema.	1186, 45	103	11,5	CM2/CM1= 6,82	F (103,824, 0,05)=1,26
Heterogeneidad debido al Muestreo y Análisis Químico	1391, 48	824	1,7	-	-

CONCLUSIONES

La concentración de sólidos suspendidos, referida a las descargas presenta una relación compleja en el Río Paraná. Suponiendo que el origen de sólidos procede de los caudales de la cuenca superior que transporta el material originado por el lavado de los suelos, se podría suponer que un aumento en la concentración del sedimento en suspensión vendría asociado al aumento de la turbidez. Igualmente, la ocurrencia de fuertes lluvias, puede causar la erosión y el transporte de cantidades sustanciales de material en suspensión, independientemente del caudal. Los dos procesos, dilución y erosión o aporte de sólidos, pueden funcionar conjuntamente,

dependiendo de la importancia relativa de los procesos.

Para la cuenca del Alto Paraná, el proceso de mayor peso está vinculado a la erosión, existiendo una dependencia directa con el caudal, pero la existencia de embalses aguas arriba, como la de Itaipú y la ubicada sobre el Iguazú, alteran dicha correspondencia, estando asociada al manejo hidráulico de acuerdo a las profundidades de erogación

El tratamiento de variabilidad espacial/temporal aplicado a los datos de sólidos, campaña por campaña y por estación, indicó una disminución de sólidos en el Ingreso (EI-1 Candelaria) con el paso de los años, sugiriendo la retención de sólidos aguas arriba de Yacyretá.

Tabla 8.

ESTACIÓN	(TEND) S	TAU kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
Ingreso al Sistema	- 96	- 0, 24	-3, 05	***
Salida de los Vertederos	- 12	- 0,03	- 0,35	NS
Salida del Sistema	- 120	- 0,31	- 3,82	***

Tabla 9.

ESTACIÓN	(TEND) S	TAU kendall	Z CALC.	SIGNIFICANCIA
EI-1 Candelaria Ingreso al Sistema	26	0,07	0,80	NS
EI-8 Itá Ibaté Salida del Sistema	- 1	0,00	0,00	NS

Se comprobó una tendencia decreciente de sólidos en el Ingreso al Sistema, condicionado fundamentalmente por la existencia de embalses aguas arriba. Dichos niveles de tendencia decreciente mostraron ser significativos de acuerdo a los criterios empleados en la referencia citada $\alpha < 0,1$.

Decrecimiento de los sólidos a la salida de los Vertederos (EI-11 + EI-12), con relación a su ingreso en la EI-1 (Candelaria), indicando una probable sedimentación de una fracción de los sólidos en el embalse.

Crecimiento de los sólidos suspendidos a la Salida del Sistema, pudiendo asociarse a fenómenos de erosión o aporte de la cuenca en el tramo, con cierta disminución en el rango de los sólidos en los últimos años.

Las diferencias entre las estaciones Ingreso al Sistema y Egreso del embalse, como también Egreso del embalse y la Salida del Sistema, son significativamente mayores a aquella variabilidad inherente a las fuentes operativas (muestreo y análisis).

Asumiendo régimen estacionario, se detecta sedimentación de una fracción de los sólidos suspendidos en el embalse. Igualmente, bajo las mismas condiciones, se observaron potenciales fenómenos de erosión, que se estarían dando entre la Salida por los Vertederos y la Salida del Sistema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a las autoridades y al personal del Laboratorio de agua de la Entidad Binacional Yacyretá, por el apoyo recibido para la realización de este trabajo, su publicación y divulgación en el

ámbito Científico y Académico de la Universidad Nacional de Asunción.

BIBLIOGRAFÍA

- Bradley V. J. 1968. *Distribution Free Statistics*. Nueva York: Prentice-Hall Englewood Cliffs. 840 p.
- Bonetto A. 1976. *Calidad de las Aguas del Río Paraná. Introducción a su estudio ecológico*. Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables. Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Oficina de Cooperación Técnica de la ONU.
- Brown, M. B.; Forsythe, A. B. 1974. Robust Tests for the Equality of Variances. *Journal of the American Statistical Association*, 69, p364-367.
- Depetris, P. J. 1976. *Hydrochemistry of the Paraná River*. *Limnology and Oceanography*. Vol. 21 (5) p. 736-739.
- Kendall M.G.; Sundrum R.M. 1953. *Distribution-Free Methods and Order Propertie Review of the International Statistical Institute*, 21:3, 124-134.
- Kendall M.G. 1955. *Rank Correlation Methods*. 2ª Ed. Nueva York. Kafner.
- Lilliefors, H. W. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov tests for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62: 399-402.
- Loh, W. Y. 1987. Some Modifications of Levene's Test of Variance Homogeneity. *Journal of*

- Statistical Computation and Simulation, 28, p213-226.
- Montgomery, D. 2005. Diseño y Análisis de Experimentos. México: Editorial Limusa. Cap. 3, p. 76-83: Experimentos con un solo factor: el análisis de varianza.
- Álvarez Tagliabue, C.U.; A.N. Menéndez; M. Perayre; M. Cardinali; L. Chamorro. Metodología de Modelación del transporte de Sólidos Suspendidos en Reservorios. C.U. Instituto Nacional del Agua (INA), Entidad Binacional Yacyretá (EBY) INA, Casilla de Correo 21, 1802 Aeropuerto Ezeiza, Argentina, (54-11) 4480-4500, cuat@ina.gov.ar.
- O'Conner, D. J. 1976. The concentration of dissolved solids and river flow, Water Resources Research, Vol. 12, N° 2, abril, pp. 279-294.
- OMS. 1978. Water Quality Surveys, IHD/WHO Working Group on the Quality of Water, París
- OMS. 1974. Guide to Hydrological Practices, Publicación N° 168, Ginebra.
- OMS. 1978. Manual on Stream Gauging, Ginebra
- Pérez, C. L. 2004. Técnicas de Análisis Multivariante de Datos. Madrid: Pearson Prentice Hall. Cap. 2, p. 55-65: Primeros pasos en el análisis multivariante. Análisis exploratorio de datos.
- Solomon, S. I. 1996. Statistical association between hydrologic variables, in Proceedings of Hydrology Symposium N° 5, Statistical Methods in Hydrology, National Research Council of Canada, Queen's Printer, Ottawa, pp. 55-113
- Steele, T. E. 1971. The role of network design in the management and control of streamflow water quality, Proceeding of the U. S. – Japan Bilateral Seminar in Hydrology, Honolulu, Hawaii, enero, in Systems Approach to Hydrology (Ed. V. Yevjevich) pp. 395-423.
- Steele, T. E.; M.E. Jennings. 1972. Regional Analysis of Stream flow Chemical Quality in Texas, Water Resources Research, Vol. 8, N° 2, pp. 460-477.
- WMO. 1981. Guide to Hydrological Practices, Vol. 2, 4ta Edition, N° 168.
- WMO. 1980. Manual on Stream Gauging, Vol. 2, Operational Hydrology Report N° 13, WMO N° 519, Geneva.
- WMO. 1988. Manual on Water Quality Monitoring. Planning and Implementation of Sampling and Field Testing. Operational Hydrology Report N° 27, WMO N° 680, Geneva.