

Descripción morfológica, distribución geográfica y aplicaciones potenciales de diferentes especies de diatomeas de la clase Bacillariophyceae: Artículo de revisión

Díaz de León Velázquez María Regina¹, Altamirano Huerta Heizel Jazel², Morales Godínez Daniela³, Ramírez Ortiz Arely³, Rangel Samano Reyna Irais³, Noriega Luna Berenice¹

¹ División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

² División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Campus Celaya-Salvatierra, Universidad de Guanajuato.

³ División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato.

Resumen

En este artículo se describen algunos de los usos de las diatomeas, un grupo de algas microscópicas que abundan en casi todos los hábitats acuáticos. Las diatomeas se caracterizan por una serie de rasgos, pero se reconocen más fácilmente por sus paredes celulares silíceas, compuestas por dos válvulas, que juntas forman un frústulo. El tamaño, la forma y la estructura de las paredes celulares de las diatomeas son elementos diagnósticos desde el punto de vista taxonómico. Además, debido a su composición silícea, a menudo se conservan muy bien en los yacimientos fósiles y esto ha permitido demostrar sus aplicaciones industriales y biotecnológicas. En esta revisión describiremos siete especies de diatomeas de la clase Bacillariophyceae representadas por los órdenes Naviculales, Cymbellales, Achnanthales, Bacillariales y Rhopalodiales a través de su morfología, su distribución y las aplicaciones potenciales, estas especies han sido asiladas de tapetes microbianos de la zona geotérmica de Comanjilla, Gto.

Palabras clave: Diatomeas, clase Bacillariophyceae, morfología, distribución y aplicación

Introducción

Las diatomeas son organismos unicelulares, eucariotas y fotosintéticos; son algas microscópicas que contienen sílice y se presentan en diferentes formas geométricas. Forman biopelículas y se producen en lugares húmedos donde es posible que ocurra el proceso de fotosíntesis. Estos organismos fotosintéticamente activos son responsables del 20-25% de la producción primaria terrestre total (Field et al. 1998) y de aproximadamente el 40% de la producción anual de biomasa marina (Falkowski et al. 1998), lo que los convierte en el grupo más dominante de organismos que captan carbono de la atmósfera.

Las diatomeas son organismos interesantes tanto para las aplicaciones científicas como biotecnológicas. En los últimos años, han sido estudiadas no sólo desde el punto de vista académico sino también en aplicaciones industriales y biotecnológicas. Las aplicaciones que se han reportado dentro del sector industrial y comercial son por ejemplo síntesis de combustibles, síntesis de productos farmacéuticos, producción de alimentos, síntesis de biomoléculas, como materiales en nanotecnología, en la biorremediación de aguas contaminadas, en la biomonitorización, en la paleoecología y en el análisis forense, todas estas pueden combinarse en un futuro próximo para hacer de las diatomeas una fuente lucrativa de sustancias novedosas con amplia relevancia (Kale y Karthick, 2015; Bozarth et al. 2009).

Estos microorganismos viven generalmente en ecosistemas marinos, de agua dulce y terrestres, pero poco se conoce sobre su capacidad de supervivencia en los ecosistemas de aguas termales (Ghozzi et al. 2013). Las diatomeas de las aguas termales de Guanajuato han sido estudiadas para obtener información sobre la diversidad de géneros y especies que habitan en estas aguas y conocer a través de la revisión bibliográfica la potencialidad biotecnológica e industrial de cada organismo.

Desarrollo

A continuación, se describirán siete especies de diatomeas de la clase Bacillariophyceae representadas por los órdenes Naviculales, Cymbellales, Achnanthales, Bacillariales y Rhopalodiales a través de su morfología, su distribución y sus

aplicaciones potenciales:

a) *Sellaphora disjuncta*

Morfología. Diatomea descrita por primera vez como *Navicula disjuncta* en 1930 por Hust. Se clasificó dentro del Reino: chromista, Subreino: harosa, Filo: ochrophyta, Clase: Bacillariophyceae, Subclase: Bacillariophycidae, Orden: Naviculales, Familia: Sellaphoraceae, Género: *Sellaphora*, Especie: *S. disjuncta* (Kociolek et al 2021). Su estructura celular está constituida por válvulas lineales-elípticas con extremos cortos truncados o ligeramente capitados, de 8 - 21.4 μm de largo y 3.0 - 4.3 μm de ancho, con raphe ligeramente curvado, filiforme, fisuras terminales dobladas en una dirección y las fisuras centrales en la otra dirección terminan en poros en forma de lágrima. Internamente los extremos del rafe terminan en pequeñas helictoglosas. La zona axial estrecha y lineal y la zona central ligeramente ensanchada. Presenta estrías radiales, convergentes en los ápices de las válvulas y estrías acortadas en la parte media de la válvula con 38 - 65 en 10 μm ó 60 - 90 areolas en 10 μm de una estría (Genkal and Yarushina, 2018) (Figura 1a).

