

COMPORTAMIENTO DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN DEL MATERIAL SESTÓNICO EN DOS PERIODOS CLIMÁTICOS CONTRASTANTES EN UN LAGO URBANO RASO: LAGUNA DEL PARQUE NORTE, MEDELLÍN (COLOMBIA)

SEDIMENTATION RATES BEHAVIOR OF THE SESTONIC MATERIAL BETWEEN TWO CLIMATIC PERIODS IN AN URBAN SHALLOW LAKE: EL PARQUE NORTE LAGOON, MEDELLÍN (COLOMBIA)

John J. Ramírez¹ y Juan F. Noreña²

Resumen

Se analiza la variación del flujo de material sestónico en la laguna del Parque Norte entre periodos climáticos (lluvia y sequía) y entre semanas en cada periodo. Para ello se puso a la altura de la transparencia y durante veinticuatro horas una trampa de sedimentación que constaba de cuatro tubos (réplicas). La significancia de los resultados se estableció mediante un análisis factorial de 2×4^2 con interacción. Entre periodos la velocidad del flujo se incrementó hacia la época seca; entre semanas disminuyó siempre hacia la cuarta semana. Se detectaron interacciones significativas entre periodos y semanas debido a la heterogeneidad ambiental del lago. La varianza de los datos fue mayor entre periodos y la velocidad del proceso también fue mayor en este mismo intervalo. Se concluye que al cambiar la escala de medición, cambia también el patrón de detección del fenómeno estudiado.

Palabras clave: sistema raso, laguna tropical, seston, tasas de sedimentación, escalas temporales.

Abstract

The variation of the rates of sestonic material in Parque Norte lagoon among climatic periods (rain and drought) and among weeks is analyzed. For it was placed to the height of the transparency and during 24 hours a sedimentation trap that consisted of four tubes. The significance of the results was established by means of a factorial analysis (2×4^2) with interactions. Among periods the speed of the flow was increased toward the dry period; among weeks it always diminished toward the fourth week. Significant interactions were detected between periods and weeks due to the environmental heterogeneity of the lake. The variance of the data between periods was higher and the speed of the process was higher too in this same interval. It is concluded that when the measure scale is changed, it is also changed the pattern of detection of the studied phenomenon.

Key words: shallow system, tropical lagoon, seston, sedimentation rates, temporal scales.

INTRODUCCIÓN

El término seston comprende todo el material particulado suspendido en el agua, conformado por una parte viva (bioseston) o plancton, y una parte no viva o abioseston, que puede ser de origen inorgánico u orgánico, denominada tripton; actualmente este término ha sido susti-

tuido por el de detrito (Cole, 1983; Margalef, 1983). Además del material particulado, existe en el agua también una parte conformada por sustancias disueltas, orgánicas e inorgánicas, que pueden ser gases y sustancias no gaseosas (Margalef, 1983).

Recibido: junio de 2000; aprobado para publicación: septiembre de 2000.

¹Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín, apartado 1226. E-mail: jjram@matematicas.udea.edu.co.

²Estudiante, Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.

La distribución del material sestónico en lagos es el resultado de la interacción de procesos biológicos, tales como la producción y descomposición, y de procesos físicos como la sedimentación, la resuspensión y el transporte horizontal. Las formas más importantes de entrada de energía cuando se trata de respuestas sedimentológicas son los vientos, las entradas de ríos y el calentamiento atmosférico. Sus efectos son controlados por la morfometría del cuerpo de agua, el relieve circundante y el régimen hidrológico predominante (Callieri *et al.*, 1991).

Las tasas de sedimentación de cualquier lago dependen directamente de la dinámica del mismo y el proceso como tal constituye una de las rutas de remoción de material particulado en las aguas naturales (Gasith, 1975). Los sedimentos pueden ser considerados como el resultado integrado de todos los procesos dentro del sistema del lago. No sólo contienen alimento para los organismos bentónicos sino que también influyen en procesos químicos y físicos y biológicos, y varios ciclos de nutrientes.

Cada partícula que va al fondo tiene una velocidad de hundimiento específica, que es de vital importancia para conocer las tasas de sedimentación. Este factor, así como el carácter polimítico de un cuerpo de agua, puede ejercer gran influencia en el proceso y a su vez incrementar la resuspensión del sedimento. Dicha resuspensión es un importante fenómeno en ecosistemas lacustres ya que puede influenciar cambios químicos y físicos en las propiedades del agua, así como la ecología de los organismos presentes. La resuspensión puede ser originada principalmente por el viento, pero hay otros factores como el movimiento de peces y factores antropogénicos que producen efectos mecánicos originados en el movimiento de botes y lanchas (Wisniewski, 1991).

