

## RESPOSTAS DAS DIATOMÁCEAS A MUDANÇAS AMBIENTAIS NO LAGO DE TOTA- COLOMBIA DURANTE O HOLOCENO

Cardozo-Vargas AY<sup>1,2</sup>, Gomes D<sup>1</sup>,Albuquerque AL<sup>3</sup>,da Silva E<sup>1</sup>, Rangel JO<sup>4</sup>, Duque S<sup>5</sup>.

[yohanacardozo@yahoo.es](mailto:yohanacardozo@yahoo.es)

<sup>1</sup>Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia- Brasil; <sup>2</sup> Unidade de Ecologia em sistemas Aquáticos, Univerisdad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; <sup>3</sup> Instituto de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense - Brasil; <sup>4</sup> Instituto de Ciências Naturales (ICN) Universidad Nacional de Colombia; <sup>5</sup> Instituto Amazónico de investigaciones -Imani. Universidad Nacional Colombia, sede Letícia

*Endereço postal:* Rua Barão Jeremoabo 147, CEP 40170115, Instituto de Biologia, Departamento de Botânica, Laboratório EcoPaleo

### RESUMO

O lago de Tota esta localizado na Cordilheira Oriental Colombiana, a sudoeste do Estado de Boyacá, numa altitude de 3015 msnm, entre as coordenadas 5°33'40"N e 72°53'52"W. Na zona litoral do lago, foi coletado um testemunho de 54-cm dentro de um banco de *Egeria densa* Planchon, a uma profundidade de 1,5 m, o testemunho foi sub-amostrado a intervalos de 0,5 cm. Em cada subamostra foram realizadas analises do componente biológico, assembléias de diatomáceas tal como do componente geoquímico, concentrações de carbono orgânico total (Cot), nitrogênio total (Nt), isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  e a razão atômica carbono e nitrogênio ( $C_{\text{org}}/N_t$ ). A estrutura da assembléia de diatomáceas esteve dominada por *Cyclotella stelligera*, *Fragilaria sensu lato* (*Pseudostaurosira brevistriata* var. *brevistriata*, *S. brevistriata* var. *inflata*, *Staurosira construens* var. *venter*, *Staurosirella pinnata* e *S. leptostauron* var. *dubia*) e *Cocconeis placentula* espécies que respondem a diferentes impactos ambientais, em resposta a suas preferências ecológicas. Já na geoquímica o isótopo  $\delta^{13}\text{C}$  e a razão atômica C/N, foram às variáveis que mais influenciaram nas analises, estas variáveis são diretamente influenciadas pelo balanço na precipitação e evaporação. Os dois componentes estudados foram bons indicadores de mudanças ambientais durante o Holocene médio a tardio, pois mostraram três períodos de mudanças significativas na paleohidrologia e paleolimnologia do lago. Desta forma o lago de Tota pode ser um lugar adequado para realizar reconstruções paleoambientais no quaternario, e os resultados podem dar uma boa oportunidade para analisar a historia da paleohidrologia e paleolimnologia de lagos de alta montanha na Colômbia.

**Palavras-chave:** *Diatomáceas, paleolimnologia, paleohidrologia, Lago de Tota, Holocene médio-tardio*

Financiadores: Conselho nacional de pesquisa e desenvolvimento – Cnpq  
Departamento administrativo de ciencia, tecnologia e inovación -Colciencias

