



Erosión fluvial en la cuenca del río Bermejito (Prov. del Chaco, Argentina)

Oscar Orfeo⁽¹⁾ y Carlos A. Depettris⁽²⁾

SUMMARY:

"FLUVIAL EROSION IN THE BERMEJITO RIVER BASIN (Chaco Province, Argentina)".

Size, distribution and longitudinal changes of suspended load was analyzed in Bermejito River, located in the Chaco subtropical plain. Temporal variability was compared with hydrometric levels and rainfalls in selectionated areas of the drainage basin. Field activities were carried out in three sections with free runoff and one section with reduced velocity for natural causes. Samples were taken with an instantaneous point-sampler placed at 20%, 60% and 80% of depth, through equally spaced verticals across the sections. Laboratory procedures includes filtering through 62 μ open sieve and subsequently through filters with 4 μ and 0,45 μ pores, for retention sand, silt and clay fractions, respectively.

Mean textural composition in the free-runoff sections comprised silts (95%) and clays (5%). Concentration had an homogeneous distributiou in the flow, owing to the turbulence effect. Longitudinal changes were related with the transport capacity of the water course. Rainfall determined a quick increment of the suspended sediment concentration by wash-load incorporation owing to the scarce vegetal protection. The restrict runoff section had fewer suspended sediment concentration and a greater clay fraction proportion. Sediment yield was estimated in 12.4 tn/km²/yr and the present erosion rate was calculated in about 5 mm for each 1000 years.

INTRODUCCION

El área estudiada (63°20'W-23°50'S y 60°10'W-25°45'S) queda comprendida en la llanura chaqueña dentro de los "abanicos aluviales del oeste" (Iriondo, 1987), los cuales poseen escasa pendiente (por debajo de 1:1000), limos y arcillas como componentes principales, depósitos psamíticos limitados a fajas estrechas y psefticos restringidos a los ápices. La cuenca del río

(1) Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL); Casilla de Correo 291 (3400) Corrientes -Argentina-

(2) Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste; Las Heras 727 (3500) Resistencia, Chaco -Argentina-

Bermejito, de 20.600 km² de superficie, está ubicada dentro del abanico aluvial del río Bermejo (Iriondo, *op. cit.*), en el cual desemboca. El canal fluvial, de diseño meandroso, tiene rumbo predominante NW-SE (fig. 1).

El aprovechamiento previsto para el río Bermejito, que incluye la derivación de excedentes hídricos del río Bermejo, la provisión de agua a centros poblados, y la colonización de áreas bajo riego, requiere el conocimiento adecuado del recurso y su cuenca. Los procesos involucrados en el transporte fluvial de materiales ocurren controlados en el tiempo por leyes probabilísticas, siendo la precipitación la fuente más obvia de aleatoriedad (Woolhiser y Renard, 1980).

Los sedimentos transportados en suspensión prolongada en una corriente de agua permiten evaluar con sensibilidad la dinámica del paisaje, siendo considerados indicadores de discontinuidad espacial (Neiff, 1986a). De tal modo, los cursos de agua de la región considerada se comportan como "colectores sintéticos", reflejando en forma incipiente procesos de deterioro ambiental (Neiff, 1986b).

Aún con el desarrollo de ecuaciones predictivas respecto a la erodabilidad de los terrenos, el mejor método para obtener valores de producción y transporte de sedimentos es la medición directa en sitios seleccionados de la cuenca (Kent Mitchell y Bubenzer, 1984) contemplando la distribución horizontal y vertical de cada fracción debido a fuerzas tractivas. La alternativa recomendada consiste en desarrollar un programa de muestreos y mediciones basado en evidencias empíricas, por un período de tiempo que permita establecer las propiedades estadísticas del registro de sedimentos (Nordin, 1980).

Sobre dicha base, se analizaron los siguientes aspectos de la carga suspendida del río Bermejito: tamaño de partículas, distribución espacial, variabilidad temporal, incorporación a la red de drenaje, relaciones con lluvias y caudales, relación con la turbidez de la corriente. A partir de dichos resultados se calculó:

transporte anual de sedimentos suspendidos, producción de sedimentos en la cuenca y velocidad de erosión por acción fluvial.

METODOLOGIA

Se fijaron cuatro secciones de aforo relativamente equidistantes, localizadas en Nueva Pompeya (Sección A), Palo Marcado (Sección B), Santa Ana (Sección C) y Villa río Bermejito (Sección D), separadas por unos 280 km de canal (fig. 1). Los aforos se llevaron a cabo en situaciones hidrológicas críticas del ciclo (crecientes y estiajes).

