

ESTUDIOS LIMNOLOGICOS EN UNA SECCION TRANSVERSAL DEL TRAMO MEDIO DEL RIO PARANA

IV: Influencia de la composición granométrica de los sedimentos suspendidos sobre la transparencia del agua*

*Edmundo C. Drago***

Instituto Nacional de Limnología
J. Macía 1933, 3016 Santo Tomé
Santa Fe, Argentina

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es el estudio de la influencia de la composición granométrica de los sedimentos suspendidos sobre la transparencia del agua del río Paraná. Las mediciones de esta última con el disco de Secchi y el muestreo de las aguas superficiales fueron llevados a cabo cada quince días, desde octubre de 1976 hasta diciembre de 1977, en el centro de una sección transversal del cauce principal. Se determinó que las concentraciones de arena transportadas en suspensión no ejercen ninguna influencia sobre la transparencia del agua. No sucede lo mismo con las correspondientes a limo y arcilla, las que producen variaciones importantes en la lectura del disco de Secchi.

Así, los coeficientes de correlación lineal (r) encontrados entre la transparencia del agua y las concentraciones de arcilla y limo fueron de $-0,83$ ($p < 0,001$) y $-0,76$ ($p < 0,001$) respectivamente. Los altos valores de sólidos suspendidos aportados por el sistema de los ríos Bermejo - Paraguay y el material en suspensión de coloración rojiza ("onda roja") proveniente del río Alto Paraná, son responsables de las variaciones de la transparencia del agua observadas en la sección estudiada.

* Trabajo presentado en una Reunión Científica Especial organizada por la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Santa Fe, abril 1983.

** Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

ABSTRACT

Drago, E. C. 1984. Limnological studies in a cross - section of the Middle reach of Paraná River, IV: influence of the suspended sediment granulometric composition on water transparency. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15: 47 - 55

This paper deals with the influence of suspended sediment granulometric composition on the transparency of Paraná River water. Secchi disk measurements and the surface water samples were obtained every fifteen days from the center of the main channel from October 1976 to December 1977. The amount of sand in suspension did not influence water transparency, but clay and silt concentrations produced notable changes on Secchi disk measurements. The linear correlation coefficients, r , between transparency and clay and silt amounts were -0.83 ($p < 0.001$) and -0.76 ($p < 0.001$), respectively. The highest concentrations of clay and silt were supplied by the Bermejo-Paraguay rivers system while the Alto Paraná River supplied the reddish suspended matter ("red wave"). Both these sources remarkable changed water transparency in the Paraná.

INTRODUCCION

La transparencia del agua es uno de los factores más utilizados en Limnología para evaluar las condiciones tróficas y la calidad del agua de un ambiente acuático, en especial en cuerpos de agua donde la misma está controlada por la turbiedad autóctona, o más precisamente por la cantidad de algas. Desde 1866, el disco de Secchi constituye una de las herramientas más antiguas empleadas para efectuar mediciones rápidas de la transparencia del agua. A pesar de su simplicidad, el método puede resultar muy útil en la obtención de este importante parámetro.

Según algunos autores ², esta determinación deja de ser válida para calificar las relaciones tróficas en ríos y lagos con altos contenidos de sedimentos en suspensión, particularmente con predominancia de arcilla. Juday y Birge ¹¹, llegaron a la conclusión de que *el color del agua* constituye un factor más importante que *el plancton* en la disminución de la transparencia y, a su vez, Brezonik ² observó que el efecto relativo del color orgánico sobre el disco de Secchi es mayor en aguas con baja turbiedad. En lo referente al río Paraná este tipo de información es relativamente escasa^{1, 5, 6}. El presente trabajo constituye un aporte al conocimiento de estos temas, enfatizando la incidencia de la granometría del sedimento suspendido sobre la transparencia del agua, en una sección transversal del cauce principal del río Paraná en su tramo medio.

MATERIAL Y METODOS

La sección de muestreo se halla situada 2,7 km aguas arriba de la ciudad de Paraná (Perfil Toma de Aguas Corrientes), en un punto donde fluye aproximadamente el 85 % del caudal total para todo el valle aluvial. Fue seleccionada sobre la base de una serie de factores ya enumerados en otro trabajo⁸.

