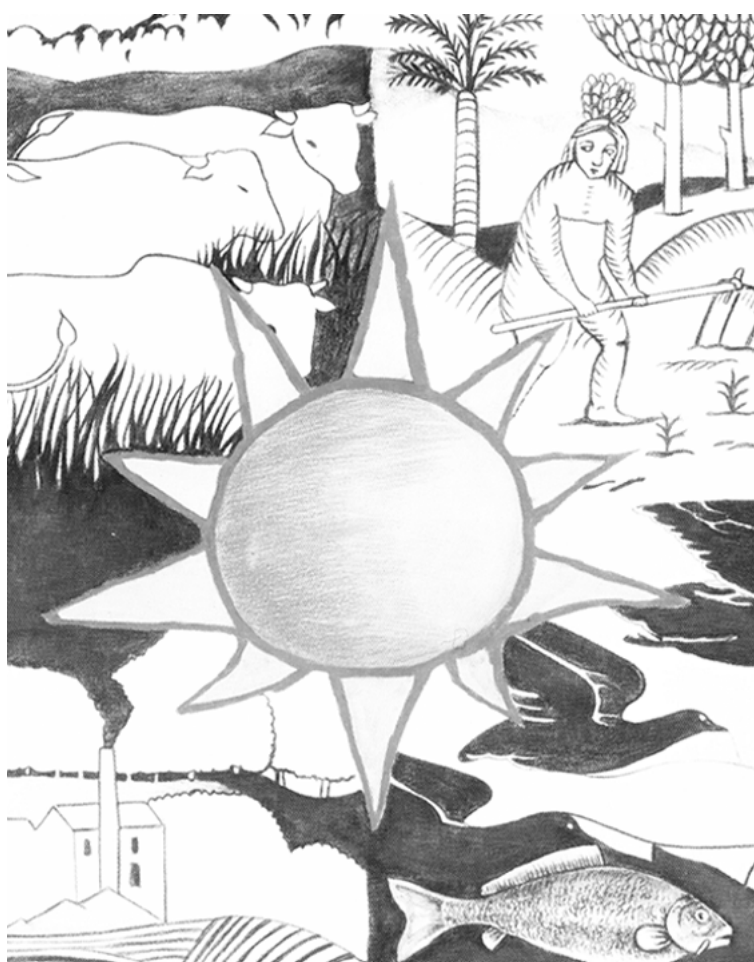


**TENDENCIA DE LOS COMPONENTES MAYORITARIOS DEL AGUA DE CUATRO EMBALSES EN EL CENTRO-SUR CUBANO, DURANTE UN PERÍODO DE VEINTE AÑOS.**

Trend of major ions of the water from four reservoirs in south-central Cuba throughout a period of twenty years.

*Carmen Betancourt<sup>1</sup>, Roberto Suárez<sup>1</sup>, Eduardo R. Concepción<sup>1</sup>  
& Henry Herrera<sup>2</sup>*



<sup>1</sup>Universidad de Cienfuegos, Carretera a Rodas km 3, Código Postal 59430, Cienfuegos, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos Calle 17, esq. Ave 46 s/n, Reparto Reina, Código Postal 55100, Cienfuegos, Cuba.

### **RESUMEN**

El estudio estuvo dirigido a evaluar la tendencia de la conductividad eléctrica (CE), la dureza total ( $D_T$ ) y los iones mayores en cuatro embalses del centro-sur cubano, durante la etapa 1986-2005. La tendencia evaluada mediante la prueba estacional de Mann-Kendall y el estimador de la pendiente de Sen, reveló disminuciones significativas en la CE y el cloruro en los embalses Abreus y El Salto, y de la CE y el bicarbonato en el embalse Avilés. Estas disminuciones fueron relacionadas con la reducción del riego agrícola y el uso de fertilizantes. En el embalse Paso Bonito, localizado en la zona montañosa, se observaron aumentos significativos en las concentraciones de la  $D_T$ . Estos incrementos se relacionaron con la geología de la cuenca y con la mineralización de la materia orgánica acumulada en los sedimentos del embalse por el efecto de un fuerte proceso erosivo. La lluvia tuvo un comportamiento homogéneo durante la etapa y no guardó relación con las tendencias de las variables físico-químicas. Fue correlacionada de forma inversa con todas las variables estudiadas en el embalse Abreus y con la  $D_T$  y el bicarbonato en El Salto.

Palabras clave: Mann-Kendall estacional, embalse, tendencia, iones mayores.

### **ABSTRACT**

This study was aimed at assessing the trend of electrical conductivity (CE), total hardness ( $D_T$ ) and major ions in four characteristically different reservoirs from the southern central part of Cuba during the period that covered 1986-2005. The assessment of the trend by using Man-Kendall's test and the Sen Estimator revealed a significant decrease in electrical conductivity and in chlorine at the Abreus and El Salto reservoirs. At the Avilés Reservoir, there was only a decrease of the CE and bicarbonate, aspects these which were related to a reduction in agricultural watering and in the use of fertilizers. At the Paso Bonito Reservoir, which is located in a hilly area, there was a significant increase of its waters' total hardness. This rise was associated to the mineralization of the organic material accumulated in the sediments of the reservoir due to the effect of a heavy erosive process. Rain in the four reservoirs was homogeneous during this period and was not related to the trends of the physico-chemical variables. It was inversely correlated with all the variables under study at the Abreus Reservoir and with  $D_T$  and bicarbonate at El Salto Reservoir.

Keywords: Seasonal Mann-Kendall, reservoir, trend, major ions.

## INTRODUCCIÓN

La variada distribución geográfica de los embalses, así como su sensibilidad a los cambios ambientales, los convierte en objeto de investigación para esclarecer vacíos del conocimiento. Su estudio permite obtener información integrada sobre los cambios en el paisaje y la atmósfera (Carpenter et al. 2007, Pham et al. 2008, Williamson et al. 2008) e intervienen además en el balance global del carbono (Lerman et al. 2007, Cole et al. 2007, Williamson et al. 2009a, Finlay et al. 2009). Los sedimentos acumulados guardan información sobre los cambios ocurridos en su cuenca y en el propio ecosistema acuático (Cohen 2003, Smol 2008, Williamson et al. 2009b).