Distribución geográfica. Se ha confirmado la presencia de este taxón en muestras del noreste de Estados Unidos, incluidos Connecticut, Maine, Nueva York, Nuevo Hampshire, Rhode Island y Vermont, y previamente se informó de su presencia en Carolina del Norte, Luisiana, Dakota del Sur, Colorado e Idaho (Polaskey and Ripple, 2018), también hay reportes de esta diatomea en Rusia y Siberia (Genkal and Yarushina, 2018) así como en México (Mora et al., 2015). Puede encontrarse en muchos sistemas lénticos y lóticos (Polaskey and Ripple, 2018).

Aplicaciones. Estas diatomeas ayudan en la valoración de la calidad del agua debido a su capacidad de crecimiento en un amplio intervalo de valores de pH, temperatura, salinidad, concentración de nutrientes, etc. Cuando se encuentran en condiciones de estrés ambiental sufren cambios bioquímicos que alteran la forma normal de las células y los patrones de estriado. Existen reportes del uso de *Sellaphora* sp para este propósito, incluso en México se ha reportado su uso en estudios desarrollados en el río Laja, Guanajuato (Mora et al. 2015).

b) *Navicula detenta*

Morfología. La existencia de esta diatomea se publicó por primera vez en 1943 (Bahls, 2012). Inicialmente se identificó como *Navicula detenta* y actualmente se denomina *Adlafia detenta* (Hust.) (Heudre et al. 2018), aunque es más común encontrarla en la literatura con su nombre original. Se clasificó dentro del Imperio: Eukaryota, Reino: Chromista, Phylum: Bacillariophyta, Subphylum: Bacillariophytina, Clase: Bacillariophyceae, Subclase: Bacillariophycidae, Orden: Naviculales, Suborden: Naviculineae, Familia: Naviculaceae, Género: *Navicula* (Guirly, 2021). Su tamaño promedio oscila entre 16 - 19 μm de largo y 5.8 - 6.8 μm de ancho (Bahls, 2012), tiene forma elíptica cuyos extremos son redondeados, presenta de 28 a 33 estrías cada 10 μm , las cuales irradian débilmente del centro y se vuelven paralelas en los extremos, presenta de 30 a 35 areolas circulares cada 10 μm , no tiene área central ni barras polares (Heudre et al. 2018). Los extremos distales del rafe se curvan hacia el lado secundario de la válvula. Ocasionalmente se puede apreciar una estría acotada junto al área central (Bahls, 2012) (Figura 1b).

Distribución geográfica. Es una especie de agua dulce y bentónica (Fimbres et al. 2016). Es altamente móvil (Chen et al. 2019), su motilidad se debe a su capacidad de producir mucílago, una matriz con un alto contenido de polímeros extracelulares incluyendo polisacáridos, que le permiten adherirse al sustrato y desplazarse a través de este (Fimbres et al. 2016) Se identificó por primera vez en las montañas de Nidze entre Grecia y Macedonia del Norte (Bahls, 2012).

Aplicaciones. Los polisacáridos que produce *Navicula* sp. tienen potencial actividad antiviral y antimaterial (Fimbres et al. 2016), también se ha reportado su capacidad de producir moléculas antioxidantes que son solubles en agua (Affan et al. 2006). Las diatomeas del género *Navicula* sp. presentan mayor valor nutricional, por lo que es una de las especies que se cultiva en biomasa para utilizarse como alimento en las granjas de peces (Kuppusamy et al. 2017). También se ha analizado su aplicación en las ciencias forenses junto con otras diatomeas como método para determinar si un cuerpo encontrado bajo el agua falleció antes de ser sumergido o murió por ahogamiento (Verma, 2013). Otras especies de *Navicula*, como *Navicula atomus* han mostrado potencial en la generación de nanopartículas cuando se une a metales las cuales podrían ser utilizadas en biomedicina como potenciales moléculas anticáncer (Kuppusamy et al. 2017). En la diatomea *Navicula delognei*, se reportó la capacidad de producir una molécula de éster, la cual muestra actividad antibacterial contra *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Salmonella typhimurium* y *Proteus vulgaris* (Findlay and Patil, 1984).