## INTRODUÇÃO

Estudos paleolimnológicos na Colômbia tem se centrado na análise de pólen (Marchant *et al.* 2001), para descrever mudanças na vegetação como resultado de perturbações climáticas. No entanto, como a resposta deste indicador às mudanças ambientais ocorrem de forma lenta, a palinologia aborda melhor as perturbações de longo prazo. Já a comunidade algal dos lagos, particularmente as assembléias de diatomáceas, respondem prontamente a mudanças no ambiente, visto que têm um ciclo de vida medido em horas. Por isso têm sido utilizadas para documentar mudanças na paleohidrologia e paleolimnologia dos lagos (Stoermer e Smol 1999). Na Colômbia, este tipo de abordagem é relativamente recente (Velez *et al.* 2006). Desta forma, esta investigação apresenta a reconstrução paleolimnológica e paleoambiental do lago de Tota, baseado na análise das assembléias das diatomáceas preservadas nos sedimentos e a geoquímica elementar e isotópica, com o objetivo de descrever as respostas das diatomáceas ao longo de um testemunho holocênico e associá-las a mudanças ambientais milenares.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lago de Tota está localizado na Cordilheira Oriental Colombiana, a sudoeste do Estado de Boyacá, numa altitude de 3015 msnm, entre as coordenadas 5°33'40"N e 72°53'52"W (Aranguren *et al.* 2011). Na zona litoral do lago, setor lago Chico, foi coletado um testemunho de 54-cm dentro de um banco de *Egeria densa* Planchon, a uma profundidade de 1,5 m. O testemunho foi sub-amostrado a intervalos de 0,5 cm, as amostras foram embaladas em sacos plásticos, identificadas e armazenadas em refrigerador a 4°C.

Para a análise da assembléia diatomáceas, os sedimentos foram preparados seguindo a metodologia proposta por Battarbee (2001) e observadas em microscópio binocular Olympus CX40, com magnificação de 1000x. A identificação das espécies foi realizada a partir de Metzeltin e Lange-Bertalot (1998) e Meltzeltin *et al.* (2005). Após a identificação, as valvas e seus fragmentos identificáveis foram contados, mínimo de 400 valvas por lâmina. Consideraram-se como fragmento identificável a parte central da valva (diatomáceas centrais) e o sistema de rafe e a área central, nas diatomáceas penadas (Battarbee 2001).

Foram analisadas as concentrações de carbono orgânico total (Cot), nitrogênio total (Nt), a geoquímica isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$ ) e a razão atômica carbono e nitrogênio (C/N) presentes no sedimento de cada camada amostrada. O Cot, o Nt e os isótopos  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  foram analisados no Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade de Davis, Califórnia (EUA). Uma análise de correspondência restringida (DCA) foi realizada para determinar o tamanho do gradiente e o índice de Hill's  $N_2$  (Birks, 1998). Definido o tamanho do gradiente realizou-se uma Análise de Componentes Principais (ACP) para aproveitar os escores do primeiro eixo da ACP da geoquímica elementar e isotópica e compará-los com o primeiro eixo da ACP das diatomáceas, e assim poder observar os limites entre as biozonas estratigráficas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O diagrama estratigráfico foi dividido em três fases e duas transições, as quais foram definidas pelas mudanças nos escores da ACP das assembléias das diatomáceas e dos escores do PCA da geoquímica elementar e isotópica.

Na fase I (54,0-39,5-cm, período estimado entre 4061 e 3704 anos calibrados AP), as assembléias foram dominadas pela espécie planctônica *C. stelligera* (29±6,6%) e co-dominada pelas espécies perifíticas *Fragilaria sensu lato* (19,4±5,4%) e *C. placentula* var. *lineata* (19,4± 4%). Outras espécies, como *Aulacoseira granulata* e *Gomphonema pumilum*, apresentam contribuições menores do que 10% (Figura 2). Esta estrutura da assembléia para o Holoceno médio pode indicar que o lago esteve sob influência de climas quentes, pois segundo Rühland *et al.* (2003) e Stone *et al.* (2010), climas quentes, com períodos longos livres de gelo, levam a um aumento na duração e estabilidade da estratificação térmica, condição que altera as propriedades físicas e químicas da água do lago.