La investigación de la calidad de las aguas, en relación con el cambio climático, se incluye entre las principales necesidades de investigación, actualmente inexistente en algunas regiones del mundo (Álvarez et al. 2006). También constituye una necesidad para un correcto uso y manejo del recurso.

El estudio de la tendencia de variables relacionadas con la calidad del agua, revela información acerca de variaciones y cambios químicos y biológicos en el tiempo. Existen diferentes herramientas estadísticas para el cálculo de la tendencia (Wei 2005, Shumway & Dtoffer 2006). La prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1975), se ha empleado en estudios de calidad del agua (Figuroa 2007, Chang 2008), pero no es aplicable para base de datos con estacionalidad. Para eliminar el efecto de la estacionalidad y de la autocorrelación de valores se emplea la prueba de Mann-Kendall estacional.

Las variaciones en la salinización de los embalses reflejan cambios continuos entre la cuenca, la atmósfera y los sedimentos y pueden constituir un medidor de los cambios

ambientales (Viney & Sivapalan 1996). Estas variaciones a largo plazo puede tener un origen antropogénico (Williams 2001), por cambios en el uso del suelo (Doerr et al. 1994) y por actividades operacionales (Rimmer 2003).

Este trabajo estuvo dirigido a evaluar las tendencias de los componentes mayoritarios en cuatro embalses cubanos, ubicados en cuencas con diferentes características, para aportar un conocimiento básico de referencia en un ecotipo tropical.

En el embalse Paso Bonito ubicado en la zona montañosa se observó tendencia significativa al aumento, mientras que en los embalses Avilés, Abreus y El Salto se registró disminución en el tiempo. Tanto el aumento, como la disminución en las tendencias fueron relacionados con actividades antrópicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Área de estudio*

Los embalses Paso Bonito (22° 7' 5" N y 80° 9' 10" O), Avilés (22° 10' 17" N y 80° 11' 5" O), Abreus (22° 16' 48" N y 80° 33' 24" de O) y El Salto (22° 25' 24" N y 80° 20' 27" de O), son los de mayor importancia socioeconómica en la provincia de Cienfuegos, en el Centro Sur de Cuba (Fig.1). Sus principales usos son la agricultura, la pesca y el consumo industrial y humano.

Avilés y Paso Bonito fueron construidos en la parte alta de la cuenca del río Arimao, caracterizado por una topografía variable (áreas de montaña, premontaña y llanuras) y una geología más compleja, compuesta fundamentalmente por rocas ígneas y metamórficas. En Avilés predominan las llanuras y las rocas anfíbolitas, granito, cuarzodioritas y rocas sedimentarias como calizas, margas y tobas. Paso Bonito tiene su cuenca en la zona montañosa y predominan

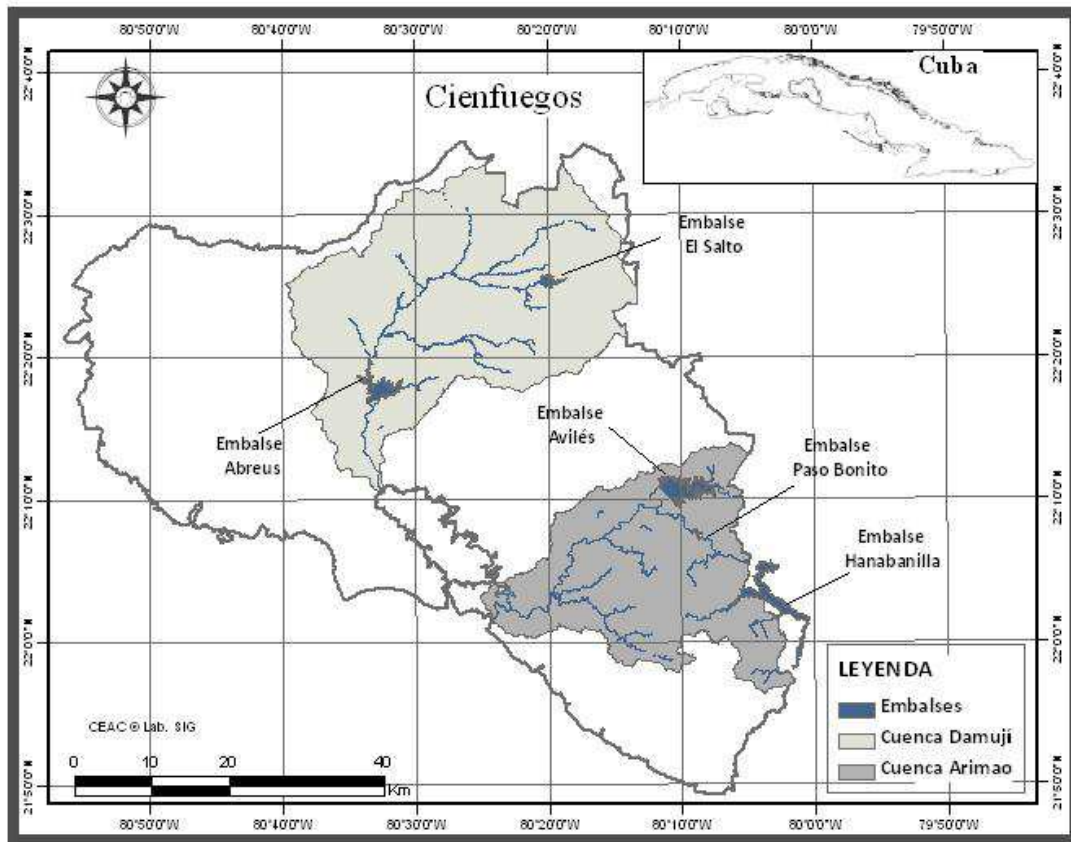


FIGURA 1. ÁREA DE ESTUDIO. SE MUESTRA LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS CON LAS CUENCAS DE LOS RÍOS ARIMAO Y DAMUJÍ Y LOS EMBALSES PASO BONITO, AVILÉS, ABREUS Y EL SALTO.