c) *Cocconeis pediculus*

Morfología. Fue descrita por primera vez por Ehrenberg en Berlín, Alemania en 1838 quien la describió como una concha ovalada, convexa en la parte dorsal y semiglobosa en el interior y lisa en el exterior. Fue clasificada dentro del Género: *Cocconeis*, Reino: Eukaryota, División: Chrysophyta (Heterokontophyta), Clase: Diatomophyceae (Bacillariophyceae), Orden: Bacillariales (Pennales). Se caracteriza por una longitud de 17.0 - 41.5 μm y ancho entre 14 - 23 μm , con 16 - 22 estrías en 10 μm en el centro de la valva del rafe (Jahn et al. 2007). Presenta una típica valva en el esternón con líneas longitudinales onduladas, el esternón está rodeado por una zona axial en forma de lira, la valva rafe "puntuada" exhibe finamente un área axial estrecha y lineal, y una típica valvocópula fimbriada; el área central de la diatomea es pequeña y circular con contorno irregular. La diatomea presenta areolas que se pueden agrupar en estrías lineales y la distancia entre areolas es la misma entre cada estría. Las estrías son curvadas, radiadas y finas, pero claramente puntuadas (Jahn et al. 2007) (Figura 1c).

Distribución geográfica. Los ambientes en los que se ha reportado su presencia varían desde hábitats de agua dulce a salobre, siendo en ríos, cuencas de ríos y manantiales los principales lugares donde se ha encontrado. (Gerloff and Rivera, 1979). Actualmente ha sido aislada de diferentes lugares y diferentes condiciones, se ha encontrado en Jordania, Estados Unidos y México (Gerloff et al. 1979, Hardwick et al. 1992, Brown et al. 1995; Bojorge et al. 2014; Jahn et al. 2019).

Aplicaciones. La aplicación de esta diatomea se basa principalmente en la capacidad de bioacumulación de metales pesados (Atici et al. 2008). *Cocconeis pediculus* en conjunto con otras diatomeas se ha empleado para la biorremediación de aguas contaminadas con altas concentraciones de metales pesados. Por otro lado, otros estudios han informado sobre su aplicación como biomonitor de la calidad del agua, en conjunto con otra diatomea conocida como *Cocconeis placentula* que tiene gran similitud morfológica y metabólica con *Cocconeis pediculus*, (Mora et al. 2015).

d) *Rhopalodia gibberula*

Morfología. Se identificó por primera vez en 1895 por Christian Gottfried Ehrenberg, y se clasificó de la siguiente manera, imperio: Eukaryota, reino: Chromista, filo: Bacillariophyta, subfilo: Bacillariophytina, clase: Bacillariophyceae, subclase: Bacillariophycidae, orden: Rhopalodiales, familia: Rhopalodiaceae, género: *Rhopalodia* (Müller, 1895). Pertenece a un grupo de diatomeas pennadas que incluye tres géneros: *Rhopalodia*, *Epithemia* y *Protokeelia* (Guerrero, Sala, and Gorriti 2001). Los géneros *Rhopalodia* y *Epithemia* poseen endosimbiontes cianobacterianos llamados "cuerpos esferoides", además de plastos y mitocondrias. Los cuerpos esferoides están separados del citoplasma por una envoltura que se cree que está formada por dos membranas (Kneip et al. 2008). Los cuerpos esferoides son endosimbiontes obligados, ya que estas estructuras nunca se han cultivado fuera de las células huésped y se transmiten a las células hijas a través de división celular binaria (Drum and Pankratz 1965). La estructura intracelular no presenta una pigmentación prominente ni autofluorescencia de clorofila (Kneip et al. 2008). Se observó por R.W. Drum y S.Pankratz que su reproducción, después de generaciones reducidas por división celular binaria, es de forma sexual gracias a la formación de auxosporas las cuales causan cambios nucleares en los cuerpos esféricos (Drum and Pankratz 1965) (Figura 1d).