Esta investigación determina el comportamiento de la tasa de sedimentación de las fracciones total, orgánica e inorgánica del material sestónico. Establece además la significancia de las diferen-

cias en los valores de dichas tasas obtenidas en muestreos semanales llevados a cabo en dos periodos hídricos contrastantes en una estación de colecta en la laguna del Parque Norte. Si la circulación de la laguna se incrementa durante los periodos de lluvia, entonces en dicho periodo las diferencias semanales en las tasas de sedimentación del material suspendido disminuyen y los resultados obtenidos son menores que en el periodo de sequía.

METODOLOGÍA

La descripción del área de muestreo puede ser consultada en Ramírez (1987, 1994, 1996), Ramírez y Díaz (1994) y Sánchez y Ramírez (2000).

La tasa de sedimentación de las diferentes fracciones del seston se evaluó semanalmente en los periodos de lluvia (marzo) y sequía (agosto). En cada muestreo se puso una trampa de sedimentación una vez por semana durante veinticuatro horas hasta completar cuatro semanas en cada periodo. Dicha trampa fue construida siguiendo las especificaciones de Bloesch y Burns (1980); cada uno de los cuatro cilindros que contenía posee diámetro de 10 cm y razón de aspecto de 4:1, y reposaban en una gradilla metálica, por lo que cada uno constituía una réplica. Fue puesta a una sola profundidad (la profundidad de la transparencia Secchi), siempre al medio día y en una sola estación de muestreo (figura 1). No se efectuó ninguna corrección para la resuspensión; por tanto, los datos obtenidos la incluyen. Esto puede conllevar la sobreestimación del tripton sedimentado (Gasith, 1975).

Una vez cumplido el tiempo de sedimentación, la trampa fue recogida y las muestras de agua en los tubos fueron filtradas (previa homogeneización mediante agitación manual) a través de filtros Millipore de fibra de vidrio AP20047 ($\phi = 0.45 \mu\text{m}$), calcinados previamente a 503 °C y pesados. Los sólidos suspendidos totales (en mg/l) fueron determinados gravimétricamente después de secados entre 103 y 105 °C durante veinticuatro horas. Las fracciones orgánica (sólidos sus-

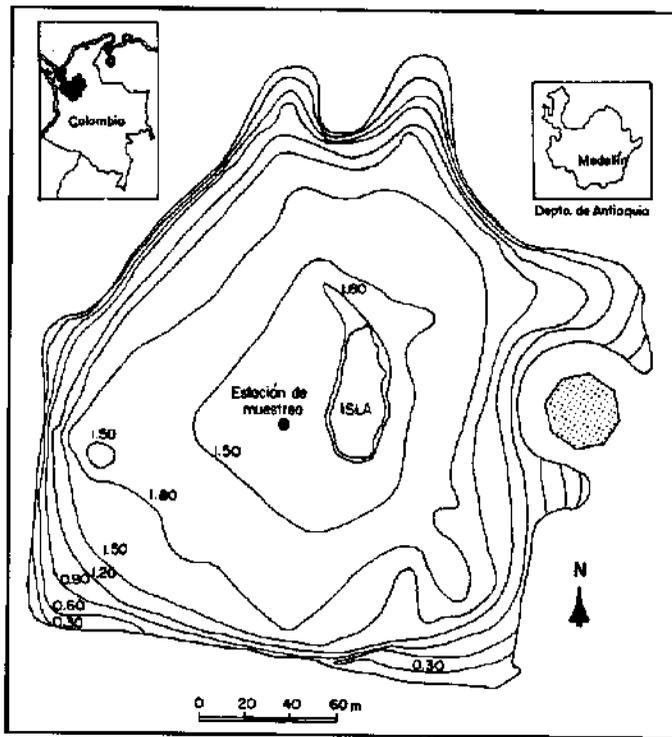


Figura 1. Mapa de isobatas de la laguna del Parque Norte y localización de la estación de muestreo

pendidos volátiles en mg/l) e inorgánica (sólidos suspendidos fijos en mg/l) se determinaron después de ignición entre 500 y 550 °C por treinta minutos. El volumen de agua filtrado fue siempre de 100 ml de agua de cada tubo.

Utilizando las ecuaciones de Lorenzen (1967), modificadas por Sartory y Grobbelaar (1984) para etanol, se estimó la concentración de biomasa fitoplanctónica como clorofila *a* activa. Acidificando con HCl 0.1N se estimaron los feopigmentos.