Las muestras de agua, con volúmenes que oscilaron entre 2 y 2,5 litros, fueron obtenidas a 0,20 m de profundidad en el centro del cauce con periodicidad quincenal, desde octubre de 1976 hasta diciembre de 1977. Se utilizó un captador continuo por bombeo, recoigiéndose las muestras en bidones de plástico directamente de la manguera del muestreador, trasladándose las en el día al laboratorio.

La concentración de los sedimentos suspendidos se determinó mediante filtrado al vacío, empleando filtros de vidrio poroso con capacidad de retención de partículas mayores de $1\ \mu\text{m}$.

Los análisis granométricos fueron llevados a cabo mediante el método del tubo de extracción de fondo^{9, 10}, sin agregado de dispersantes.

La transparencia fue medida *in situ* con un disco de Secchi de 0,20 m de diámetro, pintado con cuadrantes blancos y negros. El coeficiente de extinción ϵ se calculó mediante la expresión $1,7/D$, donde D es la profundidad en metros a la cual el disco deja de ser visible³.

Los registros hidrométricos fueron obtenidos del limnómetro existente en el puerto de la ciudad de Paraná y los caudales, de la curva de descarga elaborada para esa sección en el "Área de Entorno Físico" del Instituto Nacional de Limnología (INALI, CONICET).

Para estimar el grado de asociación entre las variables utilizadas en este trabajo, se calculó el coeficiente de correlación lineal simple (r). Para el tratamiento estadístico de los datos, fue utilizada una computadora Texas Instruments TI-99/4A.

RESULTADOS Y DISCUSION

Caudal - transparencia

Durante el período de estudio, el caudal presentó un comportamiento típico para este tramo del río¹³, con máximos en febrero-marzo ($25.000\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$) y mínimos en setiembre ($10.900\ \text{m}^3\ \text{s}^{-1}$). La transparencia, si bien no mostró una relación muy clara en el período en que se producen los picos de caudal, registró una buena correlación lineal inversa con el mismo, con un valor de $r = -0,67$ ($p < 0,001$).

Para comprender la relación entre estos dos parámetros, resulta necesario conocer la proveniencia de los principales aportes líquidos y el tipo de sedimento que llevan en suspensión. En el tramo medio del río Paraná, aquéllos derivan fundamentalmente de los caudales aportados por su cuenca superior⁷, los cuales transportan el material originado por el lavado de los suelos latosólicos, de gran difusión en aquélla¹². Por este motivo, entre octubre de 1976 y febrero de 1977, puede observarse que la disminución de la transparencia no va acompañada, como se podría suponer, de un aumento en la concentración de los sólidos suspendidos. En cambio, el caudal presenta para

ese mismo período, un aumento progresivo (fig. 1).

Esto lleva a pensar que ese decrecimiento es más bien producido por el color que por la cantidad del sedimento transportado en suspensión por el río Alto Paraná. Este hecho fue señalado por Depetris⁴, quien observó que las "ondas rojas" como él llamó a la intensa coloración rojiza que presentan las aguas del Paraná entre octubre y marzo, son debidas al aporte de caolinita, que es el producto final de la meteorización en regiones tropicales con suelos como el señalado anteriormente.

El desfase presentado por los picos de caudal y los valores mínimos de transparencia, puede ser explicado por el retraso de las máximas concentraciones de sedimentos suspendidos aportados por otras regiones de la cuenca, pero no por la del Alto Paraná.

Lógicamente, a partir de junio se detecta una mejor relación inversa entre el caudal y la transparencia, debido a que si bien el río transporta aproximadamente la misma concentración de sólidos suspendidos que la registrada en el período octubre 1976- febrero 1977, su calidad es distinta (no rojiza).

Concentración de los sedimentos suspendidos - transparencia

El comportamiento sedimentológico del río Paraná en su tramo medio estaría determinado por la incidencia combinada de la carga suspendida aportada por el sistema Bermejo-Paraguay inferior y por los caudales líquidos provenientes del Alto Paraná. Como ha sido demostrado en un trabajo anterior⁷, la característica distintiva en este tramo y para el período investigado, consistió en el atraso del pico de las concentraciones con respecto a los máximos caudales, en este caso en más de un mes (fig. 1).

La concentración máxima de 460 mg l^{-1} se detectó en abril y la mínima de 68 mg l^{-1} en agosto; la concentración media para todo el período fue de 165 mg l^{-1} . La transparencia muestra sus valores mínimos en coincidencia con los picos máximos de concentración (disco de Secchi = $0,08 \text{ m}$) y viceversa (Secchi = $0,50 \text{ m}$). Por lo tanto, la correlación es inversa entre estos factores, con un $r = -0,81$ ($p < 0,001$).