Distribución geográfica. El ambiente en donde se desarrolla esta diatomea tiene influencia eólica y fluvial y frecuentemente se encuentran en márgenes lagunares (Gutiérrez and Schillizzi, 2002). Abundan en conglomerados formados por causas fluviales. Su presencia indica baja energía, poca profundidad (0.3 metros) y abundante vegetación sumergida o circundante. Gracias a la adaptación a distintas condiciones ambientales, ha podido subsistir en un mínimo de profundidad, con variaciones en la salinidad y en sedimentos de grano fino enriquecido con materia orgánica. Suelen compartir distribución geográfica con otras especies epifitas de agua dulce como *Cocconeis Placentula* y *Cymbiformis* Kütz. V.H, y bentónicas de agua salobre como *Campylodiscus clypeus* Ehrenberg (Guerrero, Sala, and Gorriti 2001).

Aplicaciones. Su aplicación se enfoca a la biosíntesis y bioremediación, aunque también ha demostrado su efectividad en biomineralización, biomateriales, degradación de residuos, evaluación de toxicidad en aguas residuales, entre otros. La aplicación de *Rhopalodia Gibberula* destaca como bioindicador para contaminantes en aguas residuales (Jamali et al. 2012) como indicador de la temperatura y pH del agua, la salinidad, el estado trófico del sitio, el tipo de nutrientes y la contaminación orgánica del agua.

e) *Gomphoneis erienze* var. *Apiculate*

Morfología. Fue clasificada en el Reino: Chromista, Ocrofitas Filo: Ochrophyta, Diatomeas Clase: Bacillariophyceae, Orden: Cymbellales, Familia: Gomphonemataceae, Género: *Gomphoneis*, *Gomphoneis erienze*, *Gomphoneis erienze* var. *Angularis* y *Gomphoneis erienze* var. *Apiculata*. El género *Gomphoneis* se reportó desde el año 1894 a través de tres especies, *G. elegans* (Grunow) Cleve, *G. herculeana* (Ehrenberg) Cleve y *G. mammilla* (Ehrenberg) Cleve, sin embargo, el

número de organismos en este género ha incrementado y actualmente se reportan más de 75 especies en todo el mundo (Kociolek et al. 2017). Morfológicamente esta diatomea presenta válvulas lanceoladas-clavadas además de un mástil apiculado y un pie redondeado. El área axial es estrecha y se expande en el centro de la válvula para formar un área central redondeada. Sólo se presenta un estigma. Las estrías están formadas por dos filas de areolas dispuestas alternativamente. Las estrías irradian fuertemente en el poste. Las líneas longitudinales están presentes a ambos lados del área axial y pueden ser indistintas en algunas muestras. El campo de poros apical es bilobulado. El mástil apirulado presenta un desarrollo fuerte o débil, y la porción expandida de la válvula cerca del mástil puede variar en su expresión, su rango de longitud es de 33 – 63 μm de largo y de ancho entre 12– 14 μm (Kociolek et al. 1988). Distribución geográfica. Es posible que el origen de esta diatomea sea en el oeste de Norteamérica, pero también se ha documentado la presencia de tres especies de Gomphoneis en la provincia de Chubut en Argentina (Datta et al. 2019). Aplicaciones. La aplicación de este taxón se ha reportado en el tratamiento de aguas residuales (Figura 1e).

