

Especies invasoras de *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) en cuerpos de agua continentales de Perú

Invasive species of *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) in freshwater bodies from Peru

Leonardo Mendoza-Carbajal *^{1,2}

<http://orcid.org/0000-0002-9847-2772>
lmendozac@cientifica.edu.pe

Deifilia Contreras³

<http://orcid.org/0000-0002-7900-4981>
deifycontreras@gmail.com

Maribel Baylón⁴

<https://orcid.org/0000-0001-7102-0680>
mbaylonc@unmsm.edu.pe

Anderson Dominguez⁴

<https://orcid.org/0000-0001-5670-7791>
anderson.dominguez@unmsm.edu.pe

Elías Valdivia⁵

<https://orcid.org/0000-0003-2645-3967>
lvca.vigilancia@gmail.com

Zaida Samanez⁵

<https://orcid.org/0000-0001-8723-9126>
lvca.vigilancia@gmail.com

Fabrizio Johnson⁵

<https://orcid.org/0000-0002-5942-3177>
lvca.vigilancia@gmail.com

Anthony Salazar-Torres⁵

<https://orcid.org/0000-0002-9277-1499>
lvca.vigilancia@gmail.com

*Corresponding author

1. Departamento de Cursos Básicos, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.
2. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Museo de Historia Natural, Departamento de Limnología, Lima, Perú.
3. EPS Grau S.A., Piura, Perú.
4. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Lima, Perú.
5. Laboratorio de Vigilancia de la Calidad del Agua - AUTODEMA, Arequipa, Perú.

Citación

Mendoza-Carbajal L, Contreras D, Baylón M, Domínguez A, Valdivia E, Samanez Z, Johnson F, Salazar-Torres A. 2022. Especies invasoras de *Ceratium* Schrank, 1973 (Dinophyceae: Ceratiaceae) en cuerpos de agua continentales de Perú. Revista peruana de biología 29(4): e23765 001-006 (Noviembre 2022). doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i4.23765>

Presentado: 16/04/2022

Aceptado: 30/07/2022

Publicado online: 22/11/2022

Cierre de número: 25/11/2022

Editor: Leonardo Romero

Resumen

La presente comunicación proporciona información de la presencia en Perú de dos especies invasoras del género *Ceratium*: *C. hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin y *C. furcoides* (Levander) Langhans. Se brinda información sobre la distribución de ambas especies en cuerpos de agua peruanos, así como datos de sus abundancias.

Abstract

This work provides information on the presence in Peru of two invasive species of the genus *Ceratium*: *C. hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin and *C. furcoides* (Levander) Langhans. Information is provided on the distribution of both species in Peruvian water bodies, as well as data on their abundance.

Palabras clave:

Ceratium; distribución; fitoplancton; especie invasora; dinoflagelado; bioinvasión.

Keywords:

Ceratium; distribution; phytoplankton; invasive specie; dinoflagellate; bioinvasion.

Introducción

El género *Ceratium* Schrank 1973 (Dinophyceae) es un dinoflagelado, generalmente distribuido en aguas continentales del hemisferio norte, como parte de la comunidad planctónica de ecosistemas lénticos (Foissner 2006). Actualmente siete especies de *Ceratium* son reconocidas para aguas continentales (Moestrup & Calado 2019), de las cuales dos son frecuentemente encontradas en la literatura: *C. furcoides* (Levander) Langhans y *C. hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin.

En Sudamérica, la especie *C. hirundinella* comenzó a colonizar cuerpos de agua lénticos desde el sur al norte: Argentina (Mac Donagh et al. 2005, Alexander & Imberger 2008), Chile (Rodríguez-López et al. 2021) y Brasil (Cavalcante et al. 2013), mostrando un carácter invasivo.

Por otro lado, *C. furcoides* se ha encontrado en cuerpos de agua continentales en Colombia (Bustamante Gil et al. 2012), Brasil (Dias & Tucci 2020; Severiano et al. 2021; Lacerda Macêdo et al. 2021), Bolivia (Morales 2016), Argentina (Zaburlín et al. 2014; Accattatis et al. 2020) y Uruguay (Pacheco et al. 2021), mostrando un patrón de colonización opuesta a *C. hirundinella*, es decir del norte al sur de Sudamérica.

