

Estado actual de los lagos de montaña en Colombia: desde lo microscópico al ecosistema.

Este artículo presenta algunos de los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto “Ecología de las diatomeas de lagos de páramos de la Cordillera Oriental de Colombia”, financiado por el Ministerio de Ciencias y la Pontificia Universidad Javeriana. Esta investigación fue adelantada entre 2016 y 2020 por un grupo de investigadores, especializados en la ecología acuática de ecosistemas tropicales. Los resultados de este proyecto se han presentado en eventos científicos nacionales e internacionales y serán publicados en revistas indexadas.

ESTADO ACTUAL DE LOS LAGOS DE MONTAÑA EN COLOMBIA: DESDE LO MICROSCÓPICO AL ECOSISTEMA

LAGOS DE MONTAÑA DE COLOMBIA

Carlos A. Rivera-Rondón, Angela Zapata
Laboratorio de Limnología, UNESIS, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Cra. 7 40-62 Bogotá, Colombia.

Correspondencia para los autores:
crivera@javeriana.edu.co,
zapata-a@javeriana.edu.co

Recibido: 28 de febrero de 2020
Aceptado: 27 de marzo de 2020



Foto 1. Páramo de Chingaza. Fotografía: Carlos Rivera

RESUMEN

Los lagos de montaña de Colombia son ecosistemas de gran valor ambiental al proveer agua a una gran parte de la población y también pueden recoger información de impactos humanos a escala regional y global al ser depósitos de las emisiones atmosféricas a escala planetaria. Organismos microscópicos como las algas pueden dar cuenta de diferentes aspectos a nivel del ecosistema, como la producción primaria y el estado trófico. Pese a la gran importancia que tienen los lagos no se han desarrollado suficientes estudios sobre su distribución y estado actual. Por esta razón, la construcción de una línea base es valiosa para evaluar cómo están respondiendo ante diferentes factores. Este trabajo explora el estado actual de estos ecosistemas a través de 60 lagos y algas microscópicas.

Palabras clave: páramo, alta montaña, lagos, limnología

SUMMARY

The mountain lakes of Colombia are ecosystems of great environmental value by providing water to a large part of Colombia's population. In addition, they can also collect information on human impacts at regional and global scales. Despite their great importance, not enough studies have been developed on their distribution and current status. For this reason, there is no knowledge base to assess how they are responding to different stressors. In order to overcome the lack of knowledge, this research project focus on developing an initial description. The results of the study highlight the environmental value of these ecosystems and show some of their characteristics.

Keywords: Moor, high mountain, lakes, limnology



INTRODUCCIÓN

En las zonas de montaña de Colombia, especialmente las que están por encima de los 3200 metros sobre el nivel de mar, se encuentra los páramos. Los páramos se caracterizan por una vegetación arbustiva, en donde los frailejones son emblemáticos de este tipo de ecosistema, así como otras plantas que no se encuentran en otros sitios (Foto 1).

Si bien tienen temperaturas medias muy bajas, la temperatura es relativamente constante durante todo el año y presentan una alta precipitación. Todas estas condiciones permiten la formación de un ecosistema que se distribuye en la Cordillera de los Andes, desde Perú hasta Venezuela, y en Costa Rica. Dentro del páramo, sobresalen por su belleza estética y su simbología un gran número de cuerpos de agua, que incluyen desde pequeños humedales hasta grandes y profundos sistemas, a los cuales se pueden llamar en conjunto como lagos de montaña (Foto 2).

Estos ecosistemas han sido considerados históricamente como ambientes muy bien conservados y con aguas de muy buena calidad. De hecho, el 65% del país toma para consumo agua que proviene de zonas de montaña. No obstante, los lagos de la Cordillera Oriental de Colombia sufren fuertes procesos de deterioro debido a que son utilizados para el abastecimiento de acueductos y reciben aportes de nutrientes provenientes de actividades agrícolas y ganaderas. La expansión de la frontera agrícola, actividades de minería y el posconflicto son las principales amenazas que afectan a estos ecosistemas (Llambí et al., 2019).