El cálculo de caudales se realizó por el método de las áreas parciales. La velocidad de la corriente se midió con correntómetro ubicado en cinco puntos de cada vertical: subsuperficie, 20% , 60% , 80% de la profundidad a partir de la superficie, y fondo. El número y distribución de las verticales fue determinado según la geometría del canal en cada sección. En verticales seleccionadas (generalmente dos), se tomaron muestras replicadas de sólidos suspendidos al 20%, 60% y 80% de la profundidad, mediante captador puntual instantáneo (tipo Van Dorn).

En las secciones A y B los muestreos de sedimentos suspendidos se llevaron a cabo con frecuencia semanal, intensificándolos durante las precipitaciones, para ponderar las variaciones temporales y el efecto de las lluvias.

En laboratorio se calculó concentración y particulometría de sólidos suspendidos, y turbidez de las muestras de agua (Pedrozo y Orfeo, 1986; Orfeo, 1992a y Orfeo, 1992b). La correlación entre concentración de sólidos suspendidos y turbidez se llevó a cabo mediante el coeficiente de Pearson sobre datos no transformados.

Para calcular la velocidad de erosión se emplearon las siguientes ecuaciones:

- 1) Corbel (1959): $D = 0,04 E T$
donde, D: velocidad de erosión (mm/1000 años); E: coeficiente de escurrimiento (dm); T: concentración de sedimentos suspendidos (mg/l).
- 2) Judson y Ritter (1964): $D = 0,34216 P$
donde, D: velocidad de erosión (mm/1000 años); P: producción de sedimentos (tn/km²/año)

RESULTADOS Y DISCUSION

Tamaño de partículas

Se mencionan dos tipos de carga suspendida en cursos de agua (Spalletti, 1986): a) suspensión gradada, donde el material se traslada ordenado verticalmente por su tamaño, con transferencia hacia el fondo y paredes del canal; y b) carga de lavado, integrada por partículas muy finas que tienden a permanecer suspendidas en su trayectoria. Esta última es incorporada a la corriente por lavado en manto durante las tormentas y erosión de bancos. Ello sería el caso del río Bermejito donde el tamaño más abundante de partículas suspendidas correspondió a la fracción limo (alrededor del 95%) con arcillas subordinadas (entre 1 y 5%).

Los cambios (verticales, horizontales o longitudinales) en la abundancia relativa de dichas fracciones, no permitieron circunscribir tendencias definidas (tabla 2). Esto se vincula con la turbulencia del flujo en canales naturales que involucra a todas las partículas inferiores al tamaño arena ($< 62\mu$), y que en la práctica son consideradas en conjunto como carga de lavado (Nordin, 1985; Meade, 1988). Lo dicho fue notorio en el período estudiado por corresponder a un ciclo de escasas precipitaciones, determinando niveles hidrométricos bajos que favorecieron la mezcla de la corriente.

La sección D mostró una variante significativa por reducción sustancial del escurrimiento debido a la proximidad del sistema colector, siendo un sitio adecuado para evaluar la respuesta del medio a obras de represamiento. Una marcada reducción de la concentración de sólidos suspendidos, fue acompañada por cambios en su distribución granométrica. La fracción limo varió entre 56 y 80%, con arcilla restante. En éste, como en casos anteriores, la fracción arena estuvo ausente.

Distribución espacial de la carga sólida

Las variaciones de concentración de sólidos suspendidos fueron moderadas y permiten aceptar una distribución vertical relativamente homogénea.

Las concentraciones de mayor magnitud fueron más frecuentes al 60 y 80% de la profundidad, en proporción muy semejante. Concentraciones elevadas al 20% de la profundidad pueden considerarse ocasionales. La diferencia entre las concentraciones superficiales y la media de toda la sección en general no superó el 3% (excepcionalmente 5%), con ligera tendencia a la subestimación de la media. Las concentraciones verticales medias de cada sección, estuvieron vinculadas a modificaciones en la velocidad de la corriente.

En las secciones de aforo A, B y C, se aprecia una relación inversa entre descarga y concentración de sólidos suspendidos, al igual que en diversos cursos de agua del Chaco Oriental (Orfeo, 1986). De acuerdo al modelo que explica la dinámica hidrosedimentológica de otro río de llanura subtropical (Orfeo, 1988), en el inicio de la creciente cabe esperar la removilización de los materiales depositados en bancos y canales durante la bajante. En aguas definitivamente altas el río disminuye su carga de lavado, al tiempo que las partículas se dispersan por aumento de caudal; mientras que en aguas bajas la descarga y el transporte de sedimentos disminuyen conjuntamente. Lo dicho explicaría la

vinculación poco significativa que se observa en el río Bermejito entre caudal y transporte de sedimentos. En cambio, la alta correspondencia entre concentración y transporte de sólidos suspendidos, acuerda a la primera un aceptable valor de control de este último (fig. 2).