La ocurrencia de *C. hirundinella* y *C. furcoides* ha generado problemas en los procesos de potabilización de fuentes de agua (De Almeida et al. 2016), originando cambios en las propiedades organolépticas del agua cruda, formación de floraciones algales no tóxicas y en algunos casos provocando mortandad de peces por hipoxia (Matsumura-Tundisi et al. 2010; Pacheco et al. 2021).

La potencial distribución invasora de *C. furcoides* en Sudamérica incluye a casi todos los países de la región, de manera especial en las vertientes de los Andes, tanto en la oriental (transición Andes - Amazonía) como en la occidental (transición Andes - Costa) (Meichtry de Zaburlín et al. 2016).

En Perú se registró por primera vez a *C. hirundinella* para el lago Titicaca (Montoya et al. 2014) y recientemente se publicaron datos sobre su abundancia en el mismo ecosistema (Villanueva & Pari 2020). Con respecto a *C. furcoides* no se tenían reportes oficiales de su presencia en Perú hasta la publicación de esta comunicación.

En el marco de la evaluación de fitoplancton en embalses peruanos, cuyas aguas son utilizadas como fuente de agua cruda destinadas al uso de la población humana, se detectó la presencia de las especies *C. furcoides* y *C. hirundinella*, lo que mostraría una reciente dispersión de ambos taxones en Perú. En ese sentido, se hace necesario comunicar la información asociada a su presencia.

Material y métodos

Área de estudio. Las muestras de fitoplancton fueron colectadas en cuatro cuerpos de agua continentales: (i) embalse San José de Uzuña, (ii) embalse San Lorenzo, (iii) embalse Poechos, y (iv) lago Titicaca (bahía de Puno) según se detalla en la Tabla 1.

Métodos. Las muestras fueron colectadas siguiendo los protocolos del ANA (2016) y Reguera et al. (2011) según se observa en la Tabla 1. El análisis de las muestras se realizó mediante técnicas de microscopía óptica. Las mediciones celulares se realizaron como mínimo con 20 individuos por cada muestra. El análisis cuantitativo de *Ceratium* siguió las metodologías de Utermöhl (1958) y el empleo de la cámara de Sedgwick Rafter (APHA, 2017). La identificación taxonómica de las especies de *Ceratium* se realizó siguiendo a Moestrup y Calado (2019) y Carty (2014).

Las muestras fueron depositadas en la Colección de Plancton y Perifiton del Departamento de Limnología, Museo de Historia Natural (MUSML), de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Tabla 1. Lista de cuerpos de agua evaluados indicando datos de ubicación geográfica y de colecta. Abreviaturas: ZS: Zaida Samanez, FJ: Fabrizio Johnson, AST: Anthony Salazar-Torres, DC: Deifilia Contreras, LMC: Leonardo Mendoza-Carabajal, AD: Anderson Domínguez; MUSML: Colección de Plancton y Perifiton, Museo de Historia Natural, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Cuerpo de agua	Dpto.	Cuenca hidrográfica	Ubicación geográfica	Fecha de colecta	Tipo de colecta	Profundidad de colecta de la muestra	Colectores	Código de la muestra
Embalse San José de Uzuña	Arequipa	Quilca Vitor Chili	16° 35'S, 71° 19'W	04/06/2021	Tubo muestreador (Reguera et al. 2011)	1.5m	ZS, FJ, AST	MUSML_PL_097
Embalse de Poechos	Piura	Chira	4° 38'S, 80° 29'W	40/10/2021	Directa (ANA 2016)	≥ 1m	DC	MUSML_PL_098
Embalse de San Lorenzo	Piura	Chira	4° 42'S, 80° 11'W	12/02/2021	Directa (ANA 2016)	≥ 1m	DC	MUSML_PL_099
Lago Titicaca	Puno	Titicaca	15° 47'S, 69° 56'W	16/04/2021	Botella Niskin (ANA 2016)	5m	LMC, AD	MUSML_PL_100
Lago Titicaca	Puno	Titicaca	15° 47'S, 69° 56'W	16/04/2021	Botella Niskin (ANA 2016)	10m	LMC, AD	MUSML_PL_101
Lago Titicaca	Puno	Titicaca	15° 47'S, 69° 56'W	16/04/2021	Botella Niskin (ANA 2016)	15m	LMC, AD	MUSML_PL_102

Resultados y discusión

PHYLUM MIOZOA

CLASE DINOPHYCEAE

ORDEN GONYAULACALES

FAMILIA CERATIACEAE

GÉNERO *CERATIUM* F.SCHRANK, 1793***Ceratium furcoides*** (Levander) Langhans 1925

Descripción. Células elongadas, con epiteca triangular o cónica con un cuerno, longitud de 141 – 288 μm , transdiámetro de 29 – 41 μm , cíngulo en la zona media de la célula, hipoteca con dos cuernos perpendiculares al cíngulo (Fig. 1a).

