

Floración de *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans (Dinoflagellata, Dinophyceae) en la represa de La Angostura, Cochabamba, Bolivia

A bloom of Ceratium furcoides (Levander) Langhans (Dinoflagellata, Dinophyceae) in La Angostura reservoir, Cochabamba, Bolivia

Eduardo A. Morales

Herbario Criptogámico, Universidad Católica Boliviana San Pablo, Calle M. Márquez esq. Plaza Jorge Trigo s/n, P.O. Box 5381, Cochabamba, Bolivia

e-mail:edu_mora123@outlook.com

Resumen: Se reporta por primera vez la floración producida por el dinoflagelado *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans en la represa de La Angostura, Cochabamba, Bolivia en julio, 2016. Si bien las floraciones de este dinoflagelado no son tóxicas, la descomposición de su biomasa produce anoxia severa con la consecuente muerte de zooplanctones y peces. La importancia de este reporte radica en que las floraciones del mencionado dinoflagelado son cada vez más frecuentes en Sudamérica y se precisan récords para un mapeo y elaboración de planes de acción para su control futuro. Se discuten las posibles causas de la floración y su permanencia en el embalse en función a observaciones y revisión bibliográfica.

Palabras clave: Dinoflagelados, Floraciones algales, Impacto ambiental, Invasión algal, Represas, Embalses, Reservorios, Sudamérica

Abstract: A bloom produced by the dinoflagellate *Ceratium furcoides* (Levander) Langhans is reported for the first time in the La Angostura reservoir, Cochabamba, Bolivia in July, 2016. Even though the blooms are not toxic, the decomposition of the biomass causes severe anoxia and the consequent death of fish and zooplankton. The importance of this report rests upon the increased frequency of *Ceratium* blooms in South America and the need for records for mapping and elaboration of plans of action for their control. The causes of the bloom and its continuity in the dam are discussed based on observations and literature revision.

Keywords: Algal blooms, Algal invasion, Dams, Dinoflagellates, Environmental Impact, Reservoirs, South America

1 Introducción

Los reportes de floraciones de especies de *Ceratium* Schrank (género dulceacuícola de dinoflagelados; algas unicelulares, fotosintéticas, con paredes celulares en placas celulósicas endurecidas) a nivel mundial fueron esporádicos en los años 70 y 80 del siglo pasado, pero la frecuencia de tales reportes aumentó notablemente en los 90 [4][14]. En reservorios sudamericanos, la ocurrencia de estos dinoflagelados se ha acrecentado desde los 90s [1][2][3][7][11]. Tal ocurrencia es aparentemente más difundida en Argentina y Brasil pero es muy posible que la ausencia de reportes para países como el nuestro se deban simplemente a una carencia de estudios certeros que identifiquen satisfactoriamente el alga.

Las floraciones de *Ceratium* no son nocivas, pero producen cantidades considerables de biomasa que al descomponerse producen anoxia en la columna de agua con la consecuente muerte masiva de peces e invertebrados [9][17][20][22].

Las dos especies más extendidas del género y que producen este tipo de floraciones peligrosas: *Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin y *C. furcoides* (Levander) Langhans, han sido históricamente confundidas la una con la otra [4], lo que ha dificultado el desarrollo de protocolos específicos de tratamiento ya que si bien ambas especies pueden co-ocurrir en distintas proporciones en ciertos ambientes, su autoecología y morfología son diferentes [3][4].

En el caso de La Angostura, reportes de floraciones, aunque indeterminadas taxonómicamente, ya se han dado en el pasado. El caso más reciente documentado en la prensa local corresponde a las “aguas verdes” de agosto, 2013 [18]. Se desconoce si existieron en esa fecha estudios de laboratorio que hayan identificado la causal y el alga o algas que produjeron tal floración, aunque en una comunicación personal, la Mgr. M. Maldonado de la Unidad de Limnología y Recursos Acuáticos-ULRA de la Universidad Mayor de San Simón sostuvo que se había tratado de un dinoflagelado, pero sin dar su nombre específico. Un estudio del presente año [5], denota la presencia de *C. hirundinella*. El reporte de Calvimontes [5] con motivos de la evaluación de la calidad del agua para los juegos ODESUR 2018, revela densidades del dinoflagelado ya a nivel de una floración masiva.