Study site. It shows Cienfuegos province with Arimao and Damuji rivers' watersheds and Paso Bonito, Avilés, Abreus and El Salto reservoirs.

los esquistos, en la mayor parte. Estudios recientes revelaron la presencia de una zona cárstica con abundantes surgencias que alimentan al embalse (IGT 2008). El 52% de las mediciones de fósforo realizadas durante los años 2006 y 2007 clasificó las aguas de este embalse como eutróficas (Betancourt et al. 2009). En esta misma etapa se registraron altas concentraciones de hierro y manganeso

durante la estratificación térmica (Betancourt et al. 2010a).

Los embalses El Salto y Abreus se localizan en la llanura que ocupa la cuenca del río Damují (al inicio y final respectivamente). Sus cuencas yacen principalmente, sobre rocas sedimentarias (margas, calizas, aleurolitas, brechas, conglomerados, areniscas). Las rocas ígneas (fundamentalmente basaltos) están representadas en menor cuantía.

*Metodología*

La alta correlación entre los iones mayores en el embalse Abreus permitió la aplicación del análisis de componentes principales (ACP), lo que originó una nueva variable, denominada «mineralización». Tanto los iones mayores como la mineralización mostraron estacionalidad según los resultados del correlograma y el periodograma (Betancourt et al. 2010b).

La aplicación del ACP a los iones mayores en el embalse El Salto originó dos nuevas variables que se denominaron *el aporte del lavado de la roca a la calidad química del agua* y *el aporte atmosférico y antrópico a la calidad química del agua*. Ninguna variable mostró estacionalidad (Betancourt et al. 2011). Algunas características de los embalses se muestran en la Tabla 1.

Características*	Paso Bonito	Avilés	Abreu	El Salto
El Salto				
Año que fue terminada su construcción	1975	1980	1986	1975
Altitud del embalse (msnm)	86.3	77	10	52
Altitud media de la cuenca (msnm)	187	165	50	76
Área de la cuenca (km <sup>2</sup> )	65	310	1075	80.0
Área del embalse (km <sup>2</sup> )	1.25	77.0	5.40	2.46
Área de la cuenca: Área del embalse (Ac:Ae)	52	4	199	32.5
Volumen de almacenamiento (hm <sup>3</sup> )	8	190	35	9.5
Profundidad máxima del embalse (m)	19.5	36.6	12.5	17

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO. \*= información tomada del archivo de la Delegación de Recursos Hidráulicos en Cienfuegos

Study site features.

Las mediciones de la conductividad eléctrica (CE), la dureza total (DT) y los iones bicarbonato (HCO<sub>3</sub>), cloruro (Cl), sulfato (SO<sub>4</sub>), Ca, magnesio (Mg), sodio más potasio (Na+K), fueron realizadas por la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Cienfuegos. Las muestras para dichas mediciones fueron tomadas en el punto de toma de los embalses estudiados durante la etapa 1986-2005.

En los embalses Abreus y Paso Bonito los muestreos fueron mensuales y en Avilés y El Salto, trimestrales. El Ca y Mg se determinaron por volumetría con ácido etilendiamintetracético. El Na y K en algunas etapas del estudio se determinaron por fotometría de llama y en otras por diferencia con el resto de los cationes. El Cl y HCO<sub>3</sub> por volumetría con soluciones diluidas de nitrato

de plata, y ácido sulfúrico respectivamente. El  $\text{SO}_4$  por el método turbidimétrico, con cloruro de bario.

Los datos de lluvia en la cuenca de los embalse Paso Bonito, Abreus y El Salto correspondieron a la misma etapa de los ensayos físico-químicos. Para el embalse Avilés sólo se dispuso de la información correspondiente a la etapa 1986-1999.

Para el análisis de datos se empleó la prueba de Mann-Kendall estacional para evaluar las tendencias en las series temporales de la CE, la  $D_T$  y los iones mayores en los cuatro embalses. Una de las bondades de esta prueba consiste en que no es necesario asumir ninguna distribución, permite manejar los datos ausentes y asume el supuesto de ausencia de estacionalidad y autocorrelación (Hirsch et al. 1982, Hirsch & Slack 1984). También permite el cálculo de la pendiente de la regresión lineal de cada variable sin la influencia de los valores extremos (Bouza-Deaño et al. 2004). Cuando la tendencia fue significativa ( $p < 0,05$ ) se mostró mediante gráficos y la magnitud de la pendiente se determinó mediante el estimador de Sen (Sen 1968).

Los valores de las pendientes calculadas para las variables estudiadas en los embalses Paso Bonito y Abreus corresponden con incrementos o disminuciones mensuales de las variables, porque en estos embalses las observaciones tuvieron una periodicidad mensual. Para los embalses Avilés y El Salto los valores de las pendientes corresponden con incrementos o disminuciones por observación (no por meses).

Las correlaciones entre la lluvia y el resto de las variables se determinaron por el método de Pearson para las bases de datos con distribución normal y la matriz de correlación de Spearman para las bases de datos que no se distribuyeron normalmente.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El embalse que mostró tendencia significativa al incremento de valores en componentes mayoritarios del agua fue Paso Bonito. La variable incrementada en el tiempo fue la  $D_T$  (Fig. 2), el resto de las variables estudiadas en este embalse no mostraron tendencias significativas en el tiempo. Este incremento se relacionó con el uso del suelo durante la etapa estudiada, combinado con la ubicación geográfica de la cuenca. Los principales usos del suelo fueron cultivos permanentes (café, mango y naranja), cultivos temporales (arroz, y tabaco), pastos y algunos asentamientos humanos. Esta cuenca se encuentra ubicada en una zona de montaña y premontaña, donde se incrementan los procesos erosivos en las áreas desprovistas de cubierta vegetal y en las dedicadas a cultivos temporales por el laboreo agrícola. De igual forma el arrastre y acumulación de residuos de las actividades antrópicas se produjo con mayor rapidez.

El transporte de sólidos en la cuenca produjo una alta sedimentación en el embalse. El nivel del fondo ascendió a 5,0 m, durante los 30 años de explotación (Laiz 2007). La mineralización de la materia orgánica contenida en los sedimentos y rica en carbonatos de calcio, según la propia naturaleza de su cuenca, pudiera explicar la tendencia al aumento del contenido de la  $D_T$ . Estos resultados manifestaron el carácter integrador de los embalses, referido antes por otros autores (Carpenter et al. 2007, Pham et al. 2008, Williamson et al. 2008). Se observó disminución significativa en la CE y el  $\text{HCO}_3$  en el embalse Avilés (Fig. 3).

