

---

## VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LAS TASAS DE SEDIMENTACIÓN DEL MATERIAL SESTÓNICO EN UN EMBALSE TROPICAL DE ALTA MONTAÑA: REPRESA LA FE, EL RETIRO, ANTIOQUIA, COLOMBIA

SPACE-TEMPORAL VARIATION OF SEDIMENTATION RATES OF SESTONIC MATERIAL IN A HIGH MOUNTAIN TROPICAL RESERVOIR: LA FE RESERVOIR, EL RETIRO, ANTIOQUIA, COLOMBIA.

Rafael Alexander Vargas<sup>1</sup> y John Jairo Ramírez<sup>2</sup>

### Resumen

Se investigó el flujo de los sólidos suspendidos totales, suspendidos volátiles y suspendidos fijos en tres periodos climáticos contrastantes (verano, transición e invierno) en dos estaciones de muestreo (zona de presa y zona media) y en dos profundidades (límite de la zona fótica y tres metros arriba del fondo) en el embalse La Fe. Se colocaron trampas de sedimentación constituidas por cuatro tubos de PVC contenidos en una gradilla y con una razón de aspecto de 7:1. Se llevó a cabo un análisis exploratorio y descriptivo de los datos. Para establecer si existían diferencias significativas entre las variables evaluadas se utilizó un análisis de varianza (anava) de tres vías. Dado que los cuatro tubos contenidos en cada trampa de sedimentación no constituyeran verdaderas réplicas, los valores encontrados en cada trampa fueron promediados y con los resultados obtenidos se realizaron los cálculos del anava. Se midieron los valores de conductividad eléctrica, pH y alcalinidad total en cada uno de los tubos que conformaban la trampa. Los valores de conductividad, pH y sólidos totales disueltos presentaron coeficientes de variación bajos, implicando poca variabilidad independientemente de la época de muestreo, de la profundidad y de la estación. Entre estaciones, periodos y profundidades no se presentaron diferencias significativas para el flujo particulado total de los materiales, orgánico e inorgánico. En el periodo de estiaje se dio alta mineralización de la materia orgánica por el fenómeno de "corto circuito" y por esta razón el mayor porcentaje del material sedimentado en los tubos correspondió a material inorgánico.

*Palabras clave:* material sestónico, sedimentación, flujo de material particulado, metabolismo de corto circuito.

### Abstract

This study investigated the flux of total, volatile and fixed suspended solids in three contrasting climatic seasons (dry season, transition season and wet season) in two sampling stations (dam and central zones) and at two depths (the photic zone limit and three meters up from the bottom) in La Fe reservoir. Sedimentation traps consisting of four PVC pipes with an aspect ratio of 7:1 were employed. Exploratory and descriptive analyses of the data were performed and three-way analyses of variance (anova) were employed to inspect for significant differences among the variables. Given that the four tubes comprising each sedimentation trap did not constitute true replicates, the values obtained from each were averaged prior to conducting the anovas. Electric conductivity, pH and total acidity values in each of the tubes of each trap were measured. Conductivity, pH and total dissolved solid values presented low coefficients of variation, implying low variability regardless of the sampling season, depth or sampling station. There were no significant differences among stations, seasons, or depths in the flux of total particulate, organic and inorganic material. During the low water period, a high mineralization of organic matter due to the "short-circuit" phenomenon occurred, and for this reason the highest percentage of deposited matter in the tubes corresponded to inorganic matter.

*Key words:* sestonic material, sedimentation, flux of particular matter, "short-circuit" metabolism.

---

Recibido: junio de 2002; aprobado para publicación: septiembre de 2002.

<sup>1</sup> Biólogo, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín.

<sup>2</sup> Profesor, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, apartado 1226, Medellín. E-mail: jjram@matematicas.udea.edu.co.

## INTRODUCCIÓN

Los embalses son sistemas ecológicos artificiales sometidos a la influencia de sus afluentes, los cuales aportan materiales de diferente tipo que afectan su dinámica interna. Dependiendo del tiempo de residencia del agua, estos materiales tienen un destino común: el sedimento; por ello se ha planteado que los sistemas lénticos (sobre todo aquellos con tiempo de residencia prolongados) constituyen archivos de información y vasos reactores de lo acaecido en su entorno (Margalef, 1983).