Sin un conocimiento cabal del rango de expansión de *C. furcoides* en Sudamérica, sería difícil determinar las condiciones ambientales que propician su crecimiento y mantenimiento de sus floraciones y tampoco se podrían establecer políticas de manejo y control de tales floraciones. Por tanto, este primer reporte de *C. furcoides* para Bolivia tiene por objetivo documentar la floración ocurrida en la represa de La Angostura en julio, 2016 a fin de contribuir al estudio de este organismo en el país y en el continente.

2 Metodología

2.1 Área de estudio

La represa de la Angostura se halla en el Departamento de Cochabamba, Bolivia (17° 32' 05" S, 66° 05' 34" O). Está a una altitud de 2700 m s.n.m., tiene una extensión de aproximadamente 10 km² y una profundidad muy fluctuante según las lluvias, pero que puede alcanzar hasta los 7 m. Se halla alimentada por numerosos ríos de pequeña envergadura que recorren zonas urbanizadas y agrícolas. La misma laguna está rodeada por carreteras y caminos secundarios, así como edificaciones que en su mayoría corresponden a restaurantes. Existen numerosas embarcaciones (incluyendo un restaurante flotante) que proveen paseos turísticos. Pequeños botes son el transporte de pescadores que basan su economía en la pesca con red del platincho (*Oligosarcus* spp. y *Astyanax* spp.), principalmente.

Geológicamente la microcuenca de La Angostura posee depósitos fluviolacustres con depósitos extensos de limo y arcilla [8] que condicionan el alto contenido de sedimentos en suspensión en la columna de agua. Además de la pesca, que también se realiza con caña desde la costa, la laguna cumple una función de reservorio para el riego de la extensa agricultura que se realiza en zonas aledañas.

3 Colecta y análisis de muestras

A invitación del Mgr. R. Aguayo de la Gobernación Departamental de Cochabamba en julio 28, 2016 se procedió a la visita de la represa de La Angostura y a la toma de muestras en tres puntos, designados por la Gobernación como P2, P4 y P6, que corresponden al triángulo norte de la represa con vértice en las compuertas de la misma (Fig. 1).

Las muestras se colectaron con una red de arrastre de 20 µm de porosidad y se guardaron inmediatamente en frascos plásticos de 250 mL. Estas muestras fueron analizadas mediante montajes acuosos, añadiendo una gota de Lugol para incrementar contraste, y usando un aumento de 500X provisto por un microscopio de luz Zeiss Universal equipado con una cámara digital Jenoptik ProgRes CF USB. Las fotografías fueron tomadas instantáneamente al mismo aumento; la lámina (Fig. 2) se armó con Photoshop CS3 ver. 10.0.