En el embalse Abreus disminuyeron gradualmente de forma significativa la CE, el Cl y la *mineralización* (factor extraído en el ACP) (Fig. 4).

En el embalse El Salto la disminución significativa fue para la CE, el Cl y *el lavado*

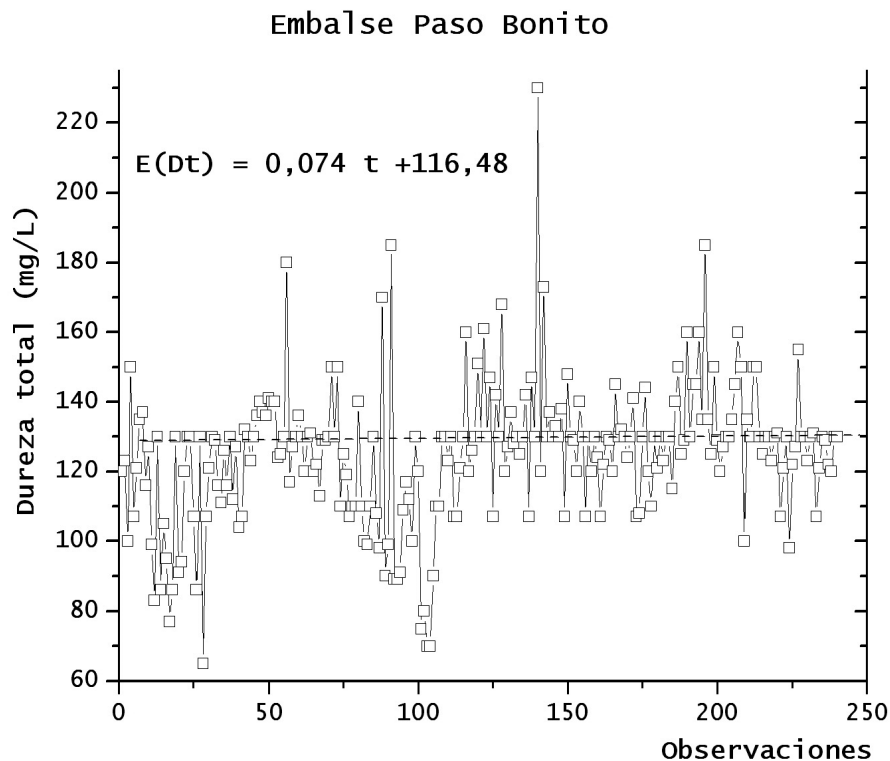


FIGURA 2. TENDENCIA OBSERVADA PARA LA  $D_T$  DURANTE EL PERÍODO 1986-2005. EN ESTE EMBALSE LA DUREZA TOTAL SE INCREMENTÓ 0.077 MG/L CADA MES.

Total hardness ( $d_t$ ) trend during the period 1986-2005. Total hardness increased to 0.077 mg/l monthly in this reservoir.

*de la roca* (Fig. 5). Este patrón observado en las concentraciones de Cl en los embalses Abreus y El Salto (cuenca del río Damují), es posible que se relacione con la geología de las cuencas, la naturaleza de este ión y la disminución de las prácticas agrícolas. En la cuenca del río Damují y en la subcuenca del embalse Avilés, predominan las rocas sedimentarias que son más vulnerables a los procesos de meteorización (Bruhns & Randohr 1968). El Cl es un ión altamente soluble y móvil, no se volatiliza, precipita o absorbe a las superficies de partículas (Wetzel 1975). Por

estas características ya se ha usado como trazador natural para evaluar los cambios de salinidad entre el epilimnio y hipolimnio de un embalse (Rimmer et al. 2005, Pasche et al. 2009) y los cambios provocados por procesos alóctonos (Rimmer et al. 2006). En muchas áreas de estas cuencas se utilizaban para el riego agrícola aguas subterráneas, que en toda la zona se caracterizaron por concentraciones de Cl superiores al agua embalsada.

Otra fuente de Cl es el agua que escurre por áreas sometidas al riego o al uso de fertilizantes (Andreasen & Fleck 1997, Lowrance et al. 1997, Oren et al. 2004). Estos

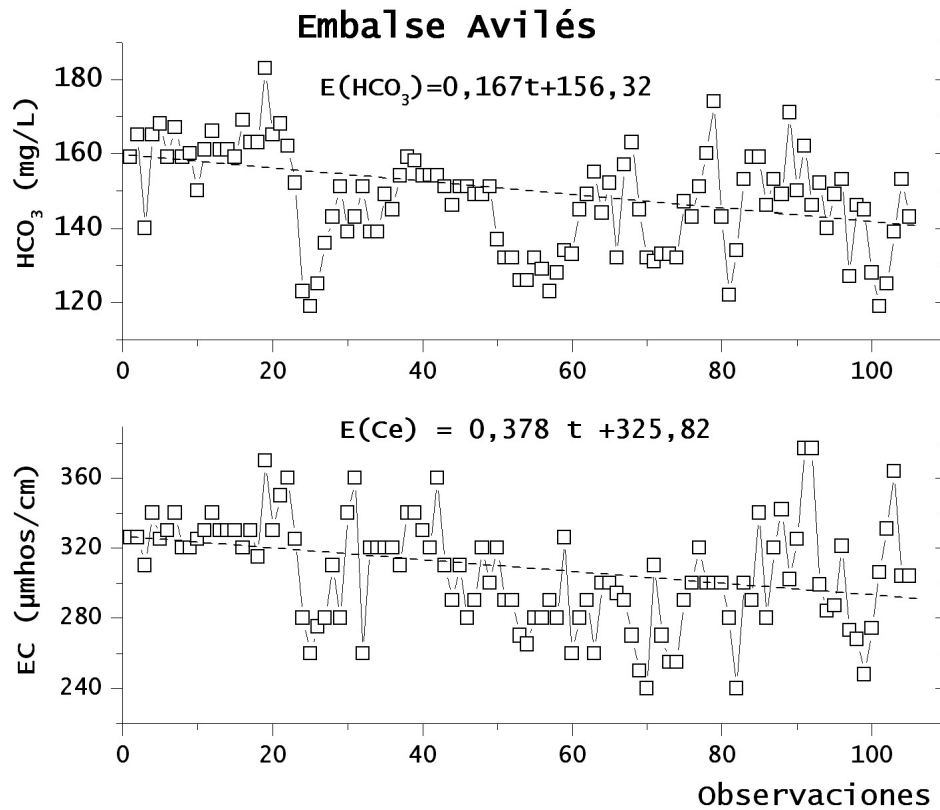


FIGURA 3. TENDENCIA DE LA CE Y EL  $\text{HCO}_3^-$  EN EL EMBALSE AVILÉS DURANTE EL PERÍODO 1986-2005. ESTAS VARIABLES DISMINUYERON POR CADA OBSERVACIÓN REALIZADA 0.378 Y 0.167  $\mu\text{MHOS}/\text{CM}$  Y  $\text{MG}/\text{L}$  RESPECTIVAMENTE.