La deposición de materiales sobre el fondo implica un transporte horizontal y otro vertical. El primero es obvio en el arrastre de los sedimentos por los ríos y en su distribución en el fondo de lagos y embalses. La sedimentación es irregular, de acuerdo con las avenidas del río, y su espesor puede ser considerable. En los lagos, por el contrario, tiene más importancia el material que se sedimenta dentro del mismo siguiendo una dirección aproximadamente vertical. Éste consiste en material orgánico, puesto en suspensión previamente por los movimientos del agua, más materiales orgánicos e inorgánicos generados en el mismo lago (Margalef, 1983).

Tanto en lagos como en embalses el material sedimentado puede producir en el hipolimnio alto grado de anoxia con la consiguiente formación de altas concentraciones de  $\text{CO}_2$  total,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4^+$  y, por tanto, alta conductividad y pH bajo (Kennedy y Walker, 1990).

Puede afirmarse que el sedimento superficial es el receptor de todas las partículas y que la interfase sedimento-agua es responsable de la disponibilidad de nutrientes y tiene alta participación en los ciclos biogeoquímicos. Por ello, las pérdidas de nutrientes se deben en gran medida a la sedimentación de partículas o a la asociación de sustancias disueltas con partículas bióticas y abióticas que se hundan (Carmouze, 1994). Ambos procesos reguladores son influenciados por el régimen de flujo, la morfología del embalse, la carga de tributarios, el estado trófico y la presencia de gradientes (Kennedy y Walker, 1990).

En general se considera que existen mayores tasas de sedimentación en embalses que en lagos, con tendencias estacionales, y que las mayores tasas ocurren en la porción más cercana a los tributarios (Kennedy y Walker, 1990). En los primeros, el transporte de sedimentos y la deposición son procesos dominantes que influyen significativamente la respuesta ecológica del sistema. En estos cuerpos de agua, la sedimentación como fenómeno cobra especial importancia, no sólo por las referidas pérdidas de biomasa y nutrientes, sino por la disminución de su vida útil de operación.

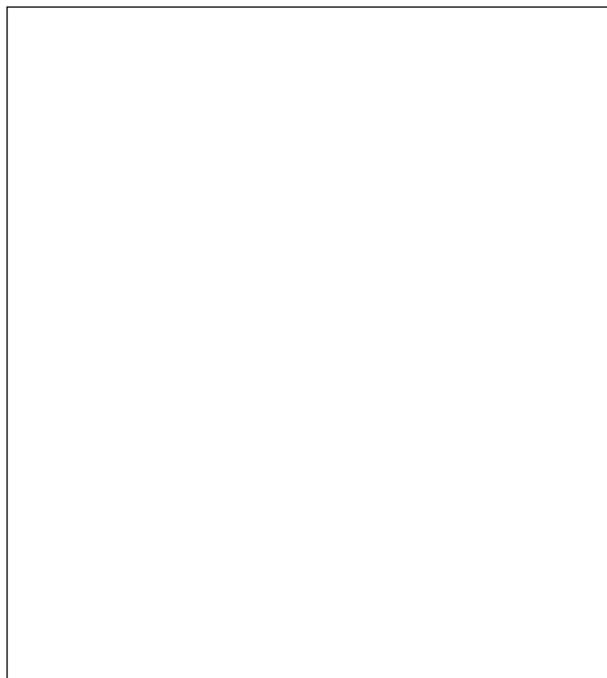
En Colombia, los pocos esfuerzos sobre el tema se han dedicado al establecimiento de las concentraciones de metales pesados en el material suspendido (Campos, 1992) y no se reportan estudios sobre pérdidas de biomasa y nutrientes en los sedimentos. Sobre caracterización de sedimentos en embalses existen pocos estudios, entre los cuales figuran los de Mera (1994) en el embalse El Peñol, y Villegas (1997) en el embalse Porce II. Sobre tasas de sedimentación se registra el trabajo de Ramírez y Noreña (2001), y sobre análisis de sedimento el de Noreña (2000).