IMPORTANCIA DE LOS LAGOS DE MONTAÑA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO GLOBAL

El cambio global incluye todos los cambios ambientales que ocurren en el planeta, y que están relacionados con las actividades humanas (International Geosphere Biosphere Programme, 2015), enmarcados dentro de una nueva unidad geológica denominada antropoceno (Zalasiewicz et al., 2015). Por lo tanto, incluye el incremento en las emisiones de dióxido de carbono, el aumento en la temperatura del planeta, cambios en los usos del suelo, modificación de los ciclos biogeoquímicos y la contaminación de los ecosistemas, entre otros. Además del esperado incremento en temperatura (Ngai et al., 2013) y los cambios en los volúmenes de agua (Jones et al., 2011), los lagos de páramo pueden sufrir eutrofización por las deposiciones atmosféricas de nutrientes y de contaminantes derivados de la industria y la agricultura (Catalan, 2008; Arellano et al., 2014). Asimismo, se ven afectados por la dispersión de especies invasoras, la extinción de especies nativas y cambios en la biodiversidad, entre otros (Catalan et al., 2013). Todos es-



tos procesos pueden llevar a cambios en la calidad del agua (Whitehead et al., 2009) y finalmente, pueden causar un detrimento de los servicios ambientales que proveen estos ecosistemas.

Los lagos colectan evidencias de eventos ocurridos no solo al interior del lago, sino también en la cuenca y a escala del planeta. Muchos de estos eventos quedan registrados en los sedimentos y pueden cuantificarse. Diferentes materiales se acumulan progresivamente en el tiempo y dejan una “memoria” del pasado del ecosistema. Estos materiales incluyen carbonatos, plomo, minerales, pero también restos de organismos. Todos estos materiales se desintegran a una tasa muy baja, por lo que pueden ser usados para reconstruir el ambiente de hace miles de años. Dentro de los restos de organismos se encuentran algas microscópicas llamadas diatomeas, partes de pequeños Crustáceos como Cladóceros, esqueletos de insectos, escamas de peces y restos de plantas. En este contexto, los lagos de montaña pueden ser usados como sensores del cambio global. Algunos de estos efectos de escala global, tienen que ver con el desarrollo industrial. La utilización de cantidades masivas de combustibles fósiles, la deforestación, entre

otros factores, no solo han causado un calentamiento del planeta, sino también la liberación de una gran cantidad de compuestos químicos a la atmósfera que dejan un rastro en el fondo de los lagos.

En el contexto de Colombia, las transformaciones en la cuenca de algunos de estos sistemas han causado una reducción en su volumen de agua y un incremento en la concentración de nutrientes (Donato, 1998). Pese a la gran importancia que tienen estos sistemas, no se han desarrollado suficientes estudios sobre su funcionamiento. Consecuentemente, no existe una base de conocimiento que permita evaluar cómo están respondiendo ante diferentes factores tensionantes. En este sentido, la diversidad biológica contenida en los lagos puede ser de gran valor para estudiar el impacto de todos estos factores. De acuerdo con esto, se adelanta el proyecto *Ecología de las diatomeas de lagos de páramos de la Cordillera Oriental de Colombia*, financiado por el Ministerio de Ciencias (Colciencias, 50000-050-2016) y la Pontificia Universidad Javeriana (IDPPTA 6789). En este artículo se presentan algunas de las observaciones realizadas durante un estudio de 60 lagos montaña de la Cordillera Oriental de Colombia y de su flora diatomológica.