Durante a transição I (39,0-25,5-cm, período estimado entre 3659-3074 anos cal. AP), as assembléias de diatomáceas foram dominadas por *C. stelligera* (20,3±5,5%), *C. placentula* var. *lineata* (22,2±3,7%) e por *Fragilaria sensu lato* (22 ±5,4%). Há um aumento na representação percentual de *G. pumilum*, mas não supera os 10% (Figura 3). A alta representatividade de *C. placentula* pode estar associada a processos de variação do nível de água do lago de Tota, os quais exerceriam forte influência sobre o processo de dissolução valvar. De acordo com Podrisky *et al.* (2007) esta espécie está presente antes e imediatamente após eventos de dissolução, além de ter fortes vínculos com a flutuações do nível da águas e períodos quentes (Lami *et al.* 2010).

Na fase II (25,0–16,0-cm, período estimado entre 3029-2625 anos cal. AP), as assembléias foram dominadas pelas espécies bentônicas *Fragilaria sensu lato* (42,2±10,3%) e co-dominada pela espécie planctônica *C. stelligera* (19±6,3%). Já a espécie perifítica *C. placentula* diminui sua contribuição (11,7± 7%) (Figura 3). O aumento de *Fragilaria sensu lato* e o declínio de *C. stelligera* podem ter relação com a estabilidade da coluna d água, nível da água e o estado trófico do sistema, pois *C. stelligera* desenvolve-se bem em ambientes estratificados, oligotróficos e profundos  $\geq 20$  m (Rühland *et al.* 2003; Stone *et al.* 2010). Isto significaria que o lago, no Holoceno tardio, apresentava, possivelmente, águas frias e estratificadas, alcalinas, estado trófico de oligo-mesotrófico, o que refletiria um período sob influência de clima relativamente frio e seco.

Na transição II (15,5-11,5-cm, período estimado entre 2580-2445 anos cal. AP), as assembléias ainda foram dominadas por *Fragilaria sensu lato*, mas apresentou diminuição na abundância de 42,2±0,33% para 31,8±3,1%. *C. Stelligera* também diminui de 19,02±6,28% para 12,13± 2,47%. Já a concentração valvar de *C. placentula* aumentou de 11,7± 7% para 16,±2,4%, bem como *A. Granulata*, de 5,3±1,6% para 13,4±3,22%. Outras espécies, tais como *G. pumilum* e *A. minutissimum* var. *minutissimum* aumentam suas abundâncias mais não superam os 10% (Figura 3). A mudança na abundância das espécies pode indicar que houve mudanças nas condições de pH, temperatura e circulação das águas no sistema. A diminuição na abundância relativa de espécies alcaliófilas, como *Fragilaria* spp., e o aumento na abundância relativa de *Aulacoseira* sp. indicam ambientes com águas ligeiramente alcalinas, altas precipitações, condições de baixa intensidade luminosa e períodos longos de mistura, o que levaria a um depósito maior de táxons perifíticos da região litorânea na parte mais profunda do lago (Rühland *et al.* 2005; Rioual *et al.* 2007).

Fase III (11,0-0,5-cm, período estimado 2400 anos calibrados AP até o presente). Estas assembléias foram dominadas pelas *Fragilaria sensu lato*. No entanto, em relação à zona de transição II, há diminuição na contribuição de 31,77± 3,08% para 26,±5,6%; o mesmo

acontece com *C. Stelligera*, que diminuiu a sua representação de  $12,13 \pm 2,5\%$  para  $8 \pm 5,4\%$ . Já *C. placentula* ( $20 \pm 4\%$ ) e *A. minutissimum* ( $9,2 \pm 10,3\%$ ) aumentaram e *A. granulata* manteve sua contribuição ( $13,1 \pm 5\%$ ) (Figura 2). Nesta fase se destaca a contribuição de *A. Minutissimum*, ao final da fase. Esta espécie é registrada como perifítica e epifítica (Van Dam 1994), indicadora de águas oxigenadas (Caballero *et al.* 2006), e altas concentrações de carbono orgânico dissolvido (Cod) (Rühland *et al.* 2005). Sua presença indica lagos rasos, talvez com profundidades  $\leq 4$ -m, com zona litoral bem desenvolvida e com elevada produtividade biológica, favorecendo o estabelecimento das comunidades perifíticas, especialmente as epifíticas (Hassan *et al.* 2009).