Se realizó un perfil térmico a cada 20 cm en cada muestreo con un termistor digital y se estimó la transparencia con un disco de Secchi de 0.30 m de diámetro. A partir de ella se evaluó el coeficiente de atenuación vertical de luz (Poole y Atkins, 1929).

A partir de los valores de pH (peachímetro WTW), conductividad (conductímetro WTW), alcalinidad total (H_2SO_4 0.02N, disminución de pH hasta 4.35) de siete profundidades de la columna de

agua del sitio de muestreo en los respectivos períodos, se obtuvieron los valores medios y el coeficiente de variación citados en la tabla 1.

La tasa de sedimentación (en $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{d}$) para los sólidos suspendidos totales y volátiles se calculó de acuerdo con la fórmula citada en Callieri *et al.* (1991).

Para obtener una estimación de la concentración de los sólidos totales disueltos, el valor hallado para los sólidos suspendidos totales en cada muestreo se sustrajo del valor de los sólidos totales. Estos últimos se calcularon también por gravimetría después de evaporar durante veinticuatro horas un volumen de agua de 50 ml a temperatura entre 103 y 105 °C.

Análisis estadístico

Utilizando la media aritmética muestral y la mediana como valores de posición, y la desviación estándar y el coeficiente de variación relativa de Pearson como estadísticos de dispersión absolu-

Tabla 1. Laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. Valores de los estadísticos de tendencia central y dispersión relativa para las variables coeficiente de atenuación vertical de luz (k), conductividad eléctrica, alcalinidad, pH y clorofila *a* activa

Variable	k		Conductividad		Alcalinidad		pH		Clorofila <i>a</i>	
Lluvia										
	m	CV	m	CV	m	CV	M	CV	m	CV
M del P	2.20	20.8	1843.1	1.8	145.4	3.4	9.73	0.2	66.3	18.1
Semana 1	1.89*	—	2349.7	4.3	149.7	9.0	9.66	0.5	64.1*	—
Semana 2	2.05*	—	1957.1	2.7	143.6	8.4	9.77	0.1	52.45*	—
Semana 3	1.89*	—	1087.1	1.7	152.1	12.8	9.74	0.2	81.59*	—
Semana 4	2.83*	—	1978.6	5.4	136.1	19.1	9.73	0.3	67.02*	—
Sequía										
M del P	1.89	0.0	2060.7	10.5	92.2	4.2	9.90	0.6	158.8	45.4
Semana 1	1.89*	—	2151.4	3.5	82.9	9.12	8.8	0.5	58.3*	—
Semana 2	1.89*	—	2177.1	6.1	90.0	11.1	9.0	0.6	186.5*	—
Semana 3	1.89*	—	1954.3	5.0	97.7	4.0	9.0	0.9	227.3*	—
Semana 4	1.89*	—	1960.0	39.2	98.3	1.4	9.0	1.0	163.2*	—

Todos los valores, excepto los marcados con *, son valores medios de siete profundidades.

M del P se refiere a la media del periodo.

ta y relativa, se efectuó un análisis descriptivo y exploratorio de los datos. Su distribución, así como su simetría y la presencia de puntos aberrantes, se determinaron analizando las cajas esquemáticas.

Para verificar la existencia de diferencias significativas para la tasa de sedimentación de cada una de las variables consideradas entre semanas de muestreo y entre periodos hídricos se utilizó un análisis factorial de $2 \times 4 \times 4$. En el mismo se analizó además la significancia de la interacción entre los dos factores considerados.

La relación entre la tasa de sedimentación del seston y el tiempo se determinó mediante análisis de regresión y correlación lineal simples, utilizando el método en que a un valor de la variable independiente (el tiempo) corresponden varios de la variable dependiente (la tasa de sedimentación).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ambiente

Durante el año de muestreo la pluviosidad y la temperatura del aire presentaron patrones de variación típicos de la zona neotropical, consisten-

tes en cambios relativos mayores de la pluviosidad (coeficiente de variación = 30.3%) en comparación con los de la temperatura del aire (coeficiente de variación = 5.1%) en el ciclo anual. Esto significa que la variación de la pluviosidad fue 5.9 veces mayor que la de la temperatura media del aire (figura 2).

Los perfiles térmicos realizados en los dos periodos muestran que a pesar del carácter polimítico del cuerpo de agua (Ramírez y Díaz, 1995), en todos ellos se presentaron gradientes térmicos.