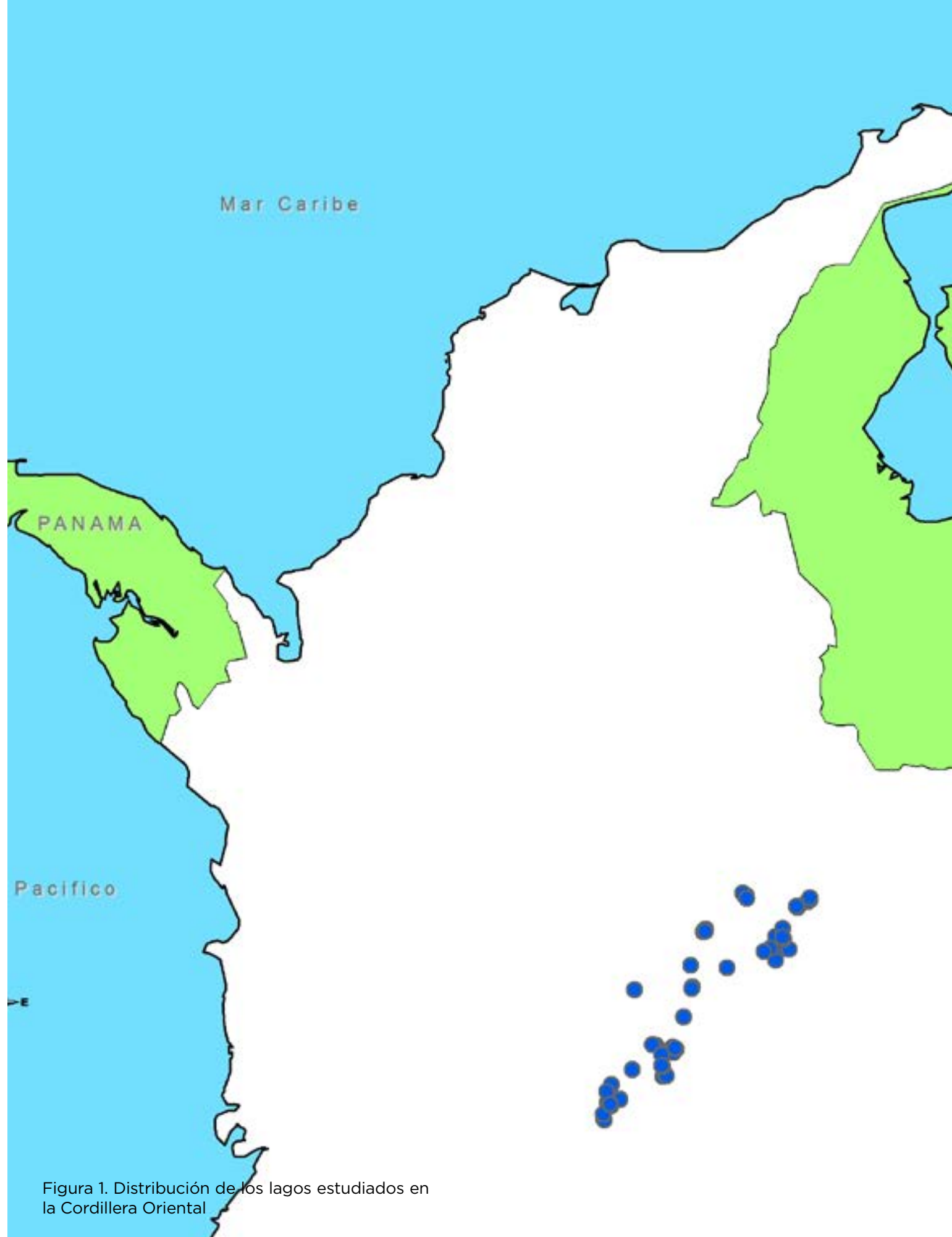


Figura 1. Distribución de los lagos estudiados en la Cordillera Oriental

MÉTODOS

El proyecto se desarrolla en la Cordillera Oriental de los Andes, la cual se extiende en Colombia entre los 1° 05' y 8° 40' N. La Cordillera Oriental inició su levantamiento durante el Eoceno tardío y es de origen predominantemente tectónico (Caballero et al., 2010). La litología es predominantemente del Cretácico y del Eoceno, conformada por rocas sedimentarias de origen continental o transicional marino-continental (Gómez et al., 2007). De acuerdo con esto, la mayor parte de los lagos de esta zona están sobre una geología sedimentaria sin influencia de volcanismo.

