

# TRANSPORTE FLUVIAL DE NUTRIENTES Y METALES PESADOS AL MAR CARIBE DE VENEZUELA

Armando J. Ramírez

Instituto de Ciencias de la Tierra, Universidad Central de Venezuela. Apartado 3895, Caracas 1010-A, Venezuela

Estudios hidrogeoquímicos realizados en cuencas hidrográficas venezolanas con alta densidad poblacional y con litologías variadas han permitido la cuantificación del transporte fluvial anual de nutrientes (C, N, P y S) y metales pesados (Pb, Zn y Cu) al Mar Caribe. Estos resultados han sido fraccionados por el origen (natural y antropogénico), medio de transporte (disuelto y suspensión) y naturaleza química (inorgánica y orgánica) de dichos elementos. Los resultados obtenidos en este estudio indican que los aportes naturales exceden los aportes antropogénicos cuando la densidad poblacional es menor de 200 personas/km cuadrado. El medio de transporte preferencial para C, N, P, Pb, Zn y Cu es en suspensión mientras que el S es transportado en forma disuelta. Los elementos P, S, Pb, Zn y Cu son transportados preferencialmente en sus formas inorgánicas mientras que el C y N lo hacen bajos sus formas orgánicas.

## FLUVIAL NUTRIENT AND HEAVY METALS TRANSPORT TO THE CARIBBEAN SEA FROM VENEZUELA

Hydrogeochemical studied carried out in hydrological Venezuelan basins with high density populations and varied lithological characteristics, have allowed to quantify the annual fluvial transport of nutrients (C, N, P, and S), and heavy metals (Pb, Zn, and Cu) to the Caribbean Sea. These results have been fractionated according to its origin (natural and anthropogenic), way of transport (dissolved and suspended), and chemical nature (inorganic and organic). Results obtained indicate that natural origin pollutants exceed those of anthropogenic origin when the population density is lower than 200 people per square kilometer. Preferential transport for C, N, P, Pb, Zn, and Cu is in suspension, whereas S is transported in dissolved form. Elements P, S, Pb, Zn, and Cu are preferentially transported in the inorganic forms whereas C and N do it in its organic forms.

## INTRODUCCION

Durante las últimas tres décadas ha ocurrido una elevada expansión demográfica en Venezuela, especialmente en la parte norte, donde se han reportado altos grados de contaminación para el lago de Maracaibo (Parra-Pardi, 1979), lago de Valencia (Lewis y Weibezahn, 1983), los ríos que drenan hacia el Mar Caribe (Colina et al, 1989) y región costera nororiental (Mogollón et al, 1990).

Los estudios realizados en la cuenca hidrográfica del río Tuy (Tecnosan, 1969; Humphreys y Sons, 1975; Taboada y García, 1978;

Ramírez et al, 1988; Grunwald et al, 1989; Mogollón et al, 1990) indican que existe un alto grado de contaminación como producto de los efluentes industriales, domésticos y agropecuarios, que son vertidos a los cuerpos de agua superficiales. Por esta razón, la cuenca del río Tuy ha sido seleccionada para llevar a cabo un estudio hidrogeoquímico que permita (1) La cuantificación del transporte de elementos C, S, N, P, Pb y Zn por el río Tuy al mar Caribe, (2) Fraccionar este transporte de acuerdo al origen (natural y antropogénico), forma de transporte (disuelto y suspendido) y naturaleza química (inorgánica y orgánica).

## DESCRIPCION Y RESULTADOS

La cuenca del río Tuy tiene una área de 6,600 km cuadrados, una precipitación anual de 140 cm, una escorrentía anual de 36 cm, una temperatura promedio anual de 37 C y una densidad de población de 645 personas/km cuadrado (Ramírez et al, 1988; Grunwald et al, 1989).

Los resultados para el transporte específico de origen antropogénico (Tablas 1,2,3) fueron obtenidos por diferencia entre el total transportado por el río Tuy el transporte de origen natural. Estos datos son para la desembocadura del río para cada elemento fraccionado por su forma de transporte, naturaleza química y por su origen.

Los elementos Cu, Pb (menores a 2 ng/mL) y Zn (menores a 5 ng/mL) no fueron detectados en las muestras de agua y tampoco se pudieron detectar sus niveles de concentración en la materia orgánica.