f) *Achnanthes brevipes* var. *Intermedia*

Morfología. Descrita por primera vez en 1833 por Kützing (Todoya and Williams, 2004). Se clasificó dentro del Imperio: Eukaryota, Reino: Chromista, Phylum: Bacillariophyta, Subphylum: Bacillariophytina, Clase: Bacillariophyceae, Subclase: Bacillariophycidae, Orden: Mastogloiales, Familia: Achnantheaceae, Género: Achnanthes, (Md Guiry, 2021). Esta diatomea es monoráfila y heterovalvar, es decir, que las válvulas del frústulo difieren una de la otra morfológicamente y sólo una presenta rafe, las válvulas se conocen como válvula de rafo (RV) y válvula aráfila (ARV) donde el rafe está ausente. Su forma es más o menos elíptica con 22 a 67 μm de largo y de 9 a 15 μm de ancho. En ambas válvulas las estrías son uniseriadas, en la válvula de rafo hay de 9.5 – 10.5 estrías cada 10 μm , mientras que en la válvula aráfila hay de 9 – 10.5. En RV el rafe se extiende a lo largo de toda la válvula siendo más gruesa en el área central. El esternón sin rafe del ARV es ligeramente lateral, en ocasiones parece biconvexo, este se extiende a lo largo de la cara de la válvula interconectándose con las costillas que se encuentran a ambos lados, aunque no siempre se encuentran directamente una frente a la otra. La frústula completa consta de RV, ARV y tres cópulas, las cuales son bandas abiertas que contienen cada una dos filas de areolas pequeñas ocluidas por cribras complejas. Las areolas casi siempre son redondas, a menudo se pueden observar en forma cuadrada. (Todoya and Williams, 2004). Forma agregados de 4 a 5 células (. Distribución geográfica. Esta diatomea se puede encontrar en hábitats de agua marina y agua salobre, es altamente abundante sobre algas filamentosas y forma cadenas largas. Se ha reportado en humedales en Italia (Della Bella, V et al. 2007), cenotes en Quintana Roo, México, en aguas continentales de la Antártida, (McIntire, 1978), y en otros países. Aplicaciones. Las diatomeas del género Achnanthes, incluida Achnanthes brevipes var intermedia han sido utilizadas como indicadores de las condiciones medioambientales del agua según estudios desarrollados en Japón, México y otros países (Kobayasi and Mayama, 1989) (Figura 1f).

g) *Denticula tenuis* Kütz,

Morfología. Fue descrita por primera vez por Kützing en 1844. Se clasificó de la siguiente manera: imperio Eukaryota, reino Chromista, filo Bacillariophyta, subfilo Bacillariophytina, clase Bacillariophyceae, subclase Bacillariophycidae, orden Bacillariales, familia Bacillariaceae, género Denticula (Islands, 2021). Denticula Tenuis Kütz, presenta frústula con simetría nitzschioide, las valvas son lanceoladas con ápices cuneados a rostreados. Su largo oscila entre 11–19 μm y su ancho entre 4 – 6 μm . Las estrías son paralelas en el centro de la valva y ligeramente radiadas en los ápices, el tamaño de las estrías varía entre 25 – 29 en 10 μm . Tiene un canal de rafe continuo, ligeramente excéntrico respecto al eje apical y elevado en una quilla sobre la superficie de la valva. Las fíbulas varían entre 5 – 7 en 10 μm . Las fíbulas se extienden a lo largo de todo el eje transapical. Las frústulas tienen forma rectangular (Hamsher et al. 2014). Presenta estrías formadas por areolas elípticas rodeadas de crestas silíceas, areolas pequeñas y redondeadas. Las fíbulas se encuentran espaciadas cada 5 estrías hacia el centro de la válvula y a 2 estrías hacia los ápices (Hamsher et al. 2014) (Figura 1g).

Distribución geográfica. Su distribución geográfica ha sido ampliamente reportada. Se ha reportado en California, Utah y Colorado dentro de Estados Unidos) y en Indonesia (Hamsher et al. 2014). También se ha reportado su presencia en 13 manantiales alterados por actividades antropogénicas ubicados en Polonia (Wojtal and Sobczyk, 2012). Aunque es más probable que se desarrolle en bordes litorales de lagos, también se ha encontrado en cuerpos de agua y arroyos. Además, se ha destacado su distribución en zonas montañosas frías y en manantiales calientes (Congestri et al. 2005).

Aplicaciones. La aplicación de esta diatomea se enfoca a la biosíntesis de moléculas y a procesos de biorremediación, aunque también se ha reportado su uso en la degradación de residuos y evaluación de su toxicidad. Denticula Tenuis Kütz, se ha utilizado para la síntesis de biopelículas para plantas de tratamiento de aguas residuales (Jamali et al. 2012), estas biopelículas se utilizan para eliminar nutrientes y contaminantes residuales.