Con el objeto de recoger la variabilidad natural de los lagos de montaña de la Cordillera Oriental, se seleccionaron 60 lagos con espejos de agua mayores a 0.5 hectáreas y ubicados por encima de 2800 m.s.n.m. Para la selección de los lagos, se tuvieron en cuenta factores relacionados con la variabilidad geológica, climática, altitudinal, extensión del lago, accesibilidad, entre otros (Figura 1).

Cada ecosistema fue muestreado una sola vez durante el periodo de sequía, cuando las comunidades algales tanto del plancton como de los

bentos presentan una mayor densidad y se reduce el efecto de la dilución de la composición química causada por las lluvias. En cada uno de los lagos se realizó una caracterización del entorno de los lagos, de la zona litoral. Asimismo, se tomaron muestras para la caracterización física, química y biológica (Foto 3).



Fotografía: Ángela Zapata

El muestreo biológico consistió en la colecta de muestras para estudiar las comunidades de algas planctónicas y bénticas, especialmente las diatomeas. Por otro lado, en cada lago se tomó una muestra del registro sedimentario, para recopilar los cambios recientes en el ecosistema. El muestreo de este registro se realiza con un acorazonador de gravedad, el cual es un cilindro que por gravedad se introduce en el sedimento y permite recoger los sedimentos acumulados durante el pasado (Foto 4).



Foto 4. Núcleo de sedimento colectado en el lago de Tota. Fotografía: Ángela Zapata



Foto 5. Laguna de Casablanca en el páramo de Sumapaz. Fotografía: Carlos Rivera

Observaciones del estado actual de los lagos de montaña

Entre los lagos muestreados un 50% están ubicados en Parques Nacionales Naturales y otro 30% están bajo algún estatus de conservación. No obstante, los resultados encontrados indican que los lagos estudiados están sometidos a un gradiente de intervención antrópica. Cuando se formuló el proyecto, se esperaba que los lagos de páramo reflejaran un escaso desarrollo de actividades humanas en sus cuencas y que el diseño del muestreo permitiera recoger la respuesta de las especies ante las variaciones naturales dadas por la geología y por los procesos internos de cada ecosistema. Sin embargo, la Cordillera Oriental presenta una transformación muy alta, con regiones en donde hasta un 49-74% del área ha sido modificada por las actividades humanas (Cabrerá y Ramírez, 2014). Los cultivos de papa y la ganadería son los factores que históricamente más impacto han tenido en los páramos (Sánchez-Cuervo et al., 2012). En este sentido, la preselección de los lagos y las observaciones de campo mostraron que sí existe un impacto evidente de las actividades antrópicas sobre el medio acuático y que existen pocos ecosistemas con un bajo grado de intervención (Foto 5).

Los lagos de montaña son originados principalmente por actividad glacial (Wetzel, 2001), que generalmente, causa la formación de cubetas profundas con más de 20 metros (Rivera-Rondón & Catalan, 2020). Sin embargo, los lagos estudiados presentaron cubetas con una profundidad media menor a 10 m. La baja profundidad de los lagos estudiados tiene una incidencia directa en el ambiente lumínico de la columna de agua. Los resultados muestran que un alto porcentaje de los lagos

reciben luz en la zona profunda. Esto permite el desarrollo de extensas comunidades de productores primarios, como son macrófitas en la zona litoral y biopelículas de algas en el fondo del lago. Estos valores altos de productividad pueden explicar los valores altos de carbono orgánico cuando se comparan con valores reportados para lagos de montaña de zonas templadas (Curtis et al., 2009) y algunos de la zona ecuatorial (Van Colen et al., 2017).