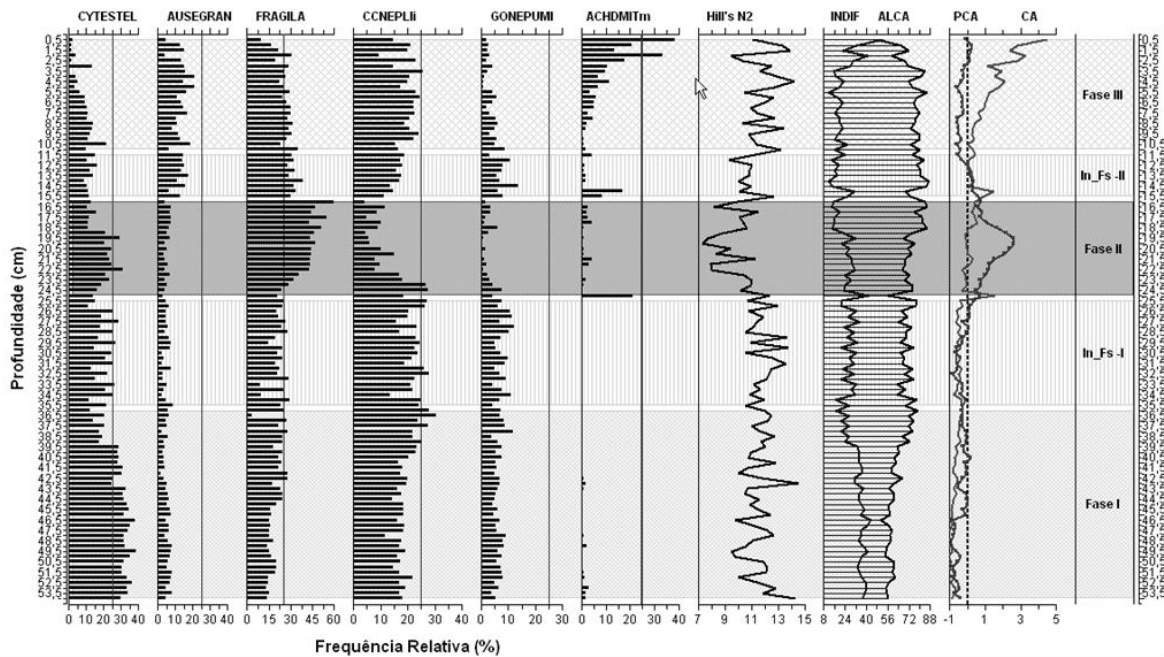


Figura 2. Frequência relativa (%) dos táxons mais representativos nas amostras do testemunho Tota0108, pH inferido pela ecologia das espécies. Escores do PCA da geoquímica e CA das assembléias das diatomáceas a partir da qual se definiram as fases estratigráficas.

Através da geoquímica elementar e isotópica se pode entender melhor esta mudança na estrutura da assembléia das diatomáceas observadas nas fases descritas, as quais podem estar ligadas às mudanças na paleolimnologia do lago e paleohidrologia da bacia. Os valores da razão atômica C/N ( $12,53 \pm 2,20$ ),  $\delta^{15}\text{N}$  ( $2,53 \pm 1,36$ ),  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-29,28 \pm 1,46$ ) e Cot ( $1,46 \pm 0,26$ ) indicaram que no Holoceno médio a tardio, a matéria orgânica produzida no lago foi predominantemente de origem fitoplanctônica. Isto foi interpretado como indício que durante Holoceno as condições úmidas foram intensificadas e estáveis, o que pode ter contribuído para o aumento no nível da água do lago e conseqüente aumento na produção do fitoplâncton. A entrada de matéria orgânica terrestres foi baixa ou insignificante, talvez devido a eficiência de filtração do material particulado a cargo da comunidade de macrófitas da zona litoral.