Los valores medios del coeficiente de atenuación fueron altos y similares en los dos periodos de tiempo considerados (tabla 1). Corresponden a lagos eutróficos y turbios (Esteves, 1998), como tradicionalmente ha sido clasificada la laguna del Parque Norte. Lo anterior es corroborado por los altos valores de la clorofila, los cuales fueron más variables y mayores en el periodo seco (tabla 1) cuando ocurren los 'blooms' de *Botryococcus braunii* en la laguna.

La conductividad media hallada fue ligeramente mayor en el periodo seco (tabla 1). Es la de un cuerpo de agua de composición iónica rica, cu-

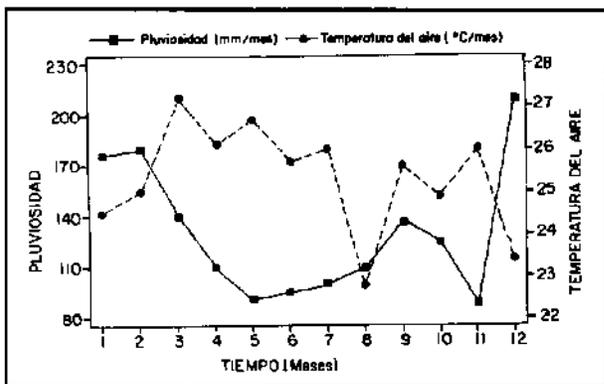


Figura 2. Variación semanal del gradiente térmico en los dos periodos de muestreo

Los valores se deben básicamente a las altas concentraciones de calcio, magnesio, cloruros y material disuelto. Este último se refleja en los valores medios de los sólidos totales disueltos correspondientes a 1187.2 mg/l, que corroboran que se trata de aguas altamente mineralizadas.

Los bajos valores del coeficiente de variación para el coeficiente de atenuación vertical de luz muestran que el clima óptico del lago fue casi el mismo durante el tiempo de muestreo. Igual afirmación puede hacerse para el pH y la conductividad. El primero en todas las colectas presentó valores básicos y poco variables debidos a la alcalinidad y conductividad altas (tabla 1). La poca variación de esta última demuestra que la composición iónica de las aguas de la laguna no cambia ni entre muestreos ni entre periodos.

Por los valores altos de alcalinidad, conductividad eléctrica y pH, y los valores relativamente bajos de los coeficientes de variación correspondientes, puede concluirse, al igual que en otras investigaciones anteriores (Ramírez y Díaz, 1994; Sánchez y Ramírez, 2000), que durante el tiempo de muestreo la laguna del Parque Norte se comportó como un sistema altamente tamponado, de una reserva alcalina considerable y poco variable desde el punto de vista físico y químico, no estando influenciada por los cambios climáticos acaecidos durante dicho periodo. No puede decirse lo mismo al considerar el componente biológico, pues durante el periodo seco las altas temperaturas y las mayores concentraciones de

algunos de los recursos presentes varían la dinámica de las poblaciones fitoplanctónicas, como lo atestiguan las concentraciones de clorofila en la tabla 1.

El flujo del material sestónico

La tasa de sedimentación del material sestónico total presentó valor medio de 1699.39 mg/cm²/d y coeficiente de variación de 42.4%. El Andeva efectuado mostró que se presentaron diferencias altamente significativas entre periodos (tabla 2). En la figura 3 se observa que el flujo del material total en el periodo seco fue mayor. Entre semanas de muestreo (figura 4) esta variable no mostró diferencias significativas (tabla 2), pero la interacción periodo-semana sí las presentó (tabla 2). La significancia de esta interacción se debió al comportamiento contrario de la cuarta semana de muestreo (figura 5A).

La fracción orgánica del material sestónico mostró tasa de sedimentación media de 849.77 mg/cm²/d, con coeficiente de variación menor (36.3%) que el de la tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos totales. Para esta variable se hallaron diferencias significativas tanto entre periodos como entre semanas (tabla 2). Nuevamente el mayor valor de la tasa de sedimentación para esta fracción se presentó en el periodo de sequía (figura 4B). Al comparar las medias, el mayor valor se presentó en la primera semana, siendo significativamente diferente de los demás (figura 4B). La interacción también fue significativa (tabla 2) y ocasionada por la poca variación de la tasa de sedimentación del material orgánico entre periodos en la semana cuatro (figura 5B).

Las diferencias en el flujo del detrito inorgánico entre periodos fueron significativas (tabla 2), siendo también mayores las del periodo de sequía (figura 3C). Entre semanas no se presentaron diferencias significativas (tabla 2). Debido al comportamiento contrario de la tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos fijos en las semanas dos y cuatro (figura 5C), la interacción fue significativa (tabla 2). El valor medio encontrado para este ítem fue de 888.23 mg/cm²/d.