Los lagos de montaña generalmente son considerados ecosistemas ácidos, con baja capacidad de amortiguación debida a una baja concentración de cationes pesados (Psenner & Catalan, 1994). En el caso de los lagos estudiados, los valores de pH de algunos ecosistemas alcanzaron valores por encima de 7.5, pero en todos los casos la alcalinidad fue baja. Cuando se comparan esos sistemas con otros lagos de montaña, los lagos estudiados presentaron condiciones más ácidas con altos contenidos de carbono orgánico, consecuente con la alta cobertura vegetal de las cuencas y el desarrollo vegetal de la zona litoral de los lagos. Con respecto a las concentraciones de nutrientes, el resultado más sobresaliente son los valores relativamente altos de nitrógeno y fósforo que presentaron los lagos. Los valores observados están muy lejos de las condiciones esperadas para ambientes de zonas remotas. Ante estas características fue posible evidenciar que la composición de diatomeas fue diferente según el gradiente de fósforo, pH y penetración de luz que ofrecen los lagos seleccionados, por lo tanto, podrían permitir indicar el estado de los ecosistemas (Foto 6).

COMENTARIOS FINALES

Las observaciones de campo muestran que la mayor parte de los lagos están inmersos en un gradiente de intervención humana, en donde la mayoría de los ecosistemas tienen actualmente o tuvieron en el pasado reciente, algún grado de intervención. A partir de la caracterización física y química se observó que los lagos presentaron en general una baja profundidad. Teniendo en cuenta el gran valor de estos ecosistemas en el aprovisionamiento del agua, y en su potencial sensibilidad a los factores asociados al cambio global, es importante continuar estudiando estos ambientes y adelantando medidas que promuevan su conservación.