## DISCUSION

La discusión de resultados está enfocada hacia las formas predominantes de transporte (disuelto y suspendido) y de naturaleza química (inorgánica y orgánica), para cada una de las fuentes naturales y antropogénica y hacia la evaluación del grado de alteración existente en la cuenca.

### Natural

El C es transportado principalmente en los sólidos suspendidos (57%) en su forma inorgánica (52%), siendo las formas inorgánica (72%) y orgánica (88%), las predominantes en los sólidos disueltos y suspendidos, respectivamente. El S en su forma inorgánica predomina en los sólidos disueltos (100%), en los sólidos suspendidos (75%) y en el transporte total (95%). Además, la forma de transporte mayoritaria es la disuelta (81%). El N tiene un comportamiento contrario al S, puesto que la forma orgánica es la que predomina en los sólidos disueltos (67%), suspendidos (92%) y transporte total (90%), además de ser transportado preferencialmente en los sólidos suspendidos (92%). El P, al igual que el S, está en forma inorgánica en los sólidos disueltos (75%), suspendidos (92%), transporte total (92%), pero su forma predominante de transporte es en los sólidos suspendidos

(99%). Los elementos Cu, Pb y Zn son transportados en suspensión en sus formas inorgánicas.

Los resultados obtenidos por la fuente natural permiten establecer que el S es el único en ser transportado preferencialmente en solución, mientras que el P, N, Cu, C, Pb y Zn lo hacen en suspensión. Por otra parte, el S, P, Cu, Pb y Zn, son transportados en sus formas inorgánicas, mientras que el N lo hace en su forma orgánica.

### Antropogénica

Los resultados mostrados por la fuente antropogénica presentan una distribución similar a los mostrados por la fuente natural; es decir, que los elementos C, N y P son transportados en suspensión, mientras que el S es transportado en solución. Los sólidos disueltos están dominados por las formas inorgánicas de cada elemento, mientras que los sólidos en suspensión están dominados por las formas orgánicas de C, N y S y por las formas inorgánicas de P, Cu, Pb y Zn. Estas formas de transporte y naturaleza química son:

Transporte en suspensión:

- 1) Natural: P (99%), N (92%), C (57%), S (19%)
- 2) Antropogénico: P (76%), N (77%), C (75%), S (9%)

Transporte en forma inorgánica:

- 1) Natural: P (92%), N (8%), C (52%), S (95%)
- 2) Antropogénico: P (79%), N (31%), C (21%), S (92%)

Se observa que las actividades antropogénicas inyectan mayor cantidad de nutrientes y metales pesados que las fuentes naturales, siendo las especies químicas disueltas de P y N las más influenciadas por dichas actividades antropogénicas. Esto pone de manifiesto el alto grado de contaminación que existe en la cuenca y la alta disponibilidad de nutrientes (N y P en solución) que está siendo inyectada en la región costera del mar Caribe venezolano.

La relación antropogénica/natural (Tablas 2,3) para los elementos estudiados permiten establecer el siguiente orden de alteración:

$$N > Pb > P > S > C > Cu = Zn$$

Esto indica que los elementos N y Pb son los que presentan la mayor alteración en su abundancia natural.

### CONCLUSIONES

El transporte total para cada elemento muestra que las fuentes antropogénicas exceden a las naturales (antropogénicas / naturales=1.5-3.9), siendo los elementos de N, Pb y P los que presentan el mayor grado de alteración en su abundancia natural.

Estos resultados permiten concluir que las actividades industriales, domésticas, agropecuarias y tráfico automotor de la cuenca del río Tuy ejercen una gran influencia en los flujos anuales de nutrientes y metales pesados que son inyectados al mar Caribe venezolano.

Los sólidos suspendidos juegan un papel importante en el transporte de nutrientes y metales pesados provenientes de fuentes antropogénicas y naturales.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Conicit, el CDCH-UCV y el Instituto de Ciencias de la tierra de la Universidad Central de Venezuela.

#### BIBLIOGRAFIA

Colina, A., Mogollón, J.L., Ramírez, A., Bifano, C. 1989. Determinación de nitrógeno, fósforo y carbón orgánico en ríos del norte de Venezuela. *Inter ciencia* 14:41-44

Grunwald, E., Barroso, E., Goitía, C., Monceratt, J. y Villalba, L. 1989. Diagnóstico de las fuentes de contaminación en la cuenca del río Tuy. *MARNR*, Caracas, 104p.