En la sección D se aprecia una merma en la concentración con respecto a las secciones ubicadas aguas arriba, que osciló entre 65 y 92%. Esta característica fue acompañada por aumento del área de escurrimiento y marcada disminución de la velocidad de la corriente, causados por el remanso hidrodinámico de la confluencia con el canal colector (fig. 1).

En el período estudiado se observó aumento y disminución de la descarga líquida (fig. 2). En este último caso hubo reducción de la concentración de sólidos suspendidos, en cambio el aumento de caudal tuvo consecuencias disímiles según su magnitud. Valores que aumentaron de 8,0 a 9,5 m³/s incrementaron también la concentración de sedimentos suspendidos, pero aumentos de caudal en un rango más bajo (1,7 a 2,3 m³/s) tuvieron marcada disminución de la carga sólida. Se interpreta que por debajo de determinado umbral hidrodinámico (velocidad crítica) el curso tiende a abandonar su carga, independientemente de la tendencia regional del caudal.

Variabilidad temporal de los sólidos suspendidos

Las variaciones temporales de la concentración de sólidos suspendidos fueron pequeñas, como cabe esperar en cursos con sedimentos finos (Ashida, 1980). Las fluctuaciones estuvieron estrechamente vinculadas a las lluvias, corroborando su importancia en la incorporación de la carga de lavado.

Cuando el incremento de caudal no fue consecuencia de lluvias locales, hubo desfase temporal entre los picos de creciente líquido y sólido. En la sección A, el pico de carga sólida llegó 7 días después que el líquido durante enero y febrero. La misma

onda de creciente hidrométrica alcanzó 5 días después la sección B, en cambio el aumento de sedimentos suspendidos llegó 7 días más tarde (fig. 3).

El efecto de las lluvias sobre la carga sólida es importante en cuencas de reducida extensión con escasa cubierta vegetal (Woolhiser y Renard, 1980), y es más notable en el período de bajante. Lluvias de 100 mm en 24 horas tuvieron efecto contrastado según el estado hidrológico del curso (fig. 3 y 4).

En noviembre las precipitaciones afectaron ligeramente tanto el nivel del río (de 1,29 a 1,36 m de la escala hidrométrica) como la concentración de sólidos suspendidos (de 126 a 133 mg/l). En cambio, precipitaciones similares en diciembre provocaron aumentos ostensibles dos días después de la lluvia: de 0,54 a 0,68 m en el nivel hidrométrico y de 120 a 720 mg/l en la concentración de sólidos suspendidos. Incluso lluvias de 10 mm (fig. 3, febrero) no afectaron la tendencia decreciente del caudal pero sí incrementaron la carga suspendida.

En aguas altas, lluvias frecuentes provocaron importantes aumentos en el nivel del río pero disminución en la concentración de sedimentos. Ello se vincularía con el efecto agotamiento (depletion effect) que explica la dispersión de partículas por incremento persistente del caudal (Meade, 1988).

Relación entre sólidos suspendidos y turbidez del agua

Se compararon 177 lecturas de turbidez (NTU) de las muestras líquidas con sus equivalencias de concentración de sólidos suspendidos (mg/l), buscando una alternativa de control sedimentométrico para una valoración rápida y simultánea de numerosos puntos.

Se observó una curva exponencial (fig. 5) con los siguientes índices de correlación: sección A: $r=0,992$; sección B: $r=0,979$; sección C: $r=0,991$. El error de la determinación indirecta (Kunkle y Comer, 1971) fue igual a $\pm 9\%$, $\pm 10\%$ y $\pm 7\%$ en

las secciones A, B y C, respectivamente. Los mayores porcentajes de error estuvieron asociados a las menores concentraciones (generalmente inferiores a 150 mg/l).

Velocidad de erosión fluvial

Por tratarse de un período seco, la superficie de aporte activo del río Bermejito fue estimada en 9.400 km², es decir, aproximadamente la mitad de la extensión de su cuenca.

En la sección A, el escurrimiento desde enero a diciembre de 1988 ascendió a 428,16 Hm³ y la concentración media de sólidos suspendidos para el mismo período fue igual a 274,12 mg/l (tabla 1). Ello representa un transporte anual de sedimentos de 117.307 tn y una producción anual de sedimentos igual a 12,4 tn/km²/año.