Tabla 2. Laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. Descomposición en varios factores de la variabilidad del valor logarítmico de las tasas de sedimentación de las diferentes fracciones del material particulado presente en la laguna del Parque

Variable	Fuente de variación	CM	F	P
Log TSST	Periodos	1.57	14.76	0.0008 ***
	Semanas	0.21	1.97	0.1456 ns
	Interacción	0.35	3.33	0.0364 *
	Residuo	0.11	—	—
Log(TSSV)	Periodos	1.55	36.98	0.0000 ***
	Semanas	0.20	4.94	0.0083 **
	Interacción	0.19	4.66	0.0106 *
	Residuo	0.04	—	—
Log(TSSF)	Periodos	0.93	4.36	0.0476 *
	Semanas	0.46	2.18	0.11 ns
	Interacción	0.66	3.12	0.0446 *
	Residuo	0.21	—	—

TSST = tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos totales.
 TSST = tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos volátiles.

TSST = tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos fijos.
 %SCT = contribución de cada factor a la suma de cuadrados totales.

* significativo a un valor de $p < 0.05$.

** significativo a un valor de $p < 0.01$.

*** significativo a un valor de $p < 0.001$.

La menor dispersión de los datos se presentó siempre en la cuarta semana (figuras 4A, 4B y 4C), siendo menor para la tasa de sedimentación de los sólidos suspendidos totales (figura 4A). Los mayores valores de los coeficientes de variación de las tasas de sedimentación de los sólidos suspendidos totales y fijos se deben a la presencia de datos aberrantes en la segunda y tercera semanas (figuras 4A y 4C).

La mayor tasa de sedimentación del periodo de estiaje permite aceptar la hipótesis propuesta, a pesar de que el comportamiento térmico de la columna de agua fue casi el mismo en ambos periodos. Dicho resultado se debe básicamente a la disminución del volumen del lago por el incremento de la temperatura en esta época, que a su vez aumenta la evaporación y concentra el material suspendido de diferentes tipos, lo que facilita su sedimentación. Según Bengtsson y Hellström

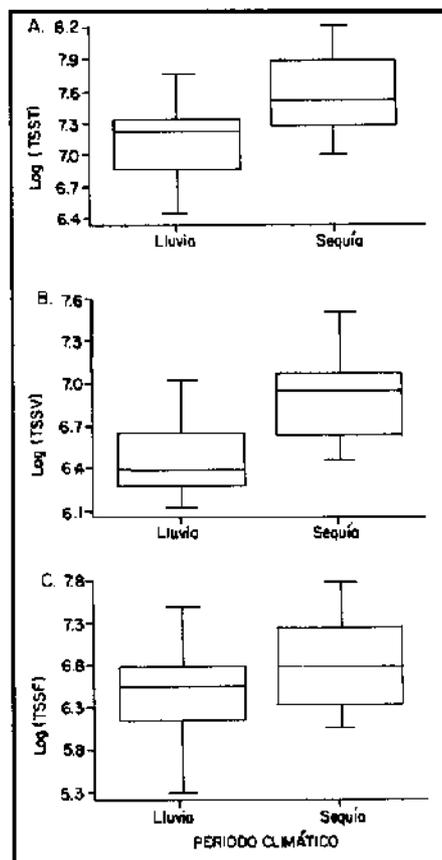


Figura 3. Comportamiento de las tasas de sedimentación del material sestónico (TSST) y las fracciones orgánica (TSSV) e inorgánica (TSSF) en los periodos de lluvia y sequía

(1992), la deposición del material suspendido está determinada por la velocidad de sedimentación, la profundidad del agua y la concentración del material suspendido. La tasa de deposición es proporcional a la concentración y a la velocidad de sedimentación del material particulado, que es diferente para partículas de tamaño distinto y puede también depender de la concentración.