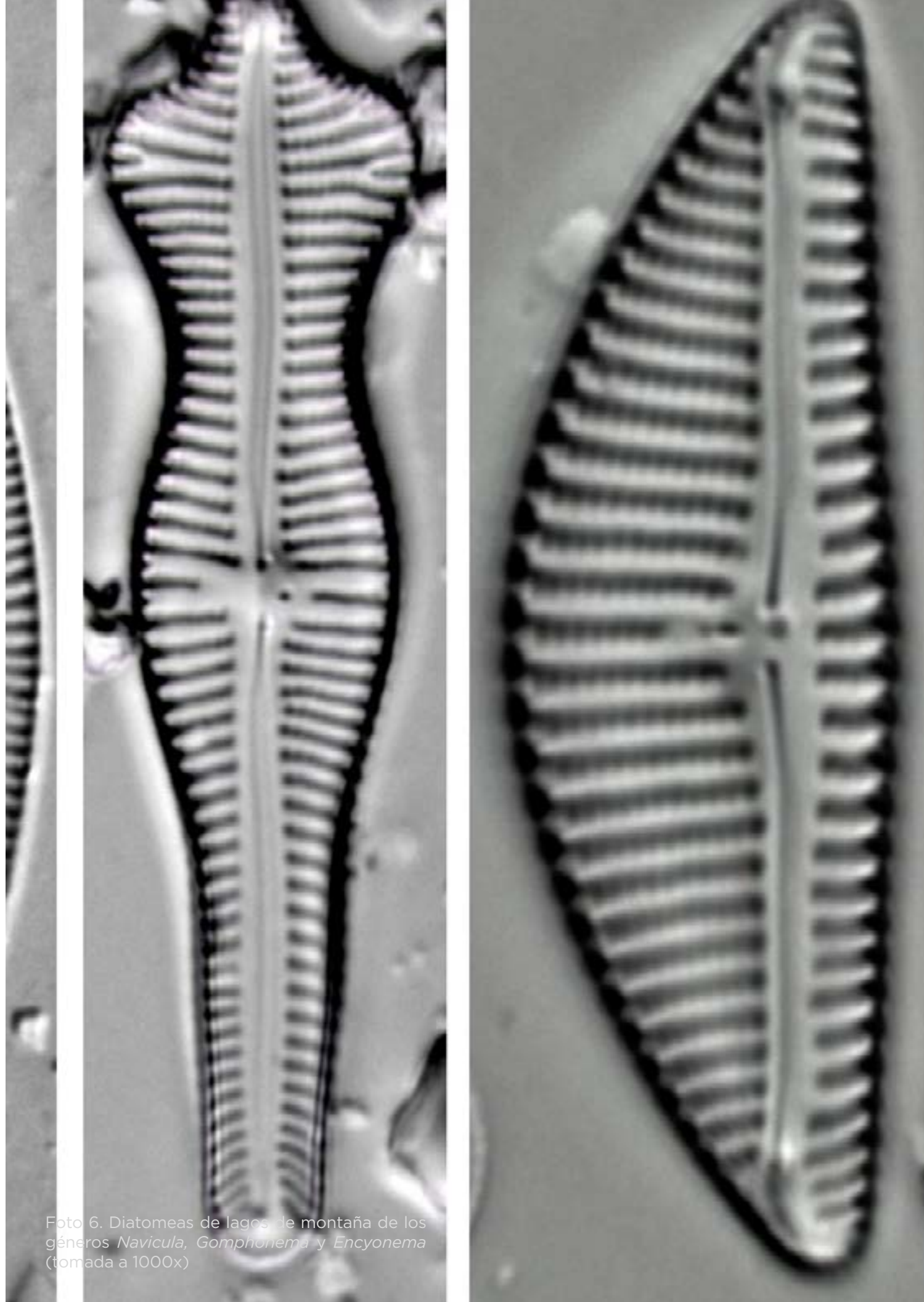


Foto 6. Diatomeas de lagos de montaña de los géneros *Navicula*, *Gomphonema* y *Encyonema* (tomada a 1000x)

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Ministerio de Ciencias (Colciencias, 50000-050-2016) y la Pontificia Universidad Javeriana (IDPPTA 6789) por la financiación. A parques Nacionales de Colombia por los permisos para el ingreso a los Parques y por todo el apoyo logístico durante el trabajo de campo. También agradecen a todos los miembros del laboratorio de Limnología que participan en el proyecto y en los muestreos: Claudia Muñoz, Daivan Valoyes, Yulibey Caleño, Laura Garzón, Denis Castillo, Solanlly Lozano, Sara Gutiérrez, Camila Vásquez, Michael Guerrero, Mario Mora, Wilmer Arguello, Jorge Jiménez.

LISTA DE REFERENCIAS

Arellano, L., Fernández, P., López, J.F., Rose, N.L., Nickus, U., Thies, H., Stuchlik, E., Camarero, L., Catalan, J. & Grimalt, J.O. (2014). Atmospheric deposition of polybromodiphenyl ethers in remote mountain regions of Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, 14(9), 4441-4457. <https://doi.org/10.5194/acp-14-4441-2014>.

Caballero, V., Parra, M. y Bohórquez, A.R.M. (2010). Levantamiento de la cordillera oriental de Colombia durante el eoceno tardío - oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca Valle medio del Magdalena. *Boletín de Geología*, 32(1), 45.

Cabrera, M. y Ramirez W. (ed.) (2014). *Restauración ecológica de los páramos de Colombia: transformación y herramientas para su conservación*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, 296.

Catalan, J. (2008). The ecology of environmental changes: a palaeolimnological perspective. In: *Unity in diversity: reflections on ecology after the legacy of Ramon Margalef*. Valladers, F., Camacho, A., Elosegui, A., Gracia, C., Estrada, M., Senar & Gili, J.M. (ed.), 95-118. Fundación BBVA.

Catalan, J., Pla-Rabés, S., Wolfe, A.P., Smol, J.P., Rühland, K.M., Anderson, N.J., Kopáček, J., Stuchlík, E., Schmidt, R., Koinig, K.A., Camarero, L., Flower, R.J., Heiri, O., Kamenik, C., Korhola, A., Leavitt, P.R., Psenner, R. & Renberg, I. (2013). Global change revealed by palaeolimnological records from remote lakes: A review. *Journal of Paleolimnology*, 49(3), 513-535. <https://doi.org/10.1029/2010JG001305>.