Trend of electric conductivity (CE) and  $\text{HCO}_3^-$  at Avilés reservoir during the period 1986-2005. These variables diminished to 0.378 and 0.167  $\mu\text{MHOS}/\text{CM}$  and  $\text{mg}/\text{l}$  respectively in each observation carried out.

critérios permiten relacionar la disminución significativa del Cl en los embalses Abreus y El Salto, con la reducción del riego y del uso de fertilizantes en las cuencas durante el período evaluado.

La disminución del contenido salino, en el caso del embalse El Salto, estuvo más relacionada con el lavado de la roca. Este criterio se reveló al evaluar las tendencias de los dos factores extraídos por el ACP por

Betancourt et al. (2011): *el aporte del lavado de la roca a la calidad química del agua y el aporte atmosférico y antrópico a la calidad química del agua*. En este caso solo mostró tendencia significativa a la disminución el factor relacionado con el aporte por el lavado de roca (Fig. 5).

La disminución significativa de los valores de la CE en estos tres embalses, fue una respuesta a la disminución del contenido salino



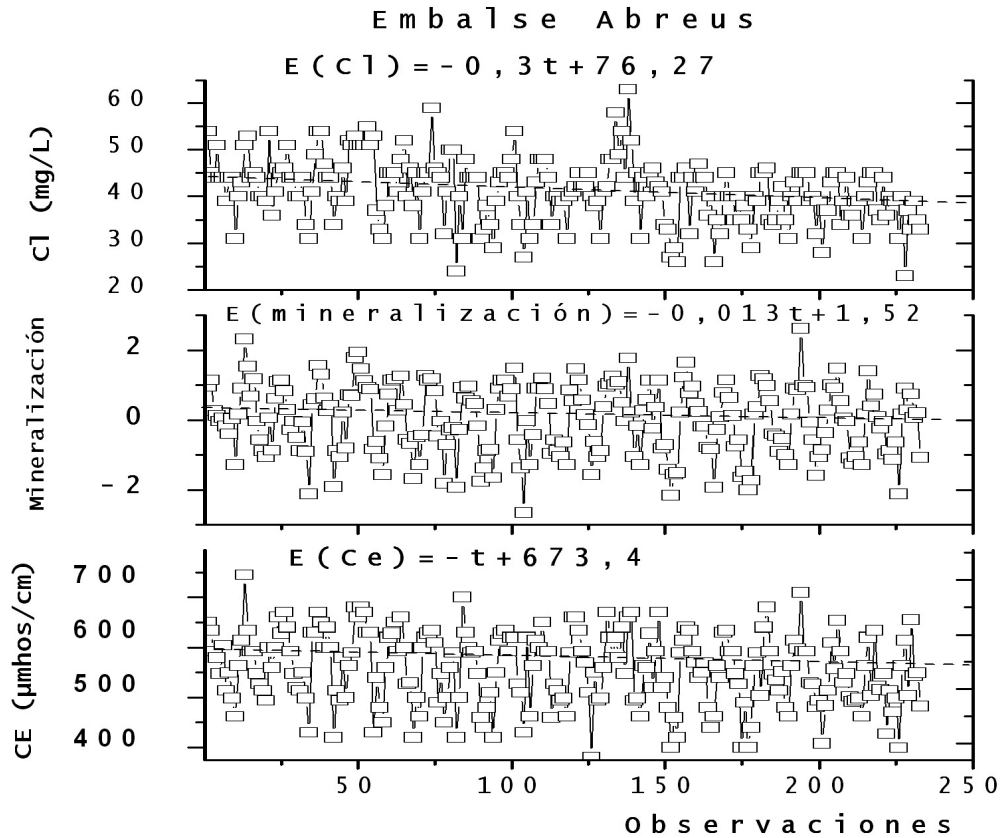


FIGURA4. TENDENCIA DEL CL, LA MINERALIZACIÓN Y LA CE EN EL EMBALSE ABREUS DURANTE EL PERÍODO 1986-2005. LOS VALORES DE LAS PENDIENTES CORRESPONDEN CON DISMINUCIONES MENSUALES.

Trend of Cl, mineralization and electrical conductivity (CE) at Abreus reservoir during the 1986-2005 period. the slope values fit with month decreases.

del agua embalsada. Esta última variable se relaciona con la concentración de sustancias iónicas disueltas en el agua (Hem 1985), por tanto representó la suma de la disminución de los iones mayores y otras sustancias iónicas disueltas, que pudieron incluir el hierro, el manganeso, entre otros.

La CE depende directamente de la concentración de las sustancias iónicas

disueltas en el agua (Hem 1985). Por tanto la disminución observada en las concentraciones de los componentes mayoritarios medidos en los embalses Avilés, Abreus y El Salto, justifica la disminución significativa de la CE.