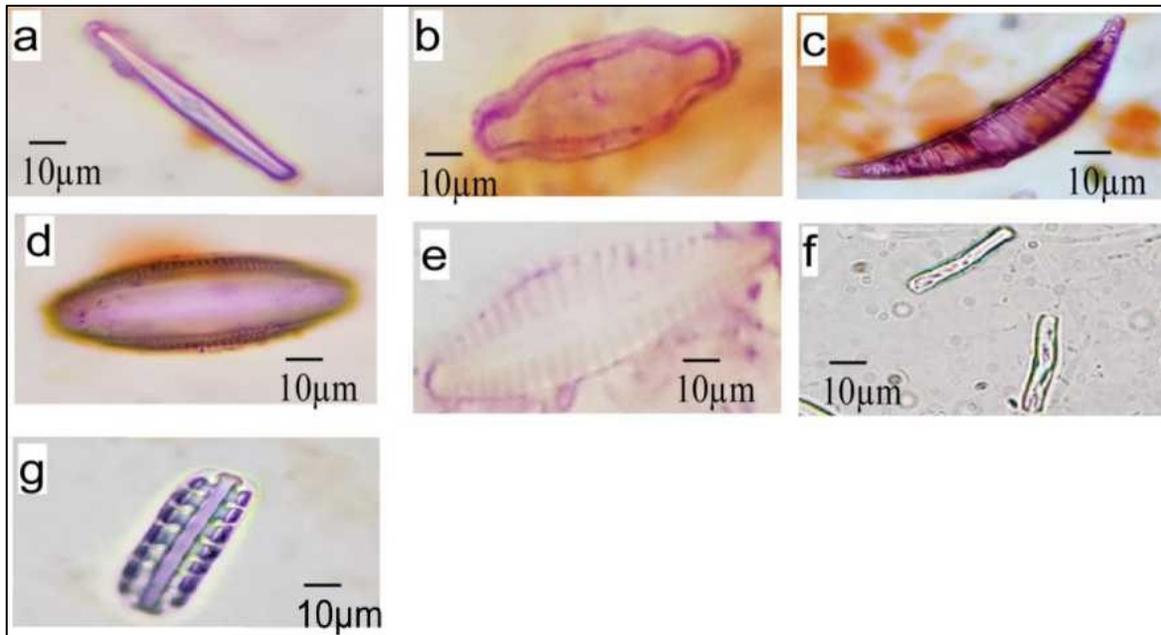


Figura 1. Diatomeas identificadas: a) *Sellaphora disjuncta*; b) *Navicula detenta*; c) *Rhopalodia gibberula*; d) *Cocconeis peiculus*; e) *Gomphoneis eriense* var. *apiculate*; f) *Achnanthes brevipes* var. *intermedia*; g) *Denticula tenuis* Kützing.
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Las diatomeas de la clase Bacillariophyceae se han descrito en ecosistemas marinos, de agua dulce y terrestres, pero son escasos los estudios que las describen en un ecosistema termal. El estudio de las diatomeas como unidad funcional ayuda tener una mejor comprensión de cómo estas complejas e integradas comunidades se adaptan a la vida en torno a las aguas termales, donde factores como el pH, la turbidez, la temperatura y la composición química del agua influyen en la relación y abundancia de estos organismos. Las diatomeas tienen una gran variedad de aplicaciones, y sus taxones no sólo son importantes en términos de diversidad y ecología, sino también debido a sus aplicaciones en la vigilancia del medio ambiente, la nanotecnología, los biocombustibles, la medicina, la agricultura y la industria alimentaria.

Referencias

- Affan, A., Karawita, R., Jeon, Y. J., & Lee, J. B. (2006). Potential of benthic diatoms *Achnanthes longipes*, *Amphora coffeaeformis* and *Navicula* sp. as antioxidant sources. In 6. Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology, Makati City (Philippines), APCAB.
- Atici, T., Ahiska, S., Altindag, A. & Aydin, D. (2008). Ecological effects of some heavy metals (Cd, Pb, Hg, Cr) pollution of phytoplanktonic algae and zooplanktonic organisms in Sarıyar Dam Reservoir in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 7(12):1972-1977.
- Bahls, L. (2012). *Adlafia detenta*. En diatomeas de América del Norte. Obtenido el 23 de junio de 2021 de https://diatoms.org/species/adlafia_detenta
- Barinova, Sophia, Anna Bondarenko, Larisa Ryabushko, and Sergey Kapranov. (2019). Microphytobenthos as an Indicator of Water Quality and Organic Pollution in the Western Coastal Zone of the Sea of Azov. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 48(2): 125-39.
- Bojorge, M., Carmona, J. & Ramírez, R. (2014). Species richness and diversity of benthic diatom communities in tropical mountain streams of Mexico, *Inland Waters*, 4(2):79-292
- Bozarth, A., Maier, U.G., Zauner, S. (2009). Diatoms in biotechnology: modern tools and applications. *Appl Microbiol Biotechnol*, 82:195-201.