Comentarios. *Ceratium furcoides* se encontró en los embalses San Lorenzo y Poechos (Piura) con una densidad fitoplanctónica de 102 y 79 células mL^{-1} respectivamente (Tabla 2), siendo estos los primeros registros de la especie para Perú. En ambos embalses se realizan actividades de cultivo de truchas (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) en jaulas flotantes, ejerciendo presión antrópica sobre estos sistemas acuáticos.

Ceratium hirundinella (O.F.Müller) Dujardin 1841

Descripción. células con epiteca en forma de campana, con longitud de 154 – 275 μm , transdiámetro de 35 – 61 μm , cíngulo en la zona media de la célula, con un cuerno en la epiteca y de dos a tres cuernos en la hipoteca (Fig. 1b).

Comentarios. Los resultados de la densidad fitoplanctónica evidenciaron la presencia de la especie *C. hirundinella* en la bahía de Puno (lago Titicaca) registrando las más elevadas concentraciones celulares correspondiente a 3618 células mL^{-1} , seguido del embalse San José de Uzuña (Arequipa) con 327 células mL^{-1} (Tabla 2). En la bahía de Puno (lago Titicaca) se recibe aguas residuales domésticas de la ciudad de Puno, mientras que en el embalse San José de Uzuña se realiza acuicultura de truchas (*Oncorhynchus mykiss*).

El primer reporte de *C. furcoides* en Perú (Piura) y la nueva información sobre la presencia de *C. hirundinella* en el sur peruano (Arequipa y Puno) confirmarían el carácter invasivo de ambas especies, siguiendo lo señalado por diferentes autores de la región sudamericana (Cavalcante et al. 2013, Días & Tucci 2020, Lacerda et al. 2021, Meichtry de Zaurín et al. 2016).