¿Existe diferencia en el flujo de sedimentos de las fracciones total, orgánica e inorgánica del material sestónico entre dos profundidades de dos estaciones de muestreo en tres periodos climáticos contrastantes? Si el bombeo desde el río Pantanillo incrementa la entrada de material sestónico al embalse; entonces los flujos de materia (independientemente de su origen) son mayores hacia el fondo de la segunda estación de muestreo en el periodo seco.

## METODOLOGÍA

La descripción del área puede observarse en Sierra y Ramírez (2000). En la presente investigación se realizaron tres muestreos, uno en el periodo de transición (26 de febrero), otro en el de sequía (21 de junio) y otro en el de lluvia (21 de septiembre). En cada periodo se colocaron trampas de sedimentación a dos profundidades en la columna de agua (límite de la zona fótica y a tres metros del fondo) en dos estaciones de

muestreo del eje longitudinal de la represa La Fe: presa y zona media (figura 1).



**Figura 1.** Mapa de la represa La Fe con la localización aproximada de las dos estaciones de muestreo

Cada trampa constaba de una gradilla metálica con cuatro tubos cilíndricos, cada uno con una altura de 70 cm y un diámetro de 10 cm para una razón de aspecto de 7:1. Se escogió dicha razón para prevenir el efecto de la resuspensión (Bloesch y Burns, 1980; Blomqvist y Håkanson, 1981). El material sedimentado no se corrigió para resuspensión; por ello, corresponde a material sedimentado total. No se utilizaron preservativos para prevenir la descomposición de la materia orgánica y por esta razón el tiempo de exposición de las trampas fue limitado a un periodo entre una y dos semanas.

En el agua de cada tubo se midieron los sólidos suspendidos totales, suspendidos volátiles y suspendidos fijos mediante gravimetría (Apha, 1995). Para cada uno de ellos se calculó la tasa de sedimentación (flujo) en  $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$  de acuerdo con la fórmula citada por Callieri *et al.* (1991).

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis descriptivo y exploratorio de los datos. Para ello se calculó la media aritmética muestral y la media-

na como medidas de tendencia central y se utilizaron la desviación estándar como medida de dispersión absoluta y el coeficiente de variación como medida de dispersión relativa.

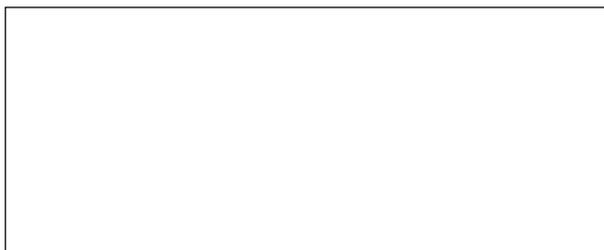
Para establecer si existían diferencias significativas entre las variables evaluadas se utilizó un análisis de varianza (anava) de tres vías. Dado que los cuatro tubos contenidos en cada trampa de sedimentación no constituían verdaderas réplicas, los valores encontrados en cada trampa fueron promediados y con los obtenidos se realizaron los cálculos del anava. La comparación de medias entre las tasas de sedimentación de los tres tipos de material particulado se llevó a cabo utilizando análisis aglomerativo; para ello, se usó el índice de distancia euclidiana cuadrada y el método de ligamiento de la varianza media de Ward. Estos análisis fueron efectuados en los paquetes Statgraphics Plus, versión 4.0, y MVSP versión 3.0.

## RESULTADOS

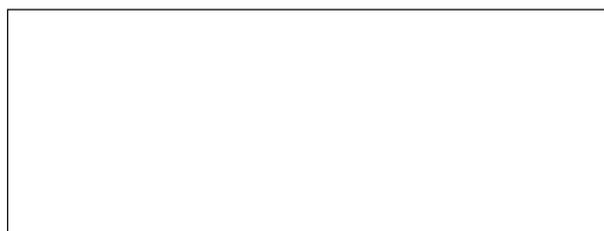
Como se observa en la figura 2, el patrón pluviométrico de la zona donde está situado el embalse estudiado es del tipo bimodal. Este resultado fue establecido con base en valores medios de diez años. Los periodos de lluvia corresponden a los meses de mayo y octubre; al comienzo del año se presenta una primera transición más seca, mientras que entre julio y agosto ocurre una segunda menos drástica.