La interacción significativa en todos los casos (figuras 5A, 5B y 5C) resalta la heterogeneidad ambiental ya que la turbulencia generada por el viento puede originar corrientes diferenciales que transportan el material particulado en la dirección del viento dominante, sedimentándose en otros sectores no evaluados del lago, en especial en la zona litoral. Además, la laguna del Parque Norte es un ambiente polimíctico cálido continuo

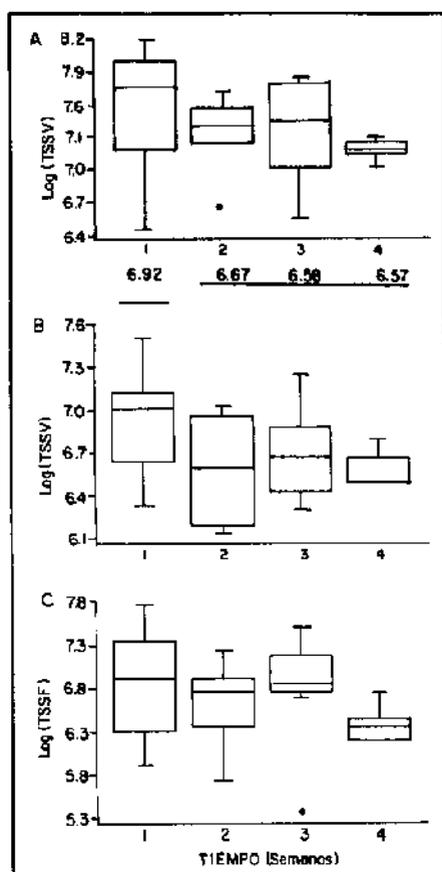


Figura 4. Comportamiento de las tasas de sedimentación del material sestónico (TSST) y las fracciones orgánica (TSSV) e inorgánica (TSSF) entre semanas de muestreo

(Lewis, 1983; Ramírez y Díaz, 1995) que se mezcla diariamente en las horas nocturnas bajo la influencia del viento y la convección. En estas horas se incrementa entonces el material circulante tanto de origen orgánico como inorgánico y se espera que disminuya la sedimentación. A partir de las primeras horas de la mañana, el flujo de sedimentación decae debido al incremento de la estratificación, que alcanza sus mayores valores entre las 10:00 y las 14:00 horas (Ramírez y Díaz, 1995). El tiempo que las partículas permanecen en suspensión depende de la velocidad de sedimentación individual y de la dispersión vertical; por ello, durante los periodos de calma se reducen considerablemente los tiempos de suspensión (Hellström, 1991).

Los procesos de pérdida son aquellos que remueven biomasa activa y agotan el stock potencial

de organismos en crecimiento; por ello, gran parte de la biomasa fitoplanctónica elaborada por fotosíntesis está destinada a 'desaparecer' de las aguas abiertas. La magnitud de estas pérdidas puede llegar a exceder a la producción anabólica (Reynolds, 1984). Aunque la tasa de sedimentación del material orgánico representa una pérdida de biomasa en los lagos profundos, en los lagos rasos como el estudiado dicha pérdida no es tan evidente debido a la circulación diaria del material orgánico o al menos de la parte del mismo no mineralizada. No en vano, según Cole (1983) los sistemas poco profundos son más productivos y pertenecen a la serie eutrófica. Sin embargo, para que el material resuspendido tenga considerable efecto en la producción algal debe permanecer por un tiempo considerable en suspensión

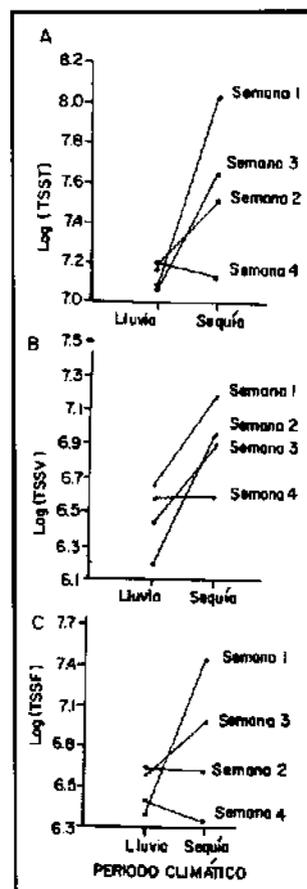


Figura 5. Variación e interacción de las tasas de sedimentación de los sólidos suspendidos totales (TSST), volátiles (TSSV) y fijos (TSSF) entre periodos hídricos en cada semana de muestreo

(Hellström, 1991). Dado que en la laguna del Parque Norte opera, al igual que en la mayoría de lagos tropicales, el mecanismo del metabolismo de corto circuito (Noreña, 2000), si se aumenta el tiempo de residencia del material resuspendido se acelera también la degradación del material orgánico, circulando por tanto menores cantidades de material particulado de este tipo y mayores de material inorgánico y disuelto. Por lo anterior, lo propuesto por Hellström (1991) en el sentido de que cuando los sedimentos son frecuentemente resuspendidos la condición de nutrientes del cuerpo de agua no se afecta considerablemente, pues la 'memoria de los sedimentos' para la materia orgánica es corta, no se cumple en este sistema ecológico lacustre, ya que el contenido de materia orgánica en el sedimento es bastante bajo en comparación con el de cuerpos de agua en otras latitudes (Noreña, 2000). La posible causa es que en la laguna del Parque Norte, a pesar de su poca profundidad, el material orgánico se descompone en la columna de agua debido a las altas temperaturas, relegando la importancia de la 'memoria de los sedimentos'.