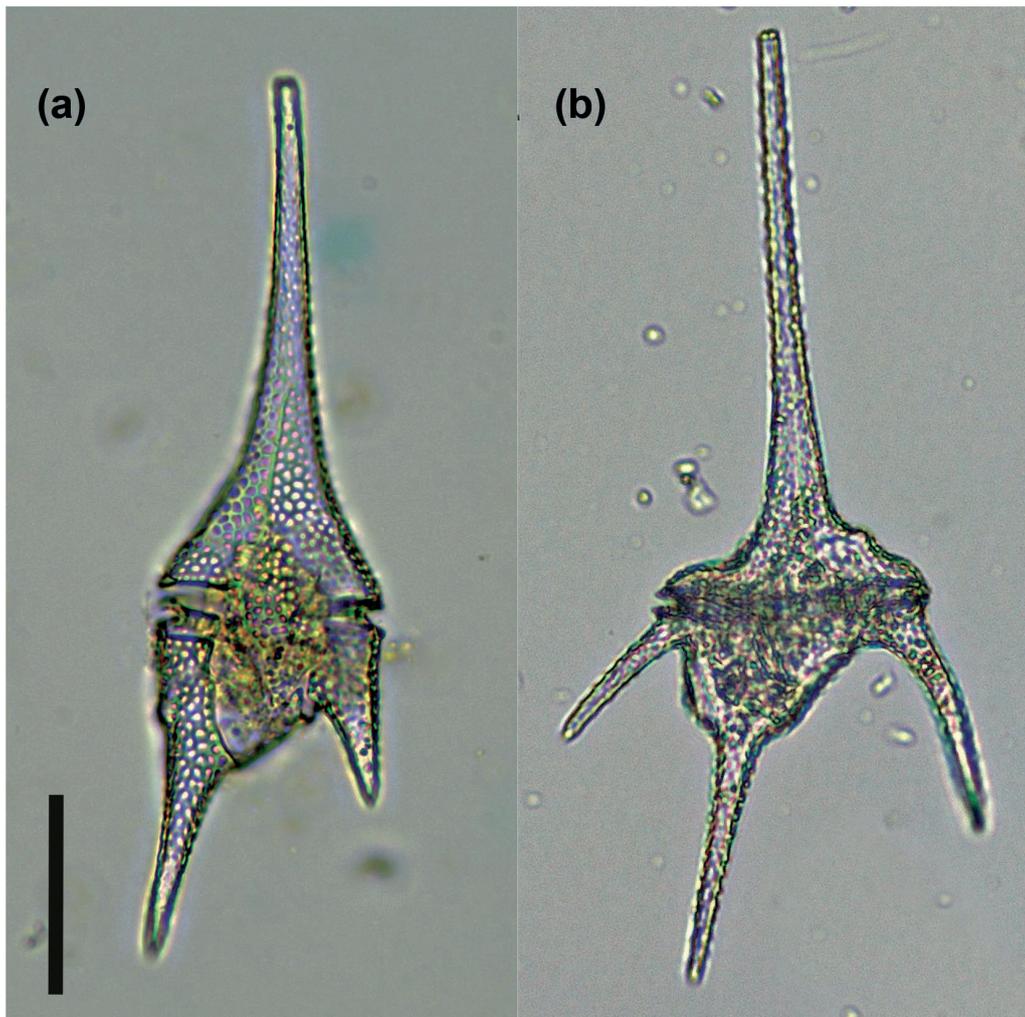


Figura 1. Especies de *Ceratium* en cuerpos de agua de Perú. (a) Vista ventral de *C. furcoides*. (b) Vista ventral de *C. hirundinella*. Escala: 50 μm .

Tabla 2. Características fisicoquímicas *in situ* de los sistemas acuáticos continentales evaluados con presencia de *Ceratium*. Prom: Promedio del parámetro, Min: Mínimo dato registrado, Max: Máximo dato registrado, (*) dato no disponible.

Estaciones de colecta	Especie registrada/ Máxima concentración (células mL ⁻¹)	Temperatura (°C)	Turbidez (UNT)	pH	Conductividad eléctrica (μS cm ⁻¹)	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)
Embalse San José de Uzuña	<i>C. hirundinella</i> 327 células mL ⁻¹	Prom: 15.34 Min: 12.90 Máx: 20.0	Prom: 2.29 Min: 1.52 Máx: 4.03	Prom: 9.17 Min: 8.91 Máx: 9.83	Prom: 764.22 Min: 740.0 Máx: 801.0	Prom: 7.87 Min: 7.47 Máx: 8.26
Embalse Poechos	<i>C. furcoides</i> 79 células mL ⁻¹	Prom: 22.76 Min: 21.30 Máx: 27.40	Prom: 16.99 Min: 12.80 Máx: 22.00	Prom: 8.03 Min: 7.86 Máx: 8.50	Prom: 279.64 Min: 257.0 Máx: 314.0	*
Embalse San Lorenzo	<i>C. furcoides</i> 102 células mL ⁻¹	*	Prom: 116.44 Min: 1.79 Máx: 1186	Prom: 7.60 Min: 7.25 Máx: 8.06	Prom: 181.36 Min: 14.0 Máx: 235.0	*
Bahía de Puno (Lago Titicaca)	<i>C. hirundinella</i> 3618 células mL ⁻¹	Prom: 17.33 Min: 15.70 Máx: 19.20	*	Prom: 8.41 Min: 8.26 Máx: 8.48	Prom: 1498.25 Min: 1474.0 Máx: 1520.0	Prom: 6.26 Min: 5.96 Máx: 6.39

El patrón expansivo que tiene *C. hirundinella* en cuerpos de agua continentales sudamericanos es de sur a norte, mientras que en el caso de *C. furcoides* se observa lo contrario, siendo de norte a sur (Meichtry de Zaurín et al. 2016), lo cual, según lo registrado en este trabajo, también ocurriría en territorio peruano.