La figura 3 corrobora que efectivamente los días de muestreo en febrero, junio y septiembre correspondieron efectivamente a periodos de transición, sequía y lluvia.

Los valores medios de las variables en cada estación se presentan en la tabla 1, en donde se observa que los datos de conductividad, pH y sólidos totales disueltos fueron bajos y poco variables. Mientras que durante el periodo seco todas las tasas medias de sedimentación tendieron a aumentar hacia la segunda estación, en los periodos húmedo y de transición el comportamiento fue inverso en la mayoría de los casos (tabla 2).



**Figura 2.** Dinámica temporal de la pluviosidad total mensual (media de 10 años) en la zona del embalse La Fe



**Figura 3.** Variación de la pluviosidad en la zona del embalse 5 días antes y 5 días después del día de muestreo

**Tabla 1.** Valores de los estadísticos de tendencia central y dispersión para las variables físicas y químicas evaluadas en cada estación de colecta

Variable	Estación	Media	CV (%)
Profundidad (m)	E <sub>1</sub>	22.00	7.6
	E <sub>2</sub>	20.45	11.5
Conductividad eléctrica (μS/cm)	E <sub>1</sub>	39.96	6.6
	E <sub>2</sub>	40.92	6.0
Sólidos totales disueltos (mg/l)	E <sub>1</sub>	56.17	10.3
	E <sub>2</sub>	79.42	11.9
pH	E <sub>1</sub>	6.06	12.5
	E <sub>2</sub>	6.05	12.9

E = estación de muestreo.

Los flujos de los materiales total, orgánico e inorgánico fueron siempre menores en la profundidad correspondiente al límite de la zona fótica. Durante el periodo húmedo el flujo de los tres tipos de materiales, en comparación con los otros dos periodos considerados, fue mucho mayor hacia el fondo. En el periodo de transición se presentaron los mayores flujos en el límite de la zona fótica, mientras que en la profundidad localizada tres metros arriba del fondo se hallaron los menores. El flujo del material orgánico fue siempre inferior al del inorgánico en los tres periodos considerados (tabla 3).

A pesar de los resultados descritos en las tablas 2 y 3, en la tabla 4 se observa que el anava realiza-

do no mostró en ningún caso diferencias significativas para los factores considerados (periodos, estaciones y profundidades).

Mientras que el flujo de los materiales inorgánico (TSSF) y total (TSST) en la figura 4 fue bastante similar (distancia euclidiana baja), el flujo del material orgánico (TSSV) presentó una distancia 36 veces superior.

El anava efectuado para determinar la existencia de diferencias significativas del porcentaje de la materia inorgánica particulada en el material sedimentado respecto al del material particulado total entre profundidades, mostró evidencias suficientes para concluir que dichas diferencias fueron significativas ( $F = 6.63$ ,  $\alpha = 0.0367$ ) y mayores.

## DISCUSIÓN

El valor de conductividad media encontrado fue bajo y poco variable, como ya ha sido registrado en otras investigaciones (Hernani, 1999; Sierra y Ramírez, 2000). Esta baja variabilidad indica que entre periodos climáticos no se presentaron diferencias marcadas, aunque según Esteves (1998) en cuerpos de agua tropicales los valores de conductividad están más relacionados con las condiciones climáticas (periodos de lluvia o sequía) que con el estado trófico. Los valores hallados corresponden a un cuerpo de agua de composición iónica pobre por estar localizado en una región de suelos derivados de cenizas volcánicas, caracterizados por su acidez, su baja fertilidad y su gran capacidad de fijación de nitrógeno y fósforo (Espinal, 1992). Los valores medios relativamente bajos de los sólidos totales disueltos corroboran esta apreciación (media = 67.79 mg/l). Igualmente, aseveran la apreciación de Esteves (1998) en el sentido de la relación de la conductividad con las características geoquímicas de la región donde se localiza un cuerpo de agua determinado.