Es oportuno señalar que, a similares valores de concentración de sólidos suspendidos, la transparencia del agua es menor a fines de 1976 y principio de 1977 que entre junio y noviembre de 1977 (fig. 1). Este fenómeno se debe a la coloración de las aguas que llegan de la alta cuenca del Paraná y que afectan, como se dijo anteriormente, la visibilidad del disco de Secchi. Un efecto similar, producido en julio por aportes del río Iguazú ("repunte del pejerrey"¹³), interrumpe la progresiva disminución de la turbiedad de las

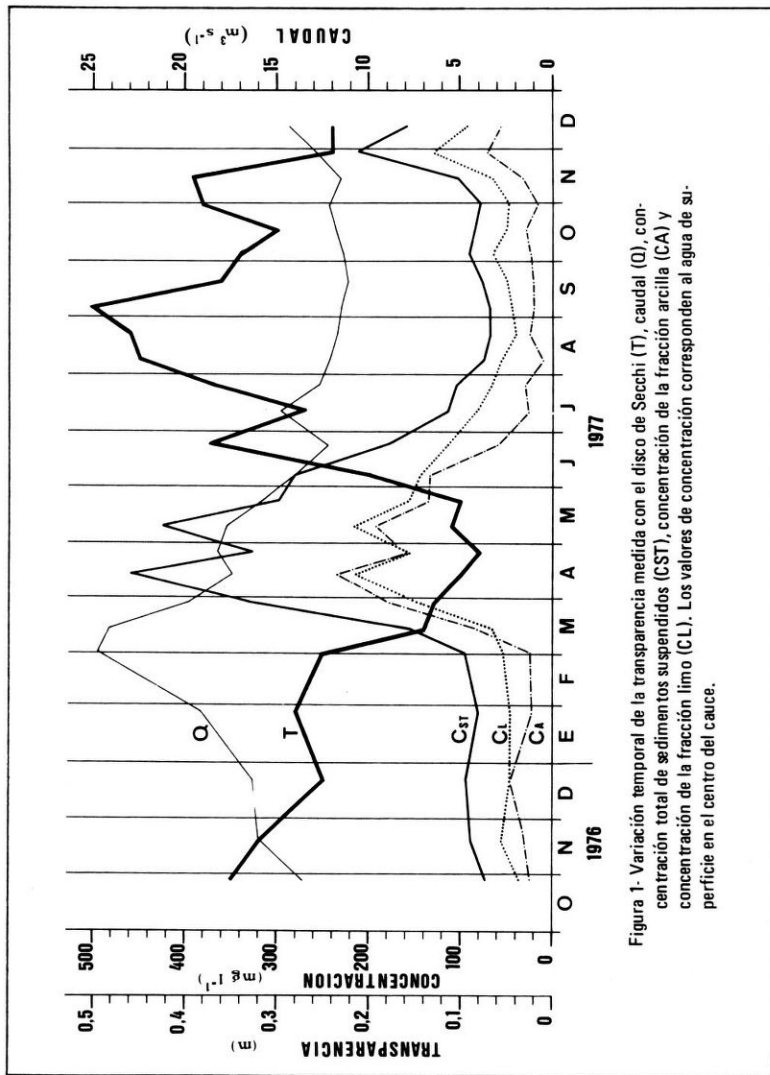


Figura 1- Variación temporal de la transparencia medida con el disco de Secchi (T), caudal (Q), concentración total de sedimentos suspendidos (CST), concentración de la fracción arcilla (CA) y concentración de la fracción limo (CL). Los valores de concentración corresponden al agua de superficie en el centro del cauce.

aguas mediante el aporte de material que conforma una "onda roja", provocando el descenso de los valores de la transparencia.

Este fenómeno se reinicia a mediados de noviembre, época en que comienzan nuevamente los aportes líquidos de coloración rojiza del Alto Paraná.

Granometría de los sedimentos suspendidos - transparencia

Las concentraciones extremas, en mg l^{-1} , detectadas durante el período de estudio fueron las siguientes: arena: máximo = 17,00- mínimo = 1,17; limo: máximo = 215,28- mínimo = 36,50; arcilla: máximo = 234,60- mínimo = 9,88.