Se estima que *C. furcoides* y *C. hirundinella* seguirán expandiéndose hacia otros cuerpos de agua del Perú debido a la dispersión causada por la migración de aves que habitan esos ecosistemas acuáticos, además de la plasticidad ecofisiológica y estrategias adaptativas que presentan (Días & Tucci, 2020), y a los efectos del cambio climático (Meichtry de Zaurín et al. 2016), lo que podría generar floraciones de estas especies en cuerpos de agua del país. Entre los factores principales que facilitan la adaptabilidad de ambas especies se encuentran las altas temperaturas del agua, altos niveles de oxígeno disuelto, alto contenido de nutrientes, migraciones verticales para asimilar los nutrientes en las diferentes capas de la columna agua, formación de quistes de resistencia, diferentes tipos de nutrición que presentan (mixotrofia, fagotrofia), y el desarrollo de cuernos como estructuras de defensa ante el zooplancton (Cavalcante et al. 2013, Macêdo et al. 2021).

Se sugiere el monitoreo de cuerpos de agua continentales, especialmente embalses destinados a potabilización, por los potenciales problemas asociados a la presencia de *C. hirundinella* y *C. furcoides*: (1) problemas sanitarios, que incluyen alteraciones organolépticas del agua; (2) problemas en la potabilización del agua en los embalses debido al daño generado por las placas de celulosa de ambos dinoflagelados; y (3) problemas ecológicos, alterando la estructura fitoplanctónica nativa y alterando cadenas tróficas acuáticas (Pacheco et al. 2021, Meichtry de Zaurín et al. 2016).

Literatura citada

- Accattatis V, Piccini C, Huber P, Metz S, Rueda E, Devercelli M. 2020. Identifying Invaders: The Case of *Ceratium furcoides* (Gonyaulacales, Dinophyceae) in South America. *Journal of Phycology*. 56 (5): 1362-1366. <https://doi.org/10.1111/jpy.13015>
- Alexander R, Imberger J. 2008. Spatial distribution of motile phytoplankton in a stratified reservoir: the physical controls on patch formation. *Journal of Plankton Research*. 31 (1): 101:118. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn101>
- American Public Health Association (APHA). 2017. Standard methods for examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington: American Public Health Association. 1545 pp. <https://engage.awwa.org/PersonifyEbusiness/Store/Product-Details/productId/65266295>
- ANA (Autoridad Nacional Del Agua). 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima: MINAGRI, MINAM. 92 pp. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1475.pdf>
- Bustamante C, Ramírez JJ, Boltovskoy A, Vallejo A. 2012. Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Rio-grande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia*. 24 (2): 207-219. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2012005000039>
- Cavalcante KP, Zanotelli JC, Müller CC, Scherer KD, Frizzo JK, Veiga TA, de Souza L. 2013. First record of expansive *Ceratium Schrank*, 1793 species (Dinophyceae) in Southern Brazil, with notes on their dispersive patterns in Brazilian environments. *Check List*. 9 (4): 862. <https://doi.org/10.15560/9.4.862>
- Carty S. 2014. Freshwater dinoflagellates of North America. Ithaca: Cornell University Press; 272 pp. <https://www.cornellpress.cornell.edu/book/9780801451768/freshwater-dinoflagellates-of-north-america/#bookTabs=4>