El pH presentó valores medios ligeramente ácidos, relacionados con la alcalinidad y conductividad bajas característicos de este sistema

**Tabla 2.** Valores medios (m), mínimos ( $V_{\min}$ ), máximos ( $V_{\max}$ ) y de dispersión (CV) para la tasa de sedimentación de la serie de sólidos evaluada en cada estación de muestreo en cada uno de los periodos estudiados

Variable	Estadístico	Periodo seco		Periodo de transición		Periodo húmedo	
		$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$	$E_1$	$E_2$
TSSST	m (n = 8)	13.08	110.45	53.24	53.08	276.26	25.59
	$V_{\min}$	2.65	4.42	38.76	16.23	2.83	5.65
	$V_{\max}$	24.95	386.02	90.43	104.34	920.79	45.76
	CV	23.92	11.40	7.60	11.25	6.98	17.46
TSSV	m (n = 8)	4.91	26.11	15.80	13.33	48.85	76.42
	$V_{\min}$	0.44	1.1	12.92	4.64	1.59	2.30
	$V_{\max}$	9.05	87.45	23.19	26.83	225.43	12.90
	CV	35.46	22.58	11.79	22.00	18.29	29.98
TSSF	m (n = 8)	8.17	84.33	37.43	39.75	227.41	17.95
	$V_{\min}$	1.10	1.99	21.86	10.6	0.71	3.36
	$V_{\max}$	20.10	298.57	67.24	82.81	695.36	32.86
	CV	33.29	13.20	9.87	13.22	7.74	21.38

n = tamaño de la muestra.

**Tabla 3.** Valores medios (m), mínimos ( $V_{\min}$ ), máximos ( $V_{\max}$ ) y de dispersión (CV) para la tasa de sedimentación de la serie de sólidos evaluada en cada profundidad de muestreo en cada uno de los periodos considerados

Variable		Periodo seco		Periodo de transición		Periodo húmedo	
		$Z_1$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_1$	$Z_2$
TSSST	m (n = 8)	4.44	119.08	39.03	67.28	5.37	296.49
	$V_{\min}$	2.65	19.21	20.54	16.23	2.83	43.28
	$V_{\max}$	5.52	386.02	53.33	104.34	7.95	920.79
	CV	21.21	10.36	8.66	8.26	25.80	6.36
TSSV	m (n = 8)	2.12	28.90	10.67	18.47	2.47	54.02
	$V_{\min}$	0.44	4.86	4.64	5.63	1.59	12.37
	$V_{\max}$	3.31	87.45	14.24	26.83	3.18	225.43
	CV	48.75	19.76	17.82	13.76	27.54	16.19
TSSF	m (n = 8)	2.32	90.18	28.36	48.82	2.89	242.47
	$V_{\min}$	1.10	11.48	15.90	10.60	0.71	30.74
	$V_{\max}$	4.20	298.57	39.09	82.81	4.77	695.36
	CV	43.45	12.13	10.44	10.28	43.10	7.12

Z = profundidad;  $Z_1 = 1\% I_0$ ;  $Z_2 = 3$  m arriba del fondo.

ecológico. Los valores bajos del coeficiente de variación para pH y conductividad muestran que fue casi el mismo durante el tiempo de muestreo y entre profundidades.

La ausencia de diferencias entre profundidades pudo deberse al método de almacenamiento del agua utilizado en la represa La Fe. Este método,

almacenamiento por bombeo, es diferente al del tipo pasivo, imperante en casi todos los esquemas de instalación hidroeléctrica, pues el agua es bombeada desde una fuente baja (utilizando energía hidroeléctrica) a un embalse alto. El sitio por donde entra al embalse el agua proveniente del bombeo del río Pantanillo se localiza cerca de la zona de presa y, por tanto, remueve el material

**Tabla 4.** Resultados del anava para las diferencias entre periodos, estaciones y profundidades de muestreo

Variable	Factor	F	$\alpha$
TSST	Periodo	0.72	0.5190 n.s.
	Estación	0.52	0.4945 n.s.
	Profundidad	2.26	0.1763 n.s.
TSSV	Periodo	0.50	0.6240 n.s.
	Estación	0.39	0.5525 n.s.
	Profundidad	3.06	0.1237 n.s.
TSSF	Periodo	0.77	0.4991 n.s.
	Estación	0.55	0.4836 n.s.
	Profundidad	2.10	0.1904 n.s.

n.s. = no significativo con  $\alpha > 0.05$ .