Aunque las mayores concentraciones se corresponden con caudales reducidos, con propósito especulativo se repitieron los cálculos empleando la concentración media máxima del presente período (696,33 mg/l en la sección A). En este caso la producción anual de sedimentos ascendería a 31,7 tn/km², sensiblemente inferior a la de otros cursos de agua del Chaco Oriental (Orfeo y Depettris, 1988).

La velocidad de erosión es un índice de utilidad para evaluar la intensidad de los procesos de degradación y su proyección temporal, aún con las limitaciones implícitas en los métodos de cálculo.

Conforme a las ecuaciones utilizadas, la actual velocidad de erosión fluvial del río Bermejito sería igual a 5,65 y 4,27 mm por milenio según las expresiones 1) y 2) respectivamente. Empleando los valores máximos medidos de concentración y producción de sedimentos, la velocidad de erosión ascendería a 14,37 (ecuación 1) y 10,84 (ecuación 2) mm por milenio.

CONSIDERACIONES FINALES

Los sedimentos suspendidos del río Bermejito estuvieron constituidos fundamentalmente por limos (95%) y arcillas (5%) con variaciones vinculadas a la velocidad y turbulencia del medio.

La concentración de sólidos suspendidos en las secciones de escurrimiento libre (A, B y C) tuvo valores extremos entre 51 y 726 mg/l, distribuyéndose en forma aproximadamente homogénea en el flujo aunque predominó el transporte entre el 60 y 80% de la profundidad.

El promedio de las mediciones superficiales (20% de la profundidad) transversales al curso, tuvo poca variación con respecto a la concentración media de toda la sección considerada, pudiendo utilizarse como alternativa rápida de muestreo y control.

Operando con procedimientos estandarizados y adecuadamente calibrados, la turbidez de las muestras de agua ofrece una opción expeditiva para evaluar las variaciones de concentración de sólidos suspendidos y estimar su valor en peso, con un error de $\pm 10\%$ en esta cuenca.

Los materiales suspendidos fueron abandonados al disminuir el caudal. Incluso permanecieron depositados cuando aumentó sin superar la velocidad crítica de erosión. A partir de éste límite, caudal líquido y sólido mantuvieron una relación directa.

La concentración, textura y, sobre todo, la dinámica de los sedimentos suspendidos no parecen responder a procesos erosivos localizados (cárcavas, desplomes, migración de canales), sino a la incorporación de materiales superficiales de la cuenca como carga de lavado, donde las lluvias tuvieron un efecto decisivo. La relación entre precipitación y concentración de sólidos suspendidos, permite acordar a estos últimos valor significativo como descriptores de eventos pluviales.

La sección de escurrimiento restringido (D) por la proximidad del canal colector, ofreció una aproximación natural a su represamiento. Las principales diferencias con respecto a las

secciones anteriores, fueron: reducción importante en la concentración de sólidos suspendidos (que alcanzó el 92%) y aumento de la fracción arcilla (hasta el 44%) por sedimentación de las partículas de limo. El área transversal de escurrimiento aumentó considerablemente (unas 8 veces) y el movimiento de agua fue mínimo y subsuperficial.

El transporte anual de sedimentos suspendidos se calculó en 117.307 tn, que representa una producción media de 12,4 tn/km²/año. La velocidad de erosión fluvial actual fue estimada en alrededor de 5 mm por milenio, interpretándose que en este período la cuenca del río Bermejito no evidencia deterioro ambiental ni episodios erosivos de significación.

AGRADECIMIENTOS

A los doctores Martín H. Iriondo (Universidad Nacional del Litoral, Argentina) y Luis A. Spalletti (Universidad Nacional de La Plata, Argentina), por la lectura crítica del original y sus valiosas sugerencias.

BIBLIOGRAFIA

- Ashida, K., 1980. Field data collection and analysis for sediment yield. In: H. Shen y H. Kikkawa (eds.): *Application of stochastic processes in sediment transport*. Water Res. Publ. Colorado (USA), Chapter 1: 19 p.
- Corbel, J., 1959. Vitesse de l'érosion. *Zeit. Geomorph.*, 3: 1-28.
- Iriondo, M.H., 1987. Geomorfología y Cuaternario de la provincia de Santa Fé. *D'Orbignyana (Argentina)*, 4: 54 p.
- Judson, S. y D. Ritter, 1964. Rates of regional denudation in the United States. *J. Geoph. Res.*, 69(16): 3395-3401.
- Kent Mitchell, J. y G. Bubenzer, 1984. Estimación de la pérdida de suelo. En: Kirkby y Morgan (eds.): *Erosión de suelos*. Ed. Limusa, Mexico, Cap. 2: 35-88.
- Kunkle, S. y G. Comer, 1971. Estimating suspended sediment concentrations in streams by turbidity measurements. *J. Soil and Water Conserv. (USA)*: 18-20.