Lo afirmado se evidencia examinando la proporción de los sólidos totales volátiles y fijos en relación con la concentración de los sólidos totales en la columna de agua. Los primeros representaron entre 0.3 y 36.0% de los sólidos totales, mientras que los segundos oscilaron entre 93.0 y 99.7%. Proporciones similares, pero para los sólidos suspendidos volátiles y fijos, se observaron en los tubos (SSV: 7.7 a 45.3%, SSF: 27.5 a 66.2%).

Dado que en los ambientes rasos y en las zonas litorales el viento es un importante factor para la resuspensión de la materia orgánica particulada en la columna de agua (Demers y Thierrault, 1987), y a que en ellos la resuspensión puede afectar entonces el fondo entero del lago haciendo que la capa de sedimento superficial esté frecuentemente en suspensión (Bengtsson y Hellström, 1992), se recomienda estimar, en futuros estudios sobre sedimentación, el efecto de este fenómeno en la laguna.

Si se considera la definición propuesta por Gasith (1975) para el tripton ("material particulado sedimentable en la columna de agua de origen alóctono o autóctono"), debe aceptarse que la porción alóctona prácticamente carece de significado en esta laguna. La anterior afirmación se debe a que este cuerpo de agua es alimentado principalmente por agua lluvia y entradas de agua subterránea (las cuales se asume que no importan células fitoplanctónicas vivas), presenta un área de captación mínima y es drenado por una pequeña salida que descarga poca agua; consecuentemente, el tiempo de residencia del agua es alto y las pérdidas ocasionadas por lavado hidráulico son mínúsculas, lo que acentúa la sedimentación y la resuspensión del seston. Por esta razón, este cuerpo de agua ha sido considerado justamente una trampa de nutrientes y sedimentos (Ramírez, 1987).

Los valores de los cuadrados medios en la tabla 2, equivalentes a la varianza entre periodos y entre semanas, permiten concluir que la variación fue mayor entre periodos para todas las fracciones del material particulado total. Obsérvese además en las figuras 4 y 5 que en todos los casos la velocidad del flujo de sedimentación disminuyó, como ya se mencionó, hacia la cuarta semana. La magnitud de dicha disminución fue significativa, y aunque en ambos casos muestra una relación débil con la escala temporal, la ocurrida entre periodos ($r^2 = 26.3\%$, $p = 0.0027$) fue aproximadamente dos veces más explicativa que la acaecida entre semanas ($r^2 = 16.0\%$, $p = 0.0234$). Lo anterior es apenas lógico, pues en una escala de intervalo temporal mayor se integran cambios más drásticos en los rasgos climáticos, físicos, químicos y biológicos que son determinantes primarios de los resultados encontrados. Consecuentemente, cuando la escala de medición de una variable es cambiada, la dispersión y velocidad de la misma también cambian y emergen patrones diferentes que, según Wiens (1989), demuestran que nuestra habilidad para detectarlos es función tanto de la escala (extensión temporal o espacial) como del tamaño de las unidades muestrales utilizadas (el grano). Por ello, mien-

tras que entre semanas se presentó disminución del fenómeno estudiado, entre periodos hubo incremento del mismo (figuras 6A y 6B).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Comité de Investigaciones (CODI) de la Universidad de Antioquia

(IN 86 CE, acta 295 de 1998) por su apoyo económico; a las autoridades del Parque Norte por su apoyo logístico; a Lina Juliana Gallo, Mónica Corbacho, Hernán Alcaraz y Omaira Sierra por su ayuda en las labores de campo y laboratorio.