**Figura 4.** Análisis de agrupamiento para las medias de las tasas de sedimentación en el embalse La Fe

sedimentado en el fondo, incrementando la re-suspensión del mismo. Por lo anterior, debería aumentarse el flujo de materiales hacia las trampas colocadas cerca al fondo. Sin embargo, no fue así, porque parece ser que dicho efecto alcanza las partes superiores de la columna de agua, aunque el flujo hacia las trampas no sea tan pronunciado como en el fondo; por ello, la evidencia encontrada bajo el sistema experimental diseñado no es considerada suficiente para justificar como significativas las diferencias halladas en el flujo de sedimentos entre profundidades.

En un embalse como La Fe se esperaba que el material sedimentado se distribuya con las corrientes y el viento en el sentido del eje longitudinal, en dirección predominante hacia la torre de captación; ello implicaría encontrar mayor flujo de materiales en la segunda estación de muestreo. No obstante, la evidencia experimental no correspondió con lo esperado. En esta investigación, la

afirmación de Håkanson (1981) de que como resultado de los posibles eventos de resuspensión, controlados por factores hidrológicos y topográficos desde el fondo de las cuencas, se crea un transporte lateral de partículas hacia la zona de transición, parece no cumplirse, pues, como ya se mencionó, los resultados del embalse La Fe no evidencian diferencias entre las estaciones de muestreo.

El flujo de material inorgánico fue mayor, lo que sugiere que la fracción de materia orgánica en el material que se sedimenta está siendo degradada tanto como se está supliendo al cuerpo de agua, lo cual es atribuible a la mineralización *in situ* del material orgánico autóctono o a la descomposición del material orgánico alóctono. También es muy posible que el material viviente capturado en las trampas muera y se descomponga en el interior de las mismas, incrementando así la mineralización, lo que implicaría una reducción en el tiempo de exposición en futuros trabajos. De una u otra forma, lo anterior corrobora la disimilitud de la TSSV en la figura 4, pues su concentración en el material que se hunde fue menor.

Los aportes alóctonos de material orgánico e inorgánico provenientes del “bombeo” del río Pantanillo llevan hasta la represa gran cantidad de material orgánico disuelto de tipo no húmico y húmico (Carbono Orgánico Disuelto, COD). Además, el cinturón de la macrófita *Egeria densa*, al igual que el fitoplancton, son fuentes internas de COD. Esta forma de carbono, conjuntamente con el contenido en los detritos, sirven como fuente de energía para organismos bacterianos que lo utilizan como sustrato y lo mineralizan rápidamente, debido a las altas temperaturas presentes que incrementan su metabolismo. Como consecuencia, se aumentan los aportes de material inorgánico, lo que explica sus mayores valores porcentuales en el material sedimentado. Como se mencionó, dicho porcentaje fue mayor en las trampas de fondo, debido posiblemente a: 1) que el material sedimentado que llega hasta allí ya ha sido mineralizado en su mayoría, o 2) a que la resuspensión lo acentúa. Éste último es un fenómeno importante en ecosistemas lacustres, ya que

puede afectar las características químicas y físicas del agua, así como la ecología de los organismos presentes. Puede ser originada principalmente por el viento, pero hay otros factores como el movimiento de peces, botes y lanchas, que producen efectos mecánicos que pueden incrementar también el fenómeno mencionado (Wisniewski, 1991).

El efecto de las altas temperaturas en el ciclaje de material inorgánico o “metabolismo de corto circuito” consiste en la rápida mineralización del material orgánico aun dentro de la columna de agua. Según Ruttner (1953), en las regiones tropicales la mineralización de la materia orgánica se ajusta a la regla de Van T'Hoff, descomponiéndose cuatro a nueve veces más rápido que en regiones templadas. Por ello, las altas temperaturas registradas en estos sistemas pueden considerarse el motor del rápido catabolismo tropical. En el caso de la represa La Fe, se reitera, la mayor parte del material sedimentado total fue el inorgánico.