- Meade, R., 1988. Movement and storage of sediments in river systems. In: A. Lerman y M. Meybeck (eds.): **Physical and Chemical weathering in geochemical cycles**. Kluwer Acad. Pub., Holland: 165-179.
- Neiff, J.J., 1986a. Aspectos metodológicos y conceptuales para el conocimiento de las áreas anegables del Chaco Oriental. **Ambiente Subtropical (Argentina)**, 1: 1-4.
- Neiff, J.J., 1986b. Sinopsis ecológica y estado actual del Chaco Oriental. **Ambiente Subtropical (Argentina)**, 1: 5-35.
- Nordin Jr., C., 1980. Data collection and analysis. In: H. Shen y H. Kikkawa (eds.): **Application of stochastic processes in sediment transport**. Water Res. Publ.; Colorado (USA), Chap. 2: 25 p.
- Nordin Jr., C., 1985. The sediments loads of rivers. In: J. Rodda (ed.): **Facets of Hydrology, Vol.II**. John Wiley y Sons Ltd., Chap. 7: 183-204.
- Orfeo, O. 1986. Estudio sedimentológico de ambientes fluviales del Chaco Oriental. **Ambiente Subtropical (Argentina)**, 1: 60-72.
- Orfeo, O. 1988. Dinámica hidrosedimentológica del río Tapenegá (prov.del Chaco y Santa Fé, Argentina). **II Reunión Arg. de Sedimentología, Actas**: 199-201.
- Orfeo, O., 1992a. Particulometría por filtración selectiva de sedimentos suspendidos finos en muestras muy pequeñas. **IV Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, II**: 139-144.
- Orfeo, O. 1992b. Turbidez como herramienta sedimentométrica en cursos de agua del noreste argentino. **IV Reunión Argentina de Sedimentología, Actas, II**: 145-149.
- Pedrozo, F. y O. Orfeo, 1986. Evaluación de sólidos suspendidos en algunos ríos del noreste argentino: empleo de filtros. **Rev. Asoc. Arg. Min. Petr. y Sedim.**, 17(1-4): 61-66.
- Spalletti, L., 1986. Nociones sobre transporte y sedimentación de sedimentos clásticos. **Fac. Cienc. Nat. y Museo, UNLP (Argentina), Serie Técnica y Didáctica N° 13**, 102 p.
- Woolhiser, D y K. Renard, 1980. Stochastic aspects of watershed sediment yield. In: H. Shen y H. Kikkawa (eds.): **Application of stochastic processes in sediment transport**. Water Res. Publ.; Colorado (USA), Chap. 3, 28 p.