Es reconocido que el riego agrícola aumenta el contenido salino de las aguas (Helena et al. 2000, Harris 2001, Rajmohan & Elango 2006, Miyamoto & Anand 2008,

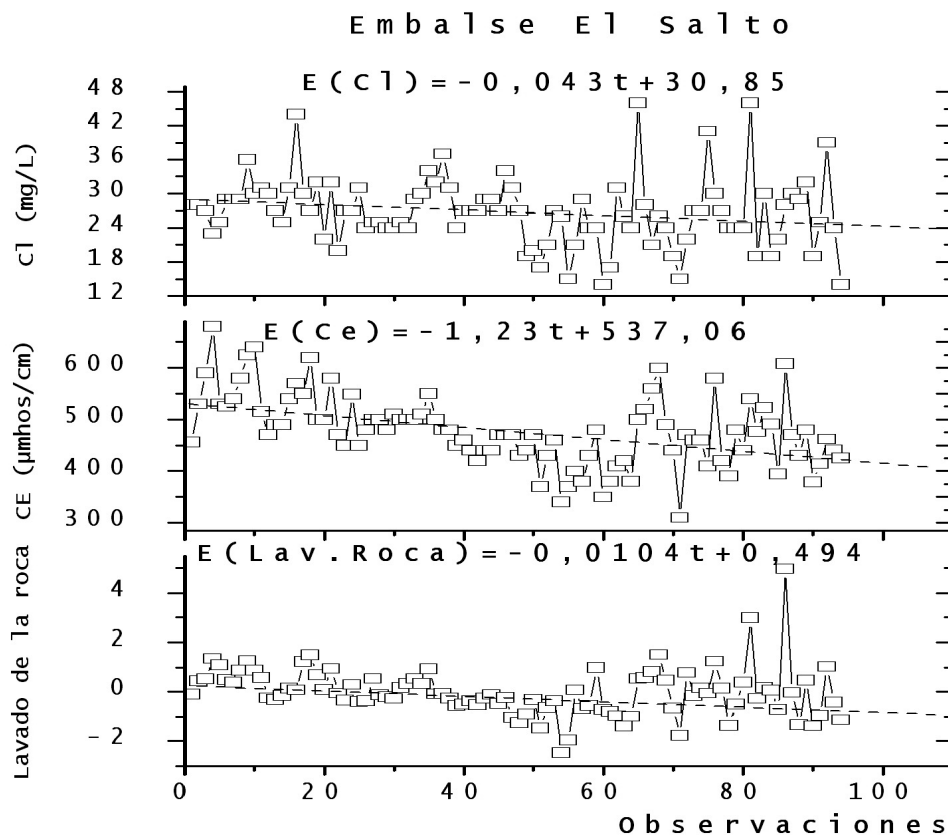


FIGURA 5. TENDENCIA DE LA CE, EL CL Y EL FACTOR «APORTE DEL LAVADO DE LA ROCA». LOS VALORES DE LAS PENDIENTES CORRESPONDEN CON DISMINUCIONES POR CADA OBSERVACIÓN.

Trend of electrical conductivity (CE), Cl and of the contribution of rock washing factor. the values of the slopes correspond to decreases for each observation.

Rytwo & Gonen 2005, Cooper et al. 2006) por el aumento en la concentración de sales en las aguas drenadas.

Este estudio fue realizado en un período en que la fertilización y el riego agrícola, se deprimió, lo cual pudo contribuir a la disminución del contenido salino y por tanto de la CE. En años anteriores al período en estudio, la cuenca de estos tres embalses a

diferencia de Paso Bonito, estuvo sometida a una mayor frecuencia de riego.

Los resultados obtenidos sobre las tendencias de los componentes mayoritarios facilitará la interpretación de cambios futuros. Resulta de interés poder separar afectaciones globales inherentes al cambio climático de aquellas derivadas de cambios locales como

son el uso del suelo, de fertilizantes o el riego agrícola.

La lluvia no mostró tendencias en ninguna de las cuencas de los cuatro embalses (Fig. 6) y fue correlacionada de forma inversa con todas las variables en el embalse Abreus. Los valores de las correlaciones oscilaron entre -0,307 y -0,605 ( $p < 0,01$ ); para el Cl y la  $D_T$  respectivamente. En el embalse El Salto solo se correlacionó con el  $HCO_3$  ( $p < 0,01$  y  $r = -0,528$ ) y con la  $D_T$  ( $p < 0,01$  y  $r = -0,325$ ), ambas correlaciones también fueron inversas. No registró correlación con las variables estudiadas en los embalses Paso Bonito y Avilés.

La lluvia no mostró tendencias en ninguna de las cuencas de los cuatro embalses durante el período estudiado (Fig. 6).

La alta correlación inversa encontrada entre la lluvia y las variables físico-químicas en el embalse Abreus, se relacionó con las características morfométricas del embalse y la cuenca que lo alimenta. La razón área de cuenca: área de embalse ( $A_c: A_e$ ) (Tabla 1) fue superior al resto de los embalses en Abreus (199), lo cual explica la dilución de los componentes mayoritarios por el efecto de la lluvia y por tanto la relación es inversa.

No se registró correlación significativa entre los valores de las precipitaciones ocurridas en las cuencas y las concentraciones

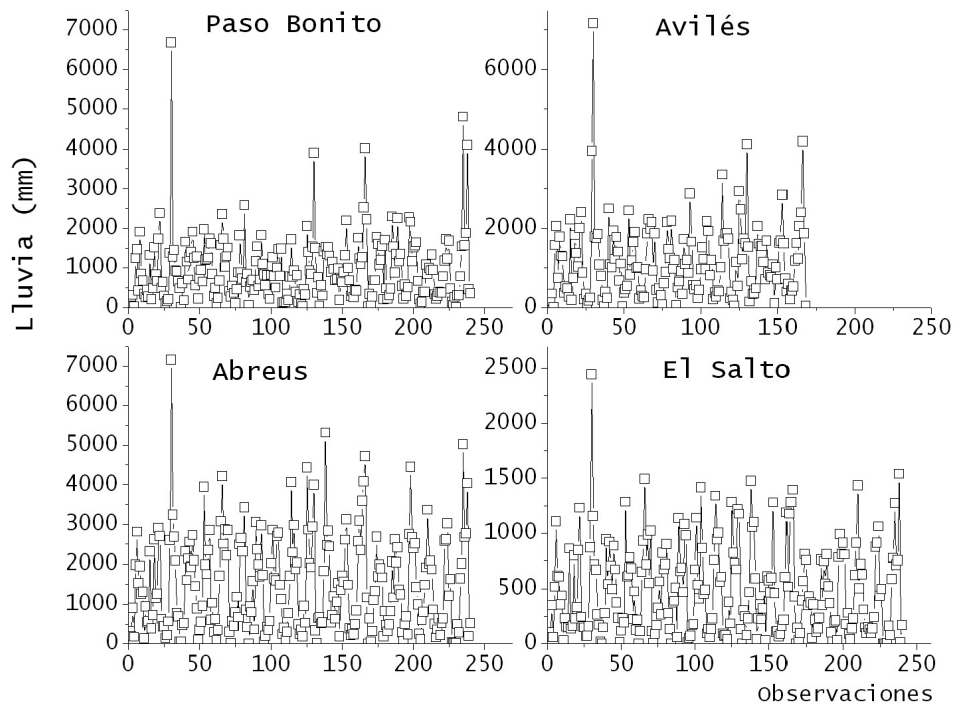


FIGURA 6. COMPORTAMIENTO DE LA LLUVIA EN LAS CUENCAS QUE ALIMENTAN LOS EMBALSES.