También es muy posible que si se aumenta el tiempo de residencia del material resuspendido y del que entra del bombeo en las partes superiores de la columna de agua (es decir, se disminuya la

TSSV), se acelere también la degradación del material orgánico por el alto grado de mineralización de la materia orgánica en las capas superficiales. El resultado sería similar al encontrado, esto es, circulación de menores cantidades de material particulado de tipo orgánico y mayores de material inorgánico.

## CONCLUSIONES

La evidencia obtenida con el diseño experimental llevado a cabo en esta investigación no permite aceptar la hipótesis planteada. Por tanto, a la pregunta formulada se responde: 1) que entre profundidades, estaciones de muestreo y periodos climáticos no hubo diferencias significativas en los valores del flujo de sedimentos de las fracciones total, orgánica e inorgánica del material sestónico; y 2) que los flujos de material no fueron mayores hacia el fondo de la segunda estación de muestreo en el periodo seco.

Se recomienda para próximos trabajos estimar la resuspensión, para así poder estimar el flujo neto de material particulado en las trampas.

## REFERENCIAS

- APHA.** 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewaters*. 18ª. ed. United Book Press, Inc., Baltimore.
- Bloesch J, Burns NM.** 1980. A critical review of sediment trap technical. *Schweiz Z. Hydrobiol* 42:15-55.
- Blomqvist S, Håkanson L.** 1981. A review of sediment traps in aquatic environments. *Arch Hydrobiol* 91:101-132.
- Callieri C, Bertoni R, De Marco C, Contesini M.** 1991. Settling flux and sinking velocity of seston in lago di Mergozzo (Northern Italy) and influence of microbial activity on the decomposition of entrapped organic material. *Hydrobiologia* 213: 155-165.
- Campos NH.** 1992. Descarga de materiales pesados en la ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano, con el material suspendido. *Contaminación Ambiental* (Medellín) 23:11-23.
- Carmouze JP.** 1994. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. Edit. Edgar Blücher. FAPESP, São Paulo.
- Espinal SL.** 1992. *Geografía ecológica de Antioquia. Zonas de vida*. Edit. Lealón, Medellín.
- Esteves FA.** 1988. *Fundamentos de limnología*. Interciência/Finep, Rio de Janeiro.
- Håkanson L.** 1981. *A manual of lake morphometry*. Springer-Verlag, Berlín.
- Hernani TA.** 1999. Aspectos morfométricos y teóricos de un embalse de alta montaña tropical: represa La Fe, El Retiro, Colombia. Trabajo de grado, Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Kennedy RH, Walker W.** 1990. Reservoir nutrient dynamics. En: Thornthorn KW, Kimmel B, Payne FE (eds.). *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons, Inc. New York, pp. 109-131.
- Margalef R.** 1983. *Limnología*. Omega SA, Barcelona.
- Mera EM.** 1994. Evaluación del potencial tóxico de los metales pesados y pesticidas ligados al sedimento del embalse El Peñol, Guatapé, en el departamento de Antioquia. Trabajo de investigación de MSc. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Noreña JF.** 2000. Caracterización limnológica preliminar del sedimento de un lago tropical urbano raso. Trabajo de grado. Instituto de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Ramírez JJ, Noreña JF.** 2001. Comportamiento de las tasas de sedimentación del material sestónico en dos periodos climáticos contrastantes en un lago urbano raso: laguna del parque Norte, Medellín (Colombia). *Actual Biol* 74: 65-74.
- Ruttner F.** 1953. *Fundamentals of limnology*. 3ª. ed. University of Toronto Press, Toronto.
- Sierra O, Ramírez JJ.** 2000. Variación espacio-temporal de biopelículas asociadas a sustratos artificiales en la represa La Fe, El Retiro, Antioquia (Colombia). *Actual Biol* 22: 153-168.

**Villegas NE.** 1996. Predicción de la tasa de consumo de oxígeno por sedimento en el futuro embalse de Porce II. Trabajo de investigación de MSc. Facultad de Ingenierías, Universidad de Antioquia, Medellín.

**Wisniewski R.** 1991. The influence of resuspension on Sediment Oxygen Demand (SOD) in the lakes of different morphology and trophy. *Verh Internat Verein Limnol* 24:898-900.