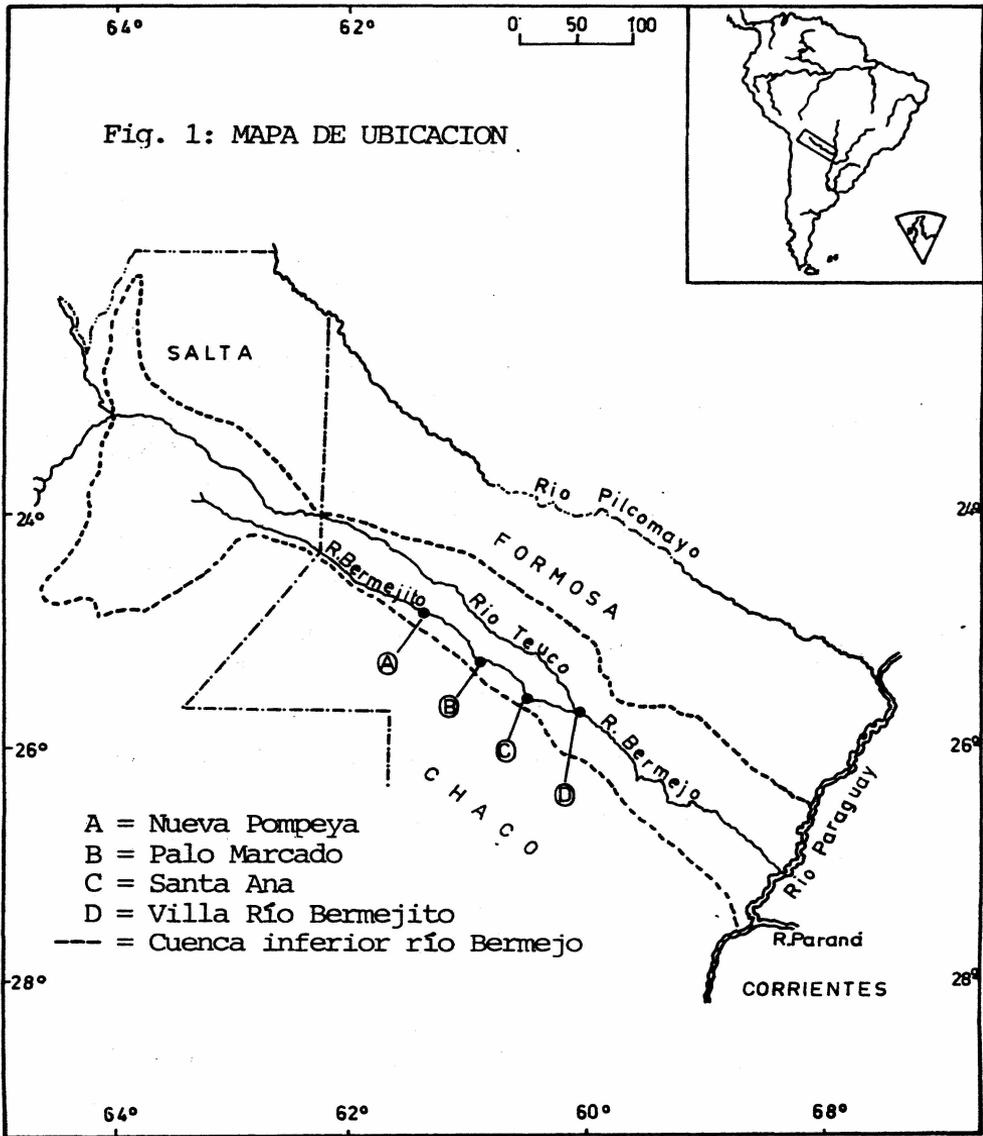


Figura 2: RIO BERMEJITO: VARIABILIDAD ESPACIAL DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS

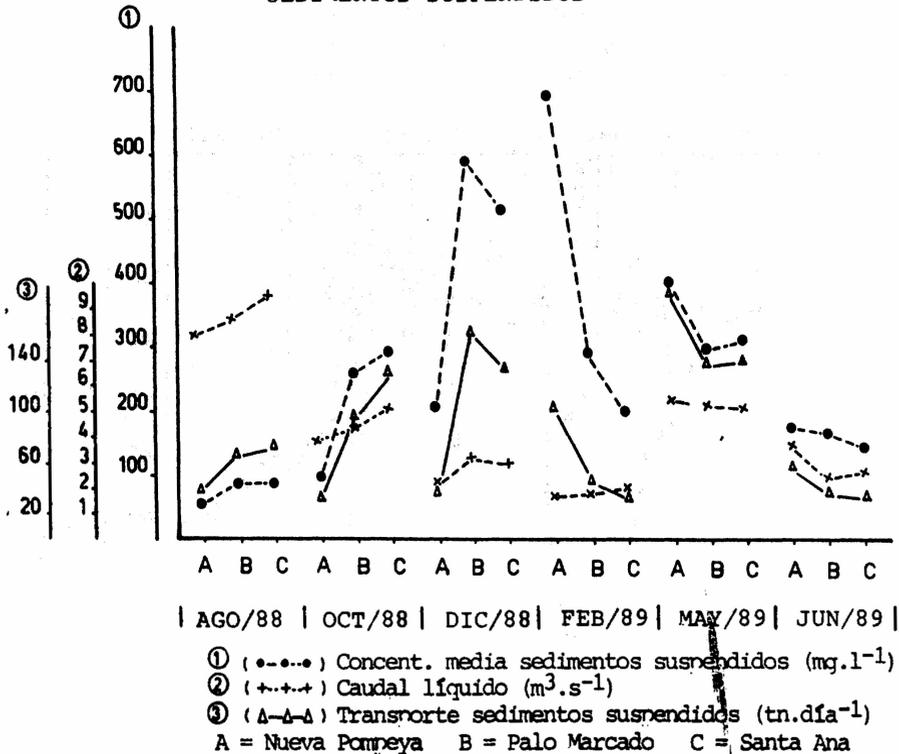


Figura 3: VARIABILIDAD TEMPORAL DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS. SECCION NUEVA POMPEYA