Curtis, C.J., S. Juggins, G. Clarke, R.W. Battarbee, M. Kernan, J. Catalan, R. Thompson & Posch, M. (2009). Regional influence of acid deposition and climate change in European mountain lakes assessed using diatom transfer functions. *Freshwater Biology*, 54(12), 2555-2572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02317.x>.

Donato, J. (1998). Los sistemas acuáticos de Colombia: síntesis y revisión. En: *Una aproximación a los humedales en Colombia*. E. Guerrero (ed.), 31-47. UICN-Fondo FEN. Bogotá.

Gómez, J., Nivia, A., Montes, N.E., Jiménez, D.M., Tejada, M.L., Sepúlveda, M.J., Osorio, J.A., Gaona, T., Diederix, H., Uribe, H. y Mora, M. (2007). *Mapa Geológico de Colombia*. Escala 1:2'800.000. INGEO-MINAS.

International Geosphere Biosphere Programme (2015). International Geosphere-Biosphere Programme.

Jones, I.D., Page, T., Alex Elliott, J., Thackeray, S.J. & Louise Heathwaite, A. (2011). Increases in lake phytoplankton biomass caused by future climate-driven changes to seasonal river flow. *Global Change Biology*, 17(5), 1809-1820. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02332.x>.

Llambí, L.D., Becerra, M.T., Peralvo, M., Avella, A., Baruffo M. y Díaz, L.J. (2019). Construcción de una Estrategia para el Monitoreo Integrado de los Ecosistemas de Alta Montaña en Colombia. *2019*, 4(1), 23.

Ngai, K.L.C., Shuter, B.J., Jackson, D.A & Chandra, S. (2013). Projecting impacts of climate change on surface water temperatures of a large subalpine lake: Lake Tahoe, USA. 118(- 3-4), 855.

Psenner, R. & Catalan, J. (1994). Chemical composition of lakes in crystalline basins: a combination of atmospheric deposition, geologic background, biological activity and human action. En: *Limnology now : a paradigm of planetary problems*. R. Margalef (ed.), 255-314. Elsevier Science. Amsterdam.

Rivera-Rondón, C.A. & Catalan, J. (2020). Diatoms as indicators of the multivariate environment of mountain lakes. *Science of The Total Environment*, 703: 135517. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135517>.

Sánchez-Cuervo, A.M., Aide, T.M., Clark, M.L. & Etter, A. (2012). Land Cover Change in Colombia: Surprising Forest Recovery Trends between 2001 and 2010. *PLoS ONE*, 7(8): e43943. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043943>.

Van Colen, W.R., Mosquera, P., Vanderstukken, M., Goiris, K., Carrasco, M.-C., Decaestecker, E., Alonso, M., León-Tamariz, F. & Muylaert, K. (2017). Limnology and trophic status of glacial lakes in the tropical Andes (Cajas National Park, Ecuador). *Freshwater Biology*, 62(3), 458-473. <https://doi.org/10.1111/fwb.12878>.

Wetzel, R.G. 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*. Academic Press.

Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M. & Wade, A.J. (2009). A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 54(1), 101-123. <https://doi.org/10.1623/hysj.54.1.101>.

Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Williams, M., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Crutzen, P., Ellis, E., Ellis, M.A., Fairchild, I.J., Grinevald, J., Haff, P.K., Hajdas, I., Leinfelder, R., McNeill, J., Odada, E.O., Poirier, C., Richter D., Steffen, W., Summerhayes, C., Syvitski, J.P.M., Vidas, D., Wagnreich, M., Wing, S.L., Wolfe, A.P., An, Z. & Oreskes, N. (2015). When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International*, 383, 196-203. <http://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.045>