De estos valores y del cuadro 1, puede deducirse que la fracción arena es la menos representada en el material transportado en suspensión. Así, el análisis del grado de asociación con la transparencia dio un resultado no significativo, de lo cual se puede inferir que en este río, la arena suspendida no afecta la visibilidad del disco de Secchi.

No sucede lo mismo con las fracciones limo y arcilla, que influyen negativamente sobre la transparencia. Los coeficientes de correlación lineal respectivos resultaron -0,76 y -0,83 ($p < 0,001$). Se debe destacar además, que las concentraciones de limo superan siempre a las de arcilla, excepto lo registrado durante los meses de marzo y abril de 1977 (cuadro 1, fig. 1).

En relación con lo expresado anteriormente, se han detectado como era de esperar, buenas correlaciones entre el coeficiente de extinción y las fracciones de limo y arcilla, con r iguales a 0,81 y 0,89 ($p < 0,001$) respectivamente. Aquí se nota también, una mayor incidencia de la arcilla sobre la transparencia del agua.

La mayor penetración lumínica se registró en setiembre, con un $\epsilon = 3,4 \text{ m}^{-1}$ y una transparencia de 0,50 m; la menor en abril, con un $\epsilon = 21,2 \text{ m}^{-1}$ y una transparencia de 0,08 m.

CONCLUSIONES

Las variaciones de la transparencia de las aguas en el tramo medio del río Paraná se hallan relacionadas con el caudal y la concentración de los sedimentos suspendidos. Así, sus valores máximos se registran durante los meses de estiaje y sus mínimos, en los períodos de aguas altas, sobre todo luego de haberse registrado los picos de caudales.

Para comprender su comportamiento, debe tenerse en cuenta la relación

Cuadro 1

Porcentajes de arena, limo y arcilla en los sedimentos suspendidos de una estación superficial en el centro del cauce principal del río Paraná (Perfil Toma de Aguas Corrientes).

FECHA	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)
28-10-76	22	50	28
18-11-76	6,2	61,3	32,5
21-12-76	2,5	48,5	49
27-01-77	14,5	56,5	29
01-03-77	8	56	36
14-03-77	5,5	42,2	52,3
28-03-77	2,5	43,5	54
13-04-77	2,2	46,8	51
25-04-77	3,5	48	48,5
09-05-77	4	50,5	45,5
23-05-77	2	52,5	45,5
06-06-77	1	51,5	47,5
23-06-77	2,4	64,1	33,5
11-07-77	3,8	72,9	23,3
25-07-77	8	63,5	28,5
08-08-77	13	74	13
28-08-77	5,5	58,2	36,3
05-09-77	7,5	63,5	29
19-09-77	8	65	27
04-10-77	2,5	71	26,5
17-10-77	7,5	58,8	33,7
31-10-77	19,5	60,5	20
14-11-77	5,5	63,5	31
28-11-77	5	61,5	33,5
12-12-77	4,2	59,4	36,4

entre caudales y sólidos suspendidos, provenientes estos últimos del Alto Paraná y principalmente del sistema Bermejo - Paraguay inferior.

De acuerdo a ello, ha sido posible obtener las siguientes conclusiones:

- 1) En determinadas circunstancias, aumentos de caudal son acompañados por una disminución en las lecturas de la transparencia. Esto coincide con lo demostrado por Bonetto¹⁷ en el Alto Paraná, a la altura de Itá Ibaté. Este autor aporta datos obtenidos entre agosto y diciembre de 1977, los cuales ilustran el hecho mencionado y concuerdan con lo registrado en este trabajo.

La relación expresada en el párrafo anterior, debe ser comprendida teniendo en cuenta el comportamiento de las concentraciones de los sedimentos suspendidos y la calidad y granulometría de estos últimos según su origen. En efecto, en la fig. 1, se observa que al iniciarse el período de creciente (octubre-noviembre), se produce una disminución de la transparencia. Este decrecimiento no es acompañado por una significativa elevación de la concentración de los sólidos suspendidos. En este caso, el origen y por ende la calidad (coloración rojiza) de los sedimentos aportados al sistema, son los que ejercen una evidente influencia sobre la transparencia, no sólo en el tramo medio sino también en el Alto Paraná^{1, 4}. En otras palabras, la incidencia de las "ondas rojas" producto del lavado de los suelos lateríticos de la alta cuenca (con arcillas predominantemente caoliníticas⁴), sobre los valores del disco de Secchi sería fundamental en los comienzos del período de creciente⁴ y en otras circunstancias hidrológicas especiales, como la del "repunte del pejerrey" (creciente del río Iguazú).