Rain behaviour in the wathersheds that flows to the reservoirs.

de los componentes mayoritarios de los embalses Avilés y Paso Bonito. En Avilés el efecto de dilución que produce la lluvia en las concentraciones de los componentes mayoritarios fue anulado por el bajo valor de la relación  $Ac: Ae$  (4) y el elevado volumen de almacenamiento ( $190 \text{ hm}^3$ ) de este embalse (Tabla 1). Estos resultados revelaron que las características morfológicas de los embalses y de sus cuencas respectivas tienen incidencia en la calidad de las aguas almacenadas. Este conocimiento sirve de referencia para la construcción de embalses.

En Paso Bonito el origen de las aguas que recibe el embalse anuló el efecto de dilución. La escorrentía de la cuenca, aún en el período de máxima pluviosidad, estuvo por debajo del 40% del total de agua que recibe el embalse. El mayor porcentaje se incorporó por un canal soterrado que trasvasa grandes volúmenes de agua hipolimnética desde el embalse Hanabanilla (Betancourt et al. 2009).

Las características morfológicas de este embalse y la forma en que se gestionan sus aguas (recibe aportes del embalse Hanabanilla ubicado en la cabecera de su cuenca), pudo enmascarar la posible dilución que producen las precipitaciones.

La falta de correlación entre la lluvia y los componentes mayoritarios en el embalse Avilés puede explicarse por el valor bajo de la razón ( $Ac: Ae = 4$ ).

### CONCLUSIONES

Se manifestó tendencia significativa al aumento de la  $D_T$  en el embalse Paso Bonito. Este resultado se relacionó con el fuerte proceso erosivo en la cuenca, la acumulación de sedimentos en el embalse y la mineralización de la materia orgánica contenida en dichos sedimentos.

Se registró tendencia significativa a la disminución para la CE, el Cl y los factores generados de la aplicación del ACP en los embalses Abreus y El Salto. En Avilés disminuyó significativamente la CE y el bicarbonato.

Las tendencias significativas a la disminución de las variables, se relacionaron con la reducción en el empleo de fertilizantes y en la aplicación del riego durante el período estudiado.

La lluvia tuvo un comportamiento homogéneo en la etapa y solo se correlacionó con componentes mayoritarios de los embalses Abreus y El Salto. El grado de correlación entre la lluvia y las variables físico-química del agua se relacionó con la razón  $Ac: Ae$  y la gestión de las aguas embalsadas.

### AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a la Dra. Gloria Fabregá por su colaboración en este trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ÁLVAREZ M, J CATALÁN & D GARCÍA (2006) Impacto sobre los ecosistemas acuáticos continentales: In Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático (JM Moreno ed), 113-146, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla la Mancha, Madrid ISBN: 84-8320-303-0. 34 pp.
- ANDREASEN DC & WB FLECK (1997) Use of bromide: chloride ratios to differentiate potential sources of chloride in a shallow, unconfined aquifer affected by brackish-water intrusion. *Hydrogeology Journal* 5: 17-26.
- BETANCOURT C, R SUÁREZ & L TOLEDO (2009) Ciclo anual del nitrógeno y el fósforo en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba. *Limnetica* 28: 79-90.

- BETANCOURT C, R SUÁREZ & L TOLEDO (2010a) Variabilidad iónica y características eutróficas del embalse Abreus, Cuba. *Limnetica* 29 (2): 341-352.
- BETANCOURT C, J FANNY, R SUÁREZ, M BEUTEL & S GEBREMARIAM (2010b) Manganese sources and cycling in a tropical eutrophic water supply reservoir Paso Bonito Reservoir, Cuba. *Lake and Reservoir Management* 26: 217-226.
- BETANCOURT C, R SUÁREZ & L TOLEDO (2011) Características y procesos vinculados con la calidad físico-química del agua del embalse El Salto, Cienfuegos Cuba. *Gestión Ambiental* 21: 33-47.
- BOUZA-DEAÑOR, M TERNERO-RODRIGUEZ & AJ FERNÁNDEZ-ESPINOZA (2004) Métodos no paramétricos para la detección de tendencias de calidad de aguas. Aplicación de datos históricos del río Ebro (España) 1981-2000. IV Congreso Iberoamericano de Gestión y planificación del agua. Tortuosa España. ISBN: 84-689-0052-4.
- BRUHNS W & P RANDOHR (1968) *Petrografía*. Primera edición en español. Edición Revolucionaria. La Habana, Cuba. 125 pp.
- CARPENTER SR, BJ BENSON, R BIGGS, JW CHIPMAN, JA FOLEY, SA GOLDING, RB HAMMER, PC HANSON, PTJ JOHNSON, AM KAMARAINEN, TK KRATZ, RC LATHROP, KD MCMAHON, B PROVENCHER, JA RUSAK, CT SOLOMON, EH STANLEY, MG TURNER, MJ VANDER ZANDEN, CH WU & H YUAN (2007) Understanding regional change: A comparison of two lake districts. *Bioscience* 57: 323-335.
- CHANG H (2008) Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. *Water Resources* 42: 3285-3304.
- COLE JJ, YT PRAIRIE, NF CARACO, WH MCDOWELL, LJ TRANVIK, RG STRIEGL, CM DUARTE, P KORTELAJAINEN, JA DOWNING, JJ MIDDELBURG & JM MELACK (2007) Plumbing the global carbon cycle: Integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. *Ecosystems* 10: 171-184.
- COHEN AS (2003) *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems*. Oxford Univ. Press. 330 pp.
- COOPER CA, G CARDON & J DAVIS (2006) *Salt Chemistry Effects on Salinity Assessment in the Arkansas River Basin, Colorado*. Colorado Water Resources Research Institute Completion Report 206. <http://cwri.colostate.edu/publications/cr/206.pdf>. 60 pp.
- DOERR SM, SW EFFLER, KA WHITEHEAD, MT AUER, M PERKINS & TM HEIDTKE (1994) Chloride model for polluted Onondaga Lake. *Water Resources* 28: 849-861.
- FIGUEROA JA (2007) *Influencia del cambio climático en la variabilidad de los caudales fluviales*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas con especialidad en Hidráulica La Habana, Cuba. 200 pp.
- INLAY K, P LEAVITT, B WISSEL & Y PRAIRIE (2009) Regulation of spatial and temporal variability of carbon flux in six hard-water lakes of the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography* 54: 2553-2564.
- HARRIS G (2001) *A Nutrient Dynamics Model for Australian Waterways: Land Use, Catchments Biogeochemistry and Water Quality in Australian Rivers, Lakes and Estuaries*, Australia State of the Environment Second Technical Paper Series (Inland Waters), Department of the Environment and Heritage, Canberra. <http://www.ea.gov.au/soe/techpapers/index.html>
- HELENA B, R PARDO, M VEJA, E BARRADO, JM FERNANDEZ & L FERNANDEZ (2000) Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by Principal Component Analysis. *Water Resources* 34: 807-816.
- HEM JD (1985) *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of natural Water*. Third Edition USGS 263 pp.
- HIRSCH RM & JR SLACK (1984) A non-parametric test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20: 727-732.