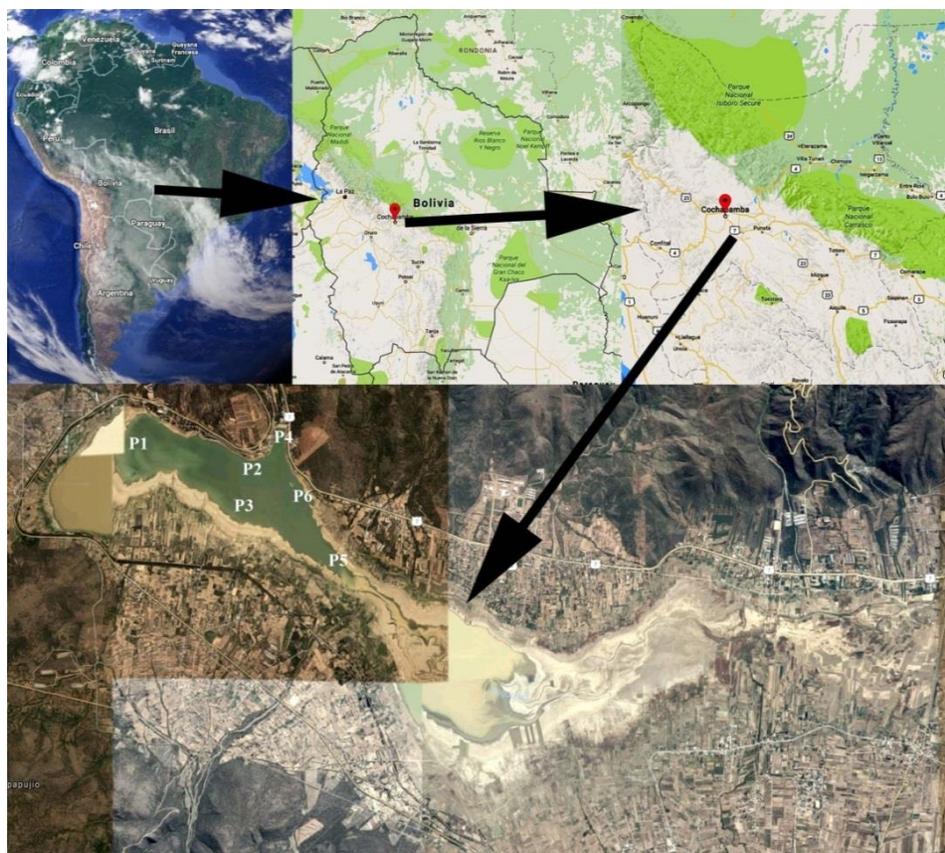


Figura 1. Imágenes Google mostrando la localización la represa La Angostura, Cochabamba, Bolivia. Se han marcado los puntos de muestreo determinados y marcados por la Gobernación Departamental de Cochabamba. Este reporte se centra en muestras de los puntos P2, P4 y P6; P4 se halla próximo a las compuertas de la represa. Nótese el reducido espejo de agua del embalse debido a las sequías del 2016.

4 Resultados y discusión

Al momento de la colecta se hizo evidente en la red de plancton que las aguas contenían grandes cantidades de algas por el color pardo-verduzco lechoso del fluido. Al destapar en el laboratorio los frascos que contenían las muestras se evidenció un olor fuerte similar a carne en descomposición. El análisis de microscopía de luz evidenció que las tres muestras colectadas estaban dominadas por *C. furcoides*. La biomasa estaba constituida por una gran cantidad de células de paredes celulares dislocadas (células muertas), pero también de células intactas y que tenían un contenido celular viable (con organelos aparentemente funcionales) (Figs 2A-E).

No se pudieron realizar recuentos mediante uso de cámaras como la de Sedgewick Rafter, por ejemplo [23], debido al estado de preservación del material. Ya que las paredes celulares se dislocan íntegramente y las placas quedan aisladas, es difícil transformar el número de placas a número de células, especialmente cuando en el campo de visión aparecen tantas placas como las que se pueden apreciar en la Fig. 2A. Sin embargo, las observaciones en preparaciones acuosas hicieron evidente la dominancia completa de *C. furcoides* y no se observaron otras algas de ningún otro grupo. Solo se pudieron evidenciar algunos zooplanctones, siendo el rotífero *Keratella* sp. el más frecuente, pero con tamaño muy pequeño como para ejercer presión pastoril sobre *C. furcoides*.

Según la autoecología de *C. furcoides* presentada por Calvacante *et al.* [4], este dinoflagelado se desarrollaría en La Angostura por una serie de factores cuya sinergia tiende a la continuidad temporal de la floración. El reporte de Calvimontes [5] bajo el nombre "*C. hirundinella*" es probablemente un error de identificación y, por tanto, correspondería a un estudio previo de la floración que aquí se reporta. Es decir, la floración ya tenía por lo menos dos meses de duración al momento de nuestra colecta. De hecho, los habitantes del lugar comenzaron a advertir peces muertos a principios de julio, 2016, alcanzando un máximo el 14 de julio, cuando cantidades importantes de platinchos muertos flotaron en el agua y atrajeron a cientos de aves al embalse [19].

La disminución del nivel del agua es definitivamente el factor principal que tiene incidencia sobre la desestratificación de la columna del agua, lo cual favorece la existencia de condiciones de temperatura uniforme y buena oxigenación, y favorece al intercambio de nutrientes entre los sedimentos y la columna de agua, principalmente por remoción; la represa está en una zona con fuerte influencia de vientos, especialmente por la tarde.

La suspensión de material del sedimento incluye cistos (estadios de resistencia) de *C. furcoides*, los cuales al encontrar nutrientes en exceso en la columna de agua y una buena iluminación (por la escasa profundidad), proliferan formando grandes cantidades de biomasa [15][16].

Las células de *C. furcoides* son grandes, comparadas con las de otros fitoplanctones. Esto favorece a que el zooplancton consuma algas de menor tamaño, favoreciendo así al dinoflagelado que en tales circunstancias carece de competidores efectivos. Los florecimientos de *C. furcoides* son mantenidos también por la existencia de una alta carga de nutrientes en la columna de agua. Los análisis realizados por la UMSS entre marzo y mayo, 2014 [21] y Calvimontes [5] para el 2016 muestran conductividades y concentraciones de nutrientes muy altas, que denotan un ambiente eutrófico.