- 2) A su vez, las mínimas transparencias se detectan posteriormente a la ocurrencia de los picos de caudal, en coincidencia con las concentraciones máximas, aportadas por el sistema Bermejo-Paraguay inferior, como se ha demostrado anteriormente⁷. El mineral de arcilla típico contenido en esos sedimentos es la illita, que si bien mantiene un alto porcentaje a través de todo el año⁴, no provoca variaciones notables sobre la transparencia.

El elevado porcentaje de las fracciones de limo y arcilla contenidas en suspensión en aguas altas (98 % del total), origina los valores mínimos de transparencia detectados en el período estudiado.

Finalmente, si bien estas dos fracciones componen el 93 % de los sedimentos suspendidos en el período de aguas bajas, no alcanzan a reflejar ninguna incidencia notable sobre la transparencia a causa de las bajas concentraciones, alcanzando aquélla sus máximos valores.

- 3) Con referencia a la mínima transparencia, detectada a fines de abril (fig. 1), puede explicarse por la acción combinada de dos tipos de sedimentos. En efecto, en ese momento se superponen la alta concentración proveniente del Bermejo - Paraguay y la tonalidad rojiza del material que llega del Alto Paraná ("onda roja"). Puede observarse que si bien se produce una disminución en concentración, ésta sigue presentando un valor alto (327 mg l^{-1}). Paralelamente, el aumento de caudal es provocado por aportes del Alto Paraná, que se visualizan en la zona, no sólo por el au-

mento de los niveles hidrométricos sino también por coloración del material que aquéllos transportan en suspensión.

REFERENCIAS

- 1- Bonetto, C. 1980. Estimación de la transparencia del agua en función de las variaciones de la altura hidrométrica en el Alto Paraná. *Hist. Nat.*, 1: 93 - 100.
- 2- Brezonik, P. 1978. Effect of organic color and turbidity of Secchi disk transparency. *J. Fish. Res. Board Can.*, 35: 1410-1416.
- 3- Cole, G. 1979. Textbook of Limnology. Mosby . St. Louis . 426 p.
- 4- Depetris, P. 1979. Mineralogía de la fracción arcilla en suelos lateríticos de la provincia de Misiones (Argentina). Su posible relación con los sedimentos suspendidos del río Paraná. *Actas del Sexto Congreso Geológico Argentino*, 2: 275-280.
- 5- Drago, E. y J. Marchetti, 1973. Estimación del seston en base a valores de disco de Secchi y turbiedad. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 4: 97-104.
- 6- Drago, E. y M. Vassallo, 1980. Campaña limnológica "Kerattella I" en el río Paraná medio: Características físicas y químicas del río y ambientes leníticos asociados. *Ecología*, 4: 45-54.
- 7- Drago, E. y M. Amsler, 1981. Sedimentos suspendidos en el tramo medio del río Paraná: Variaciones temporales e influencia de los principales tributarios. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 12: 28-43.
- 8- Drago, E. 1984. Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná, I: Caracteres morfológicos e hidrológicos. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15:1-6 .
- 9- Guy, H. 1977. Sediment measurement techniques. E. Laboratory Procedures (p. 401-428). En: Sedimentation Engineering (Vanoni, Ed.). *Manuals and Reports on Engineering Practices* N° 54, ASCE. N. York. 745 p.
- 10- Interagency Committee. 1943. A study of new methods for size analyses of suspended sediment samples. Report N° 7, Federal Interdepartmental Committee, Hydraulics Laboratory of the Iowa Institute of Hydraulic Research, Iowa City, Iowa.
- 11- Juday, C y E. Birge, 1933. The transparency, the color, and the specific conductance of the lake waters of northeastern Wisconsin. *Trans. Wis. Acad. Sci., Arts Lett.*, 28: 205-259.
- 12- O.E.A. 1969. Inventario de datos hidrológicos y climatológicos. Cuenca del Plata: Estudio para su planificación y desarrollo. O.E.A. Washington, D. C. 272 p.
- 13- Soldano, F. 1947. Régimen y aprovechamiento de la red fluvial argentina. *Cimera. B. Aires* 277 p.