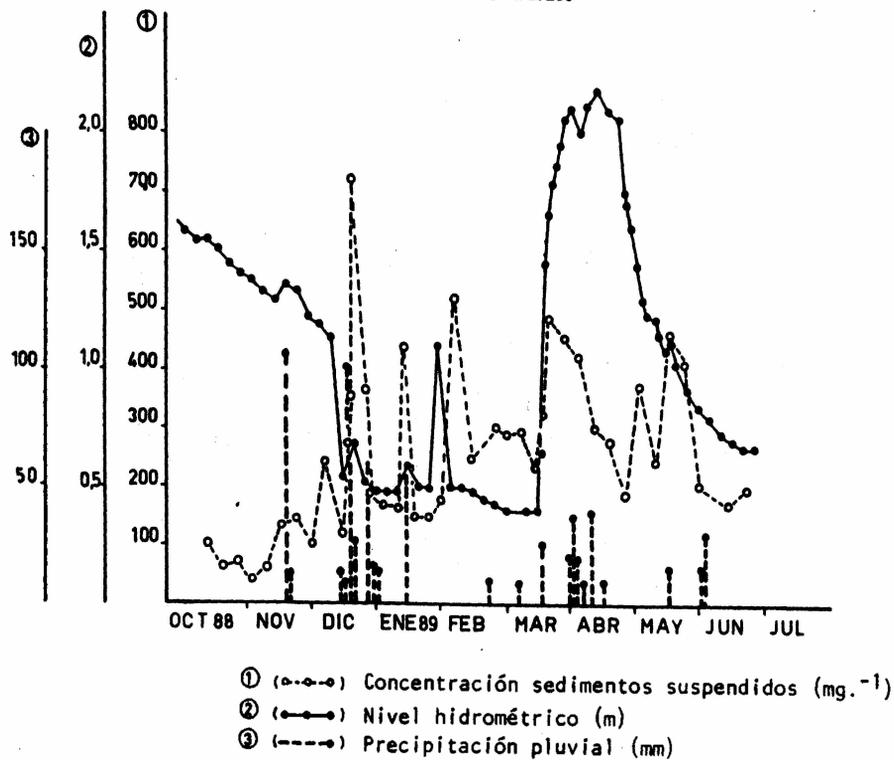


Figura 4: VARIABILIDAD TEMPORAL DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS. SECCION PALO MARCADO

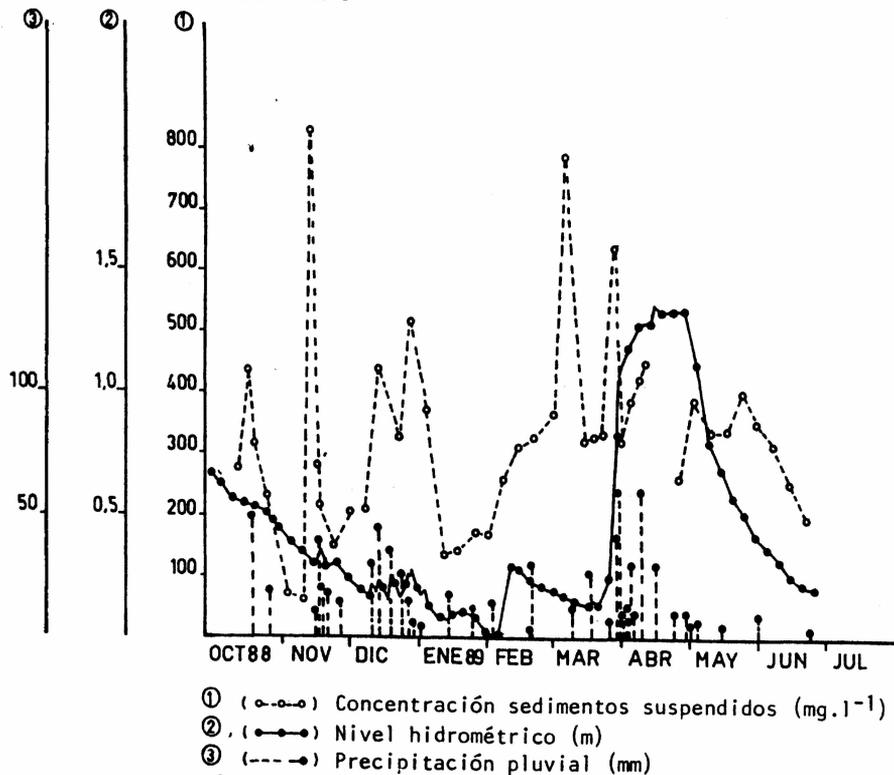


Figura 5: RIO BERMEJITO. RELACION SEDIMENTOS SUSPENDIDOS-TURBIDEZ.