No se ha realizado una investigación acerca de la procedencia de esta alta carga de nutrientes (N y P), pero es muy posible que el agua de escorrentía arrastre cantidades importantes de estos compuestos que luego ingresan al embalse directamente o a través de los tributarios. En un futuro, se deberá también constatar que las letrinas de las casas alrededor del embalse estén funcionando apropiadamente y que haya una ausencia completa de conexiones clandestinas de desagüe. Por lo pronto, la alta carga actual podría estar siendo producida por la descomposición de la misma biomasa algal que retroalimenta a las siguientes generaciones de *C. furcoides*.

Si bien no se ha hecho un muestreo de la floración a distintas profundidades, preliminarmente observamos que la misma tiende a ser superficial, lo cual coincide con los reportes en la literatura sobre la afinidad de *C. furcoides* por ambientes bien iluminados y bien oxigenados [4][6][12][13]. Al poseer células flageladas, *C. furcoides* realiza migraciones verticales diurnas, especialmente en busca de lugares más propicios para la absorción de nutrientes. Sin embargo, en La Angostura debido a la turbidez, la desestratificación y la influencia del viento, es posible que no existan tales migraciones y que la biomasa se mantenga en una posición sub-superficial relativamente constante. Es muy posible que el deceso de peces acaecido en la represa de La Angostura a principios de julio, 2016, con un pico máximo en julio 14 [19], haya sido debida a un colapso de la población de *C. furcoides* o a la baja de oxígeno por respiración nocturna de la gran cantidad de células producidas por este dinoflagelado. De todas formas, la presencia continua de la floración representa una amenaza para las comunidades de peces y de zooplanctones que son la fuente de alimento principal de los peces. La literatura muestra que los florecimientos continuos de *Ceratium* modifican la estructura de la comunidad fito y zooplanctónica de manera que se reducen las comunidades de peces [13][14]. Esto es preocupante en el caso de La Angostura donde las poblaciones de peces ya se han reducido por muerte masiva en el mes de julio, 2016 y donde hay una presión significativa por pesca. También se debe considerar que el embalse es uno de los sitios que contiene a por lo menos una especie de platincho endémica del Valle Seco Interandino, típica de ecosistemas que están siendo afectados gravemente por actividades antrópicas. Es también de notar que existe mucho material orgánico en suspensión, proveniente de la descomposición de la floración, pero también muchas paredes celulares del dinoflagelado (Fig. 2A) que al ser placas duras de celulosa, no se descomponen fácilmente y pueden representar un peligro mecánico que evite la respiración de los peces, en un sistema que por su alta turbidez ya dificulta la respiración de los peces. El material orgánico forma asociaciones con partículas minerales de sedimento y esto puede pegarse en las agallas de los peces.