- Brown, B., and Olive, J. (1995). Diatom communities in the Cuyahoga River (USA): Changes in species compositions between 1974 and 1992 following renovations in wastewater management. *Ohio Journal of Science* 95(3): 254–260.
- Chen, L., Weng, D., Du, C., Wang, J., & Cao, S. (2019). Contribution of frustules and mucilage trails to the mobility of diatom *Navicula* sp. *Scientific reports*, 9(1):1–12.
- Datta, A., Marella, T.K., Tiwari, A., Wani, S.P. (2019). Las diatomeas: de indicadores eutróficos a mitigadores. En: Gupta SK, Bux F. (eds) Aplicación de microalgas en el tratamiento de aguas residuales. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13913-1_2
- Drum, R.W., and Pankratz, S. (1965). Fine Structure of an Unusual Cytoplasmic Inclusion in the Diatom Genus, *Rhopalodia*. *Protoplasma* 60(1): 141–49.
- Falkowski, P.G., Barber, R.T., Smetacek, V.V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281:200–207.
- Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson, J.T., Falkowski, P., (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science* 281:237–240.
- Fimbres-Olivarría, D., López-Elías, J.A., Carvajal-Millán, E., Márquez-Escalante, J.A., Martínez-Córdova, L.R., Miranda-Baeza, A., ... & Brown-Bojórquez, F. (2016). *Navicula* sp. sulfated polysaccharide gels induced by Fe (III): rheology and microstructure. *International journal of molecular sciences*, 17(8):1238.
- Findlay, J.A. and Patil, A.D. (1984). Antibacterial constituents of the diatom *Navicula delognei*. *J Nat Prod.*, 47:815–818
- Geitler, L. (1952). Über differentielle Teilung und einen im Zellbau begründeten, kopulationsbegrenzenden Faktor bei der Diatomee *Cocconeis*. *Botanischen Institut der Universität Wien. Z. Naturforschg.* 7b, 411–414.
- Genkal, S. and Yarushina, M. (2018). To Morphology, Taxonomy and Distribution of Rare Species of the Genus *Sellaphora* (Bacillariophyta) in Russia. *International Journal on Algae.* 20:1–12. [10.1615/InterJAlgae.v20.i1.10](https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v20.i1.10).
- Gerloff, J. and Rivera, P. (1979). Der submikroskopische Bau der Schalen von *Cocconeis pediculus* (Bacillariophyceae). *Willdenowia* 9: 99–110. Recuperado de: Der submikroskopische Bau der Schalen von *Cocconeis pediculus* (Bacillariophyceae) on JSTOR
- Ghozzi, K., Zemzem M., Dhiab, R. B., Challouf, R., Yahia, A., Omrane, H., Ouada, H.B., 2013. Screening of thermophilic microalgae and cyanobacteria from Tunisian
- Guerrero, José M, Silvia E Sala, and GABRIELA Gorriti. (2001). Epithemiaceae y Surellaceae (Bacillariophyceae) de tierra del fuego, Argentina. *Bol Soc Argent Bot.*, 36(1–2): 29–45.
- Guiry, M.D. en Guiry, M.D. and Guiry, G.M. (2021). *AlgaeBase*. Publicación electrónica mundial, Universidad Nacional de Irlanda, Galway. <http://www.algaebase.org>; buscado el 23 de junio de 2021.
- Gutiérrez, B.T., and Schillizzi, R. (2002). Asociaciones de Diatomeas En Paleoambientes Cuaternarios de La Costa Sur de La Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Pesquisas em Geociências* 29(1): 59.
- Hardwick, G.G., Blinn, D.W. and Usher, H.D. (1992). Epiphytic diatoms on *Cladophora glomerata* in the Colorado River, Arizona: Longitudinal and vertical distribution in a regulated river. *The Southwestern Naturalist*, 37(2):148–156
- Heudre, D., Wetzel, C.E., Moreau, L. and Ector, L. (2018). *Sellaphora davoutiana* sp. nov: una nueva especie de diatomeas de agua dulce (Sellaphoraceae, Bacillariophyta) en los lagos del noreste de Francia. *Phytotaxa*, 346 (3), 269–279.
- Holmes, R.W., Crawford, R.M., and Round, F.E. (1982). Variability in the structure of the genus *Cocconeis* Èhr. (Bacillariophyta) with special reference to the cingulum. *Phycologia*, 21(3):370–381. [doi:10.2216/i0031-8884-21-3-370.1](https://doi.org/10.2216/i0031-8884-21-3-370.1)