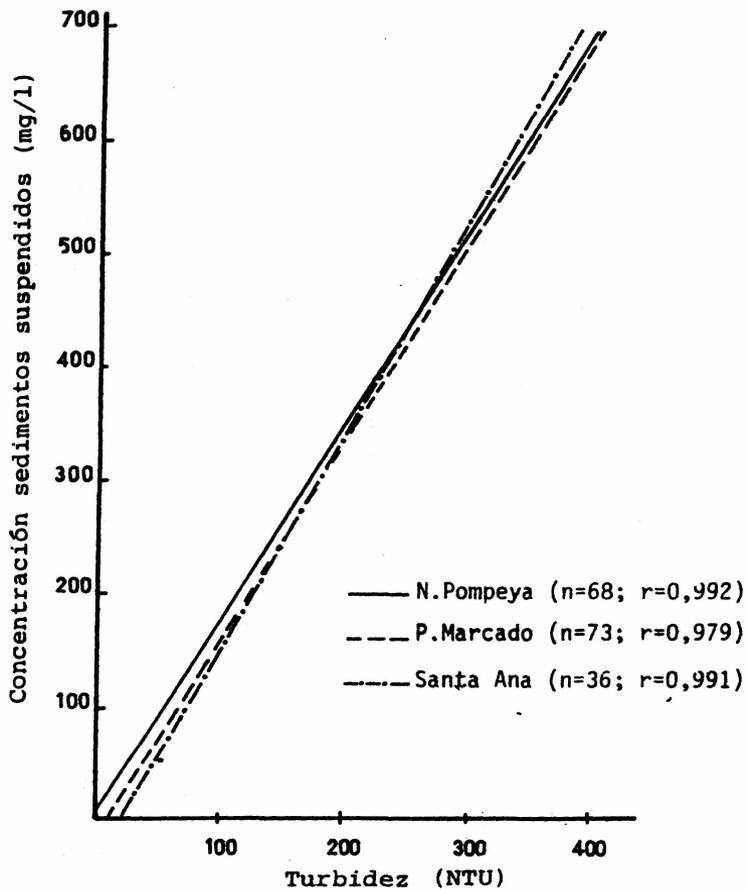


Tabla 1: CONCENTRACION DE SEDIMENTOS SUSPENDIDOS (mg/l) DEL RIO BERMEJITO. LA CONCENTRACION MEDIA INCLUYE TODOS LOS VALORES OBTENIDOS EN LA SECCION CONSIDERADA

Sección	Fecha	Concentración de sedimentos suspendidos		
		Mínima	Máxima	Media
A	05/08/88	51,6	62,0	55,58
	11/10/88	83,0	121,0	97,00
	12/12/88	203,0	218,0	209,83
	07/02/89	652,0	726,0	696,33
	17/05/89	393,0	427,0	407,16
	27/06/89	160,0	427,0	178,83
B	05/08/88	81,0	93,5	87,50
	12/10/88	226,0	295,5	260,00
	12/12/88	567,0	605,0	594,00
	08/02/89	274,0	322,0	294,83
	17/05/89	289,0	318,0	301,33
	28/06/89	147,0	180,0	168,50
C	06/08/88	82,0	93,5	87,41
	13/10/88	272,0	314,0	294,16
	13/12/88	464,0	548,0	517,50
	09/02/89	190,0	220,0	202,33
	18/05/89	308,0	323,0	314,50
	28/06/89	140,0	155,0	146,33
D	13/10/88	44,0	44,0	44,00
	14/12/88	32,0	55,0	42,66
	18/05/89	69,0	153,0	110,00
	29/06/89	46,0	46,0	46,00

A=Nueva Pompeya; B=Palo Marcado; C=Santa Ana;D=Villa Bermejito

**Tabla 2: COMPOSICION GRANOMETRICA (% en peso) DE LOS
SEDIMENTOS SUSPENDIDOS DEL RIO BERMEJITO**

Sección	Fecha	Limo	Arcilla
A	05/08/88	94,29	5,71
	11/10/88	97,50	2,50
	12/12/88	97,16	2,84
	07/02/89	97,08	2,92
	17/05/89	94,58	5,42
	27/06/89	87,20	12,80
B	06/08/88	95,90	4,10
	12/10/88	96,28	3,72
	13/12/88	98,66	1,34
	08/02/89	96,33	3,67
	17/05/89	94,91	5,09
	28/06/89	92,73	7,27
C	06/08/88	96,22	3,78
	13/10/88	91,17	8,83
	13/12/88	98,50	1,50
	09/02/89	90,50	9,50
	18/05/89	97,91	2,09
	28/06/89	92,29	7,71
D	13/10/88	75,00	25,00
	14/12/88	63,67	36,33
	18/05/89	71,67	28,33
	29/06/89	73,91	30,63

**A=Nueva Pompeya; B=Palo Marcado; C=Santa Ana
D=Villa Bermejito**