- De Almeida CR, Spiandorello FB, Giroldo D, Yunes YS. 2016. The effectiveness of conventional water treatment in removing *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans, *Microcystis* sp. and microcystins. *Water SA*. 42(4):606. <https://hdl.handle.net/10520/EJC197074>
- Días AS, Tucci A. 2020. *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans: first record in Nova Avanhandava reservoir, Southeast Brazil. *Hoehnea*. 47:e74. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-74/2019>
- Foissner W. 2016. Biogeography and dispersal of micro-organisms: a review emphasizing protists. *Acta protozoologica*. 45(2): 111-136.
- Lacerda R, Sampaio AC, Ferreira R, do Nascimento K, Gonçalves L, Maniero FD, Klippel G, Damasceno B, Ribeiro MG. 2021. Spreading of the invasive dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans throughout the Paraíba do Sul ecoregion, South America, Brazil. *Limnetica*. 40(2):233-246. <http://dx.doi.org/10.23818/limn.40.16>
- Mac ME, Casco MA, Claps MC. 2005. Colonization of a Neotropical Reservoir (Córdoba, Argentina) by *Ceratium hirundinella* (O. F. Müller) Bergh. *International Journal of Limnology*. 41(4):291-299. <https://doi.org/10.1051/limn/2005020>
- Macêdo RL, Franco ACS, Corrêa RF, do Nascimento Costa K, Pereira LG, de Oliveira FDM, Klippel G, Cordeiro BD, Thiago MGR, Rocha MIDA, et al. 2021. Spreading of the invasive dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans throughout the Paraíba do Sul ecoregion, South America, Brazil. *Limnetica*. 40(2): 233-246. <https://doi.org/10.23818/limn.40.16>
- Matsumura-Tundisi T, Tundisi J, Luzia A, Degani R. 2010. Occurrence of *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, São Paulo State, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*. 70 (3): 825-829. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842010000400013>
- Meichtry N, Vogler RE, Molina MJ, Llano VM. 2016. Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America. *Journal of Phycology* 52 (2): 200-208. <https://doi.org/10.1111/jpy.12382>
- Moestrup Ø, Calado A. 2019. *Freshwater Flora of Central Europe: Dinophyceae*. 6th ed. Berlin: Springer Spektrum. 560 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56269-7>
- Montoya H, Komárková J, Komárek J. 2014. Cyanobacterial species, potentially forming water-blooms in the Lake Titicaca (Peru). *Arnaldia*. 21(2): 381-390.
- Morales EA. 2016. Floración de *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinoflagellata, Dinophyceae) en la represa de La Angostura, Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*. 7(4): 389-398.
- Pacheco JP, Iglesias C, Goyenola G, Teixeira F, Fosalba C, Battstrup-Pedersen A, Meerhoff M, Jeppesen E. 2021. Invasion of *Ceratium furcoides* in subtropical lakes in Uruguay: Environmental drivers and fish kill record during its bloom. *Biological Invasions* 23 (11): 3597-3612. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02600-w>
- Reguera B, Alonso R, Moreira A, Méndez, S. 2011. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. *Manuales y Guías de la COI 59. IOC/2011/MG/59 REV*. Paris y Viena: COI de UNESCO y OIEA.
- Rodríguez-López L, González-Rodríguez L, Duran-Llacer I, Cardenas R, Urrutia R. 2021. Spatio-temporal analysis of chlorophyll in six Araucanian lakes of Central-South Chile from Landsat imagery. *Ecological Informatics* 65:101431. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101431>
- dos Santos S, da Silva E, de Lucena-Silva D, Correia G, Amorim E, de Lucena JE. 2021. Invasion of the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 in South America: record of the pattern of expansion and persistence in tropical reservoirs in Northeastern Brazil. *Biol Invasions* 24, 217-233 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02641-1>
- Utermöhl H, 1958. Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. In: *Mitt Int. Limnologie* 9: 1-38.
- Villanueva C, Pari D. 2020. Presencia y distribución *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller) Dujardin en la desembocadura del Río Ramis – Lago Titicaca. *Revista de Investigación Universitaria* 10(1): 316-323.
- De Zaburlín N, Boltovskoy A, Rojas C, Rodriguez R. 2014. First record of the invasive dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans 1925 in Argentina and its distribution in the influence area of the Yacyretá Reservoir (Paraná River, Argentina-Paraguay). *Limnetica*. 33(1):153-160. <https://doi.org/10.23818/limn.33.12>

Agradecimientos / Acknowledgments:

Agradecemos al FONDECYT por el financiamiento parcial para realizar el presente trabajo.

Conflicto de intereses / Competing interests:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Rol de los autores / Authors Roles:

LHM-C: Conceptualización, Metodología, Validación, Investigación, Escritura – Preparación del borrador, Redacción (Revisión y Edición), Supervisión.

DC: Metodología, Investigación, Redacción (Revisión y Edición).

MB: Validación, Supervisión, Administración de Proyecto, Redacción (Revisión y Edición) y Adquisición de Fondos.

AD: Metodología, Investigación, Redacción (Revisión y Edición).

EV: Investigación.

ZS: Investigación.

FJ: Investigación.

AS-T: Conceptualización, Investigación, Curación de Datos, Escritura – Preparación de Borrador, Supervisión.

Fuentes de financiamiento / Funding:

Leonardo Mendoza-Carbajal, Maribel Baylón y Anderson Dominguez: Contrato/Convenio 130-2020-FONDECYT: "DNA metabarcoding e identificación morfológica de microalgas y cianobacterias: indicadores biológicos para evaluar la calidad del agua del lago Titicaca".

Aspectos éticos / legales; Ethics / legals:

Los autores declaran no haber violado u omitido normas éticas o legales al realizar la investigación y esta obra.

Página en banco

Blank page