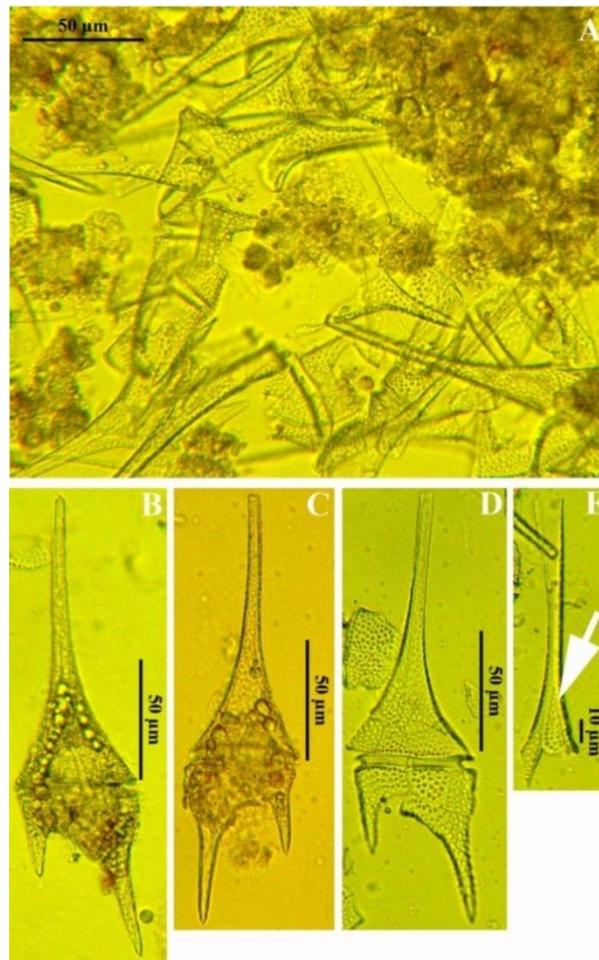


Figura 2. *Ceratium furcoides* de la represa de La Angostura en el mes de julio, 2016. **A.** Masas de materia orgánica embebidas en material inorgánico de sedimentos y restos de las paredes celulósicas del dinoflagelado. **B–C.** Células vivas del dinoflagelado mostrando un contenido de citoplasma y en él los organelos celulares. Las estructuras globulares corresponden a los plastidios o sitios en los que se realiza la fotosíntesis. **D.** Una célula vacía en la que se pueden apreciar las placas de celulosa y su disposición. **E.** Porción apical de la pared celular del dinoflagelado mostrando la típica cuarta placa apical (flecha blanca) utilizada para la identificación de la especie.

Aristas y bordes filosos de las placas de celulosa pueden producir laceraciones en los tejidos delicados de las agallas y tracto digestivo. Un estudio de esta posible afección mecánica sobre los peces es recomendable.

Ceratium furcoides también produce problemas de olor nauseabundo en el agua debido a la descomposición de sus células (como se evidenció al abrir los frascos en

laboratorio), pero también debido a la secreción de compuestos químicos al agua como un mecanismo de defensa. También causa problemas de sabor en el agua por el mismo proceso [14].

5 Conclusiones

El presente reporte constituye el primero de *C. furcoides* en Bolivia, pero es compatible con la clara tendencia a la expansión de esta especie en Sudamérica. Debido a los problemas que causa esta especie se hace necesario implementar un monitoreo de embalses y otros ecosistemas lenticos con la finalidad de establecer alertas tempranas para posibles floraciones.

Las condiciones eutróficas del embalse de La Angostura seguramente son las causantes de la floración masiva actual de *C. furcoides* y la mantención temporal de esta floración puede deberse a una retroalimentación con nutrientes producidos por el reciclaje de materia orgánica generada por la misma floración. No se debe descartar, sin embargo, que existan ingresos de nutrientes a través de los tributarios, por escorrentía de los extensos campos de cultivo en la zona, o por letrinas en mal estado y conexiones clandestinas.

Agradecimientos

Agradezco a la Ing. Amb. Sinziana F. Rivera por su aporte a la claridad y formato de este artículo; al Mgr. Rodrigo Aguayo por la invitación al muestreo del embalse y al Dr. K. Calvacante por la fructífera discusión sobre *C. furcoides*.

Referencias

- [1] Boltovskoy, A.; Echenique, R.O. & Guerrero, J.M. 2013. *Sucesivas invasiones de especies de Ceratium (Dinophyceae) en Sudamérica: un proceso que lleva dos décadas*. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica 48: 27.
- [2] Bustamante, G.C.; Ramírez, R.J.J.; Boltovskoy, A. & Vallejo, A. 2012. *Spatial and temporal change characterization of Ceratium furcoides (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia*. Acta Limnologica Brasiliensia 24: 207–219.
- [3] Calvacante, P.K.; Conte, Z.J.; Müller, C.C.; Scherer, K.D.; Frizzo, J.K.; Ludwig, T.A.V. & De Souza, C.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): 832–866.