## REFERÊNCIAS

- Aranguren-Riaño N, Guisande C, Ospina R (2011) Factors controlling crustacean zooplankton species richness in Neotropical lakes. *J Plankton Res* pp.1-9
- Battarbee R, Jones V, Flower R, Cameron N, Bennion H, Carvalho L, Juggins S (2001) Diatoms. In: Smol J, Birks H, Last W(eds) *Tracking environmental change using lake sediments*, v.3: terrestrial, algal and siliceous indicators, pp. 155-202.
- Birks HJB (1998) Numerical tools in paleolimnology - progress, potentialities, and problems, *J Paleolimnol* 20:1307-1332
- Caballero M, Vázquez G, Lozano-García S, Rodríguez A, Sosa-Nájera S, Ruiz-Fernández A, Ortega B (2006) Present limnological conditions and recent (ca. 340 yr) palaeolimnology of a tropical lake in the Sierra de Los Tuxtlas, eastern Mexico. *J Paleolimnol* 35:83-97
- Hassan G, Tietze E, Francesco C (2009) Modern diatom assemblages in surface sediments from shallow lakes and streams in southern Pampas (Argentina). *Aquat Sci* 71:487-499
- Lami A, Marchetto A, Salerno F, Tartari G, Guilizzoni P, Rogora M, Tartari G (2010) Chemical and biological response of two small lakes in the Khumbu Valley, Himalayas (Nepal) to short-term variability and climatic change as detected by long-term monitoring and paleolimnological methods. *Hydrobiologia* 648:189 -205
- Marchant R, Behling H, Berrio JC, Cleef A, Duivenvoorden J, Hooghiemstra H, Kuhry P, Melief B, Van Geel B, Vander Hammen T, Van Reenen G, Wille M (2001b) Mid to Late-Holocene pollen-based biome reconstructions for Colombia. *Quat Sci Rev* 20:1289-1308
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H (1998) Tropical Diatoms of South America. *Iconogr. Diatomol* v. 5. pp. 695
- Metzeltin D, Lange-Bertalot H, Garcia-Rodriguez F (2005) Diatoms of Uruguay. *Iconogr. Diatomol* v. 15. pp.737
- Podrifske B, Gajewski K (2007) Diatom community response to multiple scales of Holocene climate variability in a small lake on Victoria Island, NWT, Canada, *Quat Sci Rev* 26:3179-3196
- Rioual P, Andrieu-Ponel V, Beaulieub J, Reille M, Svobodovac H, Battarbee R (2007) Diatom responses to limnological and climatic changes at Ribains Maar (French Massif Central) during the Eemian and Early Würm. *Quat Sci Rev* 26:1557-1609
- Ruhland K, Priesnitz A, Smol J (2003) Paleolimnological evidence from diatoms for recent environmental changes in 50 lakes across Canadian arctic treeline, *Arct Antarct Alp Res* 35:110-123
- Ruhland K, Smol J (2005) Diatom shifts as evidence for recent Subarctic warming in a remote tundra lake, NWT, Canada. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* v.226, pp 1-16.
- Stoermer E, Smol J (1999) *The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences*. Cambridge University Press, New York, pp. 469
- Stone J, Westover K, Cohen A (2010) Late Pleistocene paleohydrography and diatom paleoecology of the central basin of Lake Malawi, Africa. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 303:51-70
- Van Dam H, Mertens A, Sinkeldam J (1994) A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands, Netherlands. *J Aquat Ecol* 28:117-133
- Vélez M, Hooghiemstra H, Metcalfe S, Wille M, C.Berrío J (2006) Late Glacial and Holocene environmental and climatic changes from a limnological transect through Colombia, northern South America. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 234: 81-96