Humphreys, H. y Sons. 1975. Estudio de la contaminación y tratamiento de los afluentes cloacales e industriales del río Tuy. Instituto Nacional de Obras Sanitarias (INOS), Caracas, Venezuela, Vols. 1-3.

Lewis, W.M., Jr. y Weibezahn, F.H. 1983. Phosphorus and nitrogen loading of lake Valencia. *Acta Cient. Venezolana*, 34:345-349.

Mogollón, J.L., Ramírez, A.J., Guillén, R.B. y Bifano, C. 1990. Heavy metals and organic carbon in sediments from the Tuy river basin, Venezuela. *Environm. Geochem. Health*. 12:277-187.

Parra-Pardi, G. 1979. Estudio integral sobre la contaminación del lago Maracaibo y sus afluentes. Parte II: Evaluación del proceso de eutroficación. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). Caracas, Venezuela. 235 pp.

Ramírez, A.J., Rose, A.W., Bifano, C. 1988. Transport of carbon and nutrients by the Tuy river, Venezuela. In Transport of carbon and minerals in major world rivers. Eds. S. Degens, S. Kempe y S. Naidu. *Mitt. Palaeont. Int. Univ. Hamburg. SCOPE/UNEP*. Vol. Especial, 66:137-146.

Taboada, S.E. y García, P. 1978. Estudio de los parámetros de polución del río Tuy. *Inst. Nal. de Obras Sanitarias (INOS)*, Caracas, Venezuela.

Tecnosan, C.A. 1969. Estudio sanitario del río Tuy. *Inst. Nal. de Obras Sanitarias (INOS)*, Caracas, Venezuela. 4 vols.

Tabla 1. TRANSPORTE ESPECIFICO DE ORIGEN NATURAL Y ANTROPOGENICO PARA LOS ELEMENTO C, N, S Y P

ELEMENTO	NATURALEZA QUIMICA	TRANSPORTE		ESPECIFICO ton/km <sup>2</sup> /año	
		NATURAL		ANTROPOGENICA	
		DISUELTO	SUSPENDIDO	DISUELTO	SUSPENDIDO
C	Inorgánica	7.37	2.89	7.82	0.00
	Orgánica	1.15	8.36	1.45	28.40
	Total	8.52	11.25	9.27	28.40
S	Inorgánica	1.91	0.34	4.69	0.06
	Orgánica	0.00	0.11	0.00	0.41
	Total	1.91	0.45	4.69	0.47
N	Inorgánica	0.03	0.08	1.29	0.00
	Orgánica	0.06	0.92	0.07	2.81
	Total	0.09	1.00	1.36	2.81
P	Inorgánica	0.01	0.50	0.31	0.69
	Orgánica	0.00	0.04	0.00	0.27
	Total	0.01	0.54	0.31	0.96

Tabla 2. TRANSPORTE ESPECIFICO TOTAL (DISUELTO + SUSPENDIDO) PARA LAS DIFERENTES FORMAS QUIMICAS Y DIFERENTES ORIGENES DE LOS ELEMENTOS C, S, N Y P

NATURALEZA QUIMICA		TRANSPORTE ESPECIFICO TOTAL ton/km <sup>2</sup> /año			
ORIGEN		C	S	N	P
I N O R G A N I C A	Normal	10.26	2.25	0.11	0.51
	Antropogénica	7.82	4.75	1.29	1.00
	Total	18.08	7.00	1.40	1.51
	Antropogénica Natural	0.76	2.11	11.73	1.96
O R G A N I C A	Natural	9.51	0.11	0.98	0.04
	Antropogénica	29.85	0.41	2.88	0.27
	Total	39.36	0.52	3.86	0.31
	Antropogénica Natural	3.14	3.73	2.94	6.75
T O T A L	TOTAL	57.44	7.52	5.26	1.82
	Antropogénica/ Natural	1.91	2.19	3.86	2.31

Tabla 3. TRANSPORTE TOTAL DE NUTRIENTES Y METALES PESADOS

ELEMENTOS	TRANSPORTE	ESPECIFICO	ton/km <sup>2</sup> /AÑO
	NATURAL	ANTROPOGENICO	TOTAL
C	19.77	37.67	57.44
S	2.36	5.16	7.52
N	1.09	4.17	5.26
P	0.55	1.27	1.82
Cu	0.039	0.058	0.097
Pb	0.031	0.080	0.111
Zn	0.088	0.131	0.219