- [4] Calvacante, P.K.; Cardoso, L.S.; Sussella, R. & Becker, V. 2016. *Towards a comprehension of Ceratium (Dinophyceae) invasión in Brazilian freshwaters: autecology of C. furcoides in subtropical reservoirs*. Hydrobiologia 771: 265–280.
- [5] Calvimontes, E. 2016. *Estudio Físico/Químico/Bacteriológico y Limnológico de las aguas de las represas de la Angostura y Corani, para los XI Juegos Suramericanos Cochabamba 2018*. Codesur, Cochabamba 2018. http://www.cochabamba2018.bo/es/noticia_principal/estudio_fisicoquimico_bacteriológico_y_limnológico_de_las_aguas_de_las_represas_de_la_angostura_y_corani_para_los_xi_juegos_suramericanos_cochabamba_2018. Consultada Agosto 9, 2016.
- [6] Clegg, M.R.; Maberly, S.C. & Jones, R.I. 2003. *Chemosensory behavioural response of freshwater phytoplanktonic flagellates*. Plant, Cell and Environment 27: 123–135.
- [7] Da Silva, L.C.; Leone, I.C.; dos Santos-Wisniewski, M.J.; Peret, A.C. & Rocha, O. 2012. *Invasion of the dinoflagellate Ceratium furcoides (Levander) Langhans 1925 at tropical reservoir and its relation to environmental variables*. Biota Neotropica 12: 93–100.
- [8] GEOBOL. 1997. *Mapas temáticos de Recursos Minerales de Bolivia*. Boletín del Servicio Geológico de Bolivia 12: 1–75.
- [9] Hallengraeff, G.M.; Andersen, D.M. & Cembella, A.D. 1995. *Manual of harmful marine microalgae*. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO. París, Francia. 551 p.
- [10] Landsberg, J.H. 2002. *The effects of harmful algae blooms on aquatic organisms*. Reviews in Fisheries Science 10(2): 113–390.
- [11] Mac Donagh, M.E.; Casco, M.A. & Claps, M.C. 2005. *Colonization of a neotropical reservoir (Córdoba, Argentina) by Ceratium hirundinella (O.F. Müller) Dujardin*. Annales de Limnologie - International Journal of Limnology 41(4):291–299.
- [12] Matsumura-Tundisi, T.; Tundisi, J.G.; Luzia, A.P. & Degani, R.M. 2010. *Ocurrence of Ceratium furcoides (Levander) Langhans 1925 bloom at the Billings Reservoir, Sao Paulo State, Brazil*. Brazilian Journal of Botany 70 (Suppl. 3): 825–829.
- [13] Meichtry, de Z. N.; Boltovskoy, A.; Costigliolo, R. C. & Rodriguez, R.M. 2014. *Primer registro del dinoflagelado invasor Ceratium furcoides (Levander) Langhans 1925 en la Argentina y su distribución en el área de influencia del Embalse Yacyretá (río Paraná, Argentina-Paraguay)*. imnética 33: 153–160.

- [14] Meichtry, de Z. N.; Vogler, R.E.; Molina, M.J.; Llanao, V.M. 2016. *Potential distribution of the invasive freshwater dinoflagellate Ceratium furcoides (Levander) Langhans (Dinophyta) in South America*. Journal of Phycology 52: 200–208.
- [15] Moya, G. & Ramon, G. 1984. *Variación espacio temporal de Ceratium hirundinella en los embalses de Cuber y Gorg Blan (Malhorca)*. Limnética 1: 285–290.
- [16] Nehring, S. 1993. *Mechanisms for recurrent nuisance algal blooms in coastal zones: resting cyst formation as life-strategy of dinoflagellates*. En: Sterr, H., Hofstade, J. & Plag, H.-P. (Eds.). Interdisciplinary discussion of coastal research and coastal management issues and problems. pp. 454–467. Lang, Frankfurt, Alemania.
- [17] Nicholls, K.M.; Kennedy, W. & Hannet, C. 1980. *Fish kill in Heart Lake, Ontario, associated with the collapse of a massive population of Ceratium hirundinella (Dinophyceae)*. Freshwater Biology 10(6): 553–561.
- [18] Revollo, M. 2013. *Angostura sufre contaminación por falta de aguas*. Periódico Opinión 12/08/2013. <http://www.opinion.com.bo/opinion/articulos/2013/0812/noticias.php?id=102966>. Consultada Agosto 9, 2016.
- [19] Soria, V. & Amurrio, L. 2016. *Mueren peces y baja nivel en La Angostura*. Periódico Los Tiempos 14/07/2016. <http://www.lostiempos.com/actualidad/local/20160714/mueren-peces-baja-nivel-angostura>. Consultada Agosto 9, 2016.
- [20] Taylor, F.; Fukuyo, Y. & Larson, J. 1995. *Taxonomy of harmful dinoflagellates*. En: Hallengraeff, G.M., Andersen, D.M. & Cembella, A.D. (Eds.). Manual of harmful marine microalgae. pp. 283–309. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, París, Francia.
- [21] UMSS-Universidad Mayor de San Simón. 2014. *Informe monitoreo calidad del agua del embalse Angostura. Presentado al Gobierno Autónomo Departamental de Cochabamba*. 55 pp.
- [22] Van Ginkel, C.E.; Hohls, B.C. & Vermaak, E. 2001. *A Ceratium hirundinella (O.F.Müller) bloom in Hartbeespoort Dam, South Africa*. Water SA 27(2): 269–276.
- [23] Wetzel, R.G. & Likens, G.E. 1991. *Limnological Analyses*. Second Edition. Springer-Verlag, New York. 391 pp.