- HIRSCH RM, JR SLACK & RA SMITH (1982) Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18: 107-121.
- INSTITUTO DE GEOGRAFÍA TROPICAL (IGT) (2008) Estudio de los recursos hídricos en la cuenca del río Arimao. Proyecto Ramal, Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba 146 pp.
- KENDALL MG (1975) Rank correlation methods, Fourth ed. Charles Griffing. London. 202 pp.
- LAIZ O (2007) Estudio de Azolvamiento en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos. Informe Científico Técnico. Investigaciones y proyectos hidráulicos. Habana, Cuba. 14 pp.
- LERMAA, L WU & FT MACKENZIE (2007) CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in the global carbon balance. *Marine Chemistry* 106: 326-350.
- LOWRANCE R, LS ALTIER, JD NEWBOLD, RR SCHNABEL, PM GROFFMAN, JM DENVER, DL CORRELL, JW GILLIAM, JL ROBINSON, RB BRINSFIELD, KW STAVER, W LUCAS & AH TODD (1997) Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management* 21: 687-712.
- MANN HB (1945) Non-parametric test against trend. *Econometrica* 13: 245-249.
- MIYAMOTO S & S ANAND (2008) Hydrology, Salinity, and Salinity Control Possibilities of the Middle Pecos River: A Reconnaissance Report. <http://repository.tamu.edu/handle/1969.1/86109>. 35 pp.
- OREN O, Y YECHIELI, JK BÖHLKE & A DODY (2004) Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, central Arava Valley, Israel. *Journal of Hydrology* 290: 12-328.
- PASCHE N, C DINKEL, B MÜLLER, M SCHMID, A WÜEST & B WEHRLI (2009) Physical and biogeochemical limits to internal nutrient loading of meromictic Lake Kivu. *Limnology and Oceanography* 54: 1863-1873.
- PHAM SV, PR LEAVITT, S MCGOWAN & PPERES-NATO (2008) Spatial variability of climate and land-use effects on lakes of the northern Great Plains. *Limnology and Oceanography* 53: 728-742.
- RAJMOHAN N & L ELANGO (2006). Hydrogeochemistry and its relation to groundwater level fluctuation in the Palar and Cheyyar river basins, southern India. *Hydrological Processes* 20: 2415-2427.
- RIMMERA (2003) The mechanism of Lake Kinneret salinity as a linear reservoir. *Journal of Hydrology* 281: 177-190.
- RIMMERA, M BOGER, A YASUAKI & K MICHIO (2006) A lake as a natural integrator of linear processes: Application to Lake Kinneret (Israel) and Lake Biwa (Japan). *Journal of Hydrology* 319: 163-175.
- RIMMERA A, Y AOTA, M KUMAGAI & W ECKERT (2005) Chloride, a natural inert tracer for chemical stratification in subtropical lakes. *Limnology and Oceanography* 50: 147-157.
- RYTWO G & Y GONEN (2005) An Aquatic Environmental Chemistry Student's Experiment: Influence of Human Activity on Water Sources. *Journal of Natural Resources & Life Sciences Education American* 34: 49-59.
- SEN PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379-1389.
- SHUMWAY RH & SD DTOFFER (2006) Time Series Analysis and its Applications. Springer-Verlag. ed. 575 pp.
- SMOL JP (2008) Pollution of lakes and rivers: A paleoenvironmental perspective, 2nd ed. Oxford Univ. Press. 396 pp.
- VINEY NR & M SIVAPALAN (1996) The hydrological response of catchments to simulated changes in climate. *Ecological Modeling* 86: 189-193.
- WEI WS (2005) Time Serie Analysis: Univariate and multivariate Methods. Addison-Wesley ed. 496 pp.
- WETZEL RG (1975) *Limnology*, W. B. Saunders Company, United States of America. 743 pp.
- WILLIAMS WD (2001) Anthropogenic salinization of inland waters. *Hydrobiologia* 466: 329-337.
- WILLIAMSON CE, W DODDS, TK KRATZ & M PALMER (2008) Lakes and streams as sentinels of environmental change in terrestrial and

atmospheric processes. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6: 247-254.

WILLIAMSON CE, JE SAROS & DW SCHINDLER (2009a) Sentinels of change. *Science* 323: 887-888.

WILLIAMSON CE, JE SAROS, WF VINCENT & JP SMOL (2009b) Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change. *Limnology and Oceanography* 54: 2273-2282.

Recibido 12/07/2012; aceptado 10/12/2012