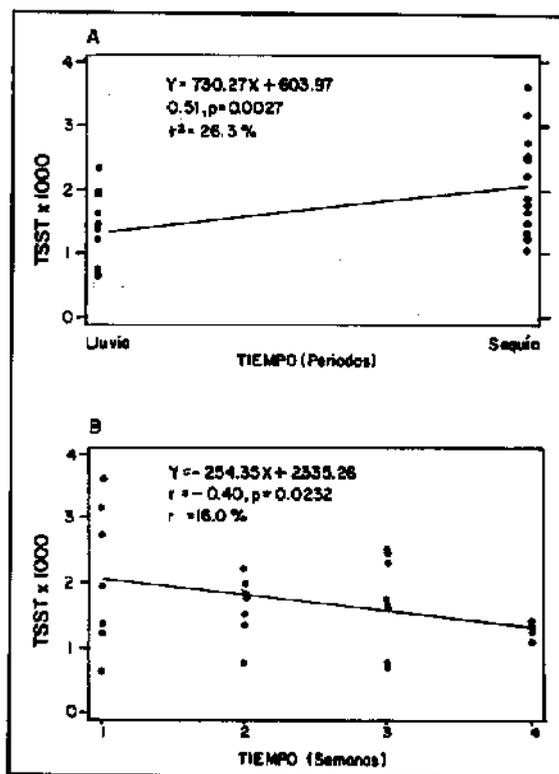


Figura 6. Tendencia de la variación de la tasa de flujo del material particulado total (TSST) entre periodos climáticos (A) y entre semanas (B)

REFERENCIAS

- APHA, AWWA y WPCF. 1995. *Standard methods for the examination of water and wastewaters*. 18ª. ed. United Book Press, Inc., Baltimore.
- Bengtsson L, Hellström T. 1992. Wind-induced resuspension in a small shallow lake. *Hydrobiologia* 241:163-172.
- Bloesch J, Burns NM. 1980. A critical review of sediment trap technique. *Schweiz Z Hydrobiol* 42:15-55.
- 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.
- Cole G. 1983. *Textbook of Limnology*. 3ª. ed. The CV Mosby Co., Saint Louis.
- Demers S, Thierrault JC. 1987. Resuspension in the shallow sublittoral zone of a macrotidal estuarine environment: wind influence. *Limnol Ocenogr* 327-339.
- Espinal SL. 1992. *Geografía ecológica de Antioquia. Zonas de vida*. Edit. Lealón. Medellín.
- Esteves FA. 1988. *Fundamentos de limnología*. Edit. Interciencia/ Finep. Rio de Janeiro.
- Gasith A. 1975. Tripton sedimentation in eutrophic lakes. Simple correction for the resuspended matter. *Verh Internat Verein Limnol* 19:123-132.
- Hellström T. 1991. The effect of resuspension on algal production in a shallow lake. *Hydrobiologia* 213:183-190.
- Holdridge LR. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica.

- Lewis WM.** 1983. A revised classification of lakes based on mixing. *Can J Fish Aquat Sci* 40:1779-1787.
- Lorenzen C.** 1967. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol Oceanogr* 12:343-346.
- Margalef R.** 1983. *Limnología*. Omega SA, Barcelona.
- Noreña JF.** 2000. Caracterización limnológica preliminar del sedimento de un lago tropical urbano raso. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Antioquia, Medellín.
- Poole HH, Atkins WRG.** 1929. Photo-electric measurement of submarine illumination through out the year. *J Mar Biol Assoc* 16:297-324.
- Ramírez JJ.** 1987. Contribución al conocimiento de las condiciones limnológicas de la laguna del Parque Norte. *Actual Biol* 16:12-30.
- Ramírez JJ.** 1994. Dinámica poblacional de *Anabaenopsis* (Wolosz) V. Mill. 1923 en una laguna eutrófica tropical. *Rev Hydrobiol Trop* 27:337-346.
- Ramírez JJ.** 1996. Autecology of *Cyanocatena bicudoii* sp. nova, a new Cyanophyceae from Parque Norte lagoon, Colombia. *Algal Stud* 80:21-34.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1994. Caracterización limnológica y estructura de la comunidad fitoplanctónica en la laguna del Parque Norte, Colombia. *Hoehnea* 21:9-29.
- Ramírez JJ, Díaz A.** 1995. Cambios diurnos de temperatura y variables físicas y químicas en dos épocas del año en la laguna del Parque Norte, Colombia. *Acta Limnol Brasil* 7:23-34.
- Reynolds CS.** 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.
- Romero JA.** 1996. *Acuicultura*. Edit. Presencia, Bogotá.
- Sánchez JI, Ramírez JJ.** 2000. Dinámica de la comunidad zooplanctónica (excepto protozoa) en las zonas limnética y litoral de la laguna del Parque Norte, Medellín, Colombia. *Actual Biol* 22:65-82.
- Sartory DP, Grobbelaar JU.** 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114:177-187.
- Sawyer CN, McCarty PL.** 1978. *Chemistry for environmental engineering*. McGraw-Hill Book Co, New York.
- Wiens JA.** 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3:385-397.
- 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.