- Jahn, R., Kusber, W. & Romero, O. (2009). *Cocconeis pediculus* Ehrenberg and *C. placentula* Ehrenberg var. *placentula* (Bacillariophyta): Typification and taxonomy. *Fottea* 9(2):275–288. Recuperado de: Romero2009d.pdf (ugr.es)
- Jamali, A.A, Akbari, F., Ghorakhlou, M.M., de la Guardia, M., Yari, Khosroushahi, A. (2012). Applications of Diatoms as Potential Microalgae in Nanobiotechnology. *BiolImpacts.*, 2(2): 83–89.
- Kale, A., Karthick, B. (2015). The Diatoms Big Significance of Tiny Glass Houses. *Resonance*, 919–930.
- Kneip, C., Voss, C., Lockhart, P.J., Maier, U.G. (2008). The Cyanobacterial Endosymbiont of the Unicellular Algae *Rhopalodia Gibba* Shows Reductive Genome Evolution. *BMC Evolutionary Biology*, 8(1): 1–16.
- Kociolek, J.P. and Stoermer, E.F. (1988). Taxonomía, ultraestructura y distribución de *Gomphoneis herculeana*, *G. eriense* y especies estrechamente relacionadas (Naviculales: Gomphonemataceae) *Proc. Acad. Nat. Sci. Phil.*, 140: 24–97 <http://www.jstor.org/stable/4064935>
- Kociolek, J.P., Blanco, S., Coste, M., Ector, L., Liu, Y., Karthick, B., Kulikovskiy, M., Lundholm, N., Ludwig, T., Potapova, M., Rimet, F., Sabbe, K., Sala, S., Sar, E., Taylor, J., Van de Vijver, B., Wetzel, C.E., Williams, D.M., Witkowski, A., Witkowski, J. (2021). DiatomBase. *Sellaphora disjuncta* (Hustedt) D.G.Mann, 1989. Accessed at: <https://www.diatombase.org/aphia.php?p=taxdetails&id=610745> on 2021-07-13 (Kociolek JP et al 2021)
- Kociolek, J.P., Uyua, N.M., Sala, S.E., Santinelli, N.H. and Cefarelli, A. (2017). Nueva especie, reporte de nuevo taxón y biogeografía del género de diatomeas *Gomphoneis* Cleve (Bacillariophyceae) en Patagonia, Provincia de Chubut, Argentina. *Diatom Research*, 32(4):439–450. doi: 10.1080 / 0269249x.2017.1393009
- Kuppusamy, P., Soundharajan, I., Srigopalram, S., Yusoff, M. M., Maniam, G. P., Govindan, N., and Choi, K.C. (2017). Potential pharmaceutical and biomedical applications of Diatoms microalgae—An overview.
- Lora-Vilchis, M.C., López Fuerte, F.O., Pérez Rojas, C.A. (2020). Algas de cristal; diatomeas. *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1): 25–42. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.06.06.01.0003>
- MD Guiry en Guiry, MD & Guiry, GM 2021. *AlgaeBase*. Publicación electrónica mundial, Universidad Nacional de Irlanda, Galway. <http://www.algaebase.org>; buscado el 15 de julio de 2021.
- Mora, D., Carmona, J. and Cantoral-Uriza, E., (2015). Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86(4):1024–1040. Disponible en: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345315001220>> [Visitado el 25 de junio de 2021].
- Müller, O. Ehrenberg. 1895. “*Rhopalodia Gibba*.” (Evitt 1961): 24–26. https://www.algaebase.org/search/species/detail/?tc=accept&species_id=32080.
- Polaskey, M., Ripple, H. (2018). *Sellaphora disjuncta*. In *Diatoms of North America*. Retrieved July 13, 2021, from https://diatoms.org/species/sellaphora_disjuncta
- Soylu, E.N., Maraslıoğlu, F. and Gönöloğlu, A. (2005). Epiphytic Diatoms on *Nuphar lutea* L. in Three Shallow Turkish Lakes, *Journal of Freshwater Ecology*, 20:4, 791–792, DOI: 10.1080/02705060.2005.9664808
- Toyoda, K., and Williams, D. M. (2004). Description of *Achnanthes* Bory (Bacillariophyceae) based on Kützing's type slides and materials I New morphological information on *Achnanthes brevipes* var. *intermedia* (Kütz.) Cleve. *Diatom*, 20:159–165.
- Verma, K. (2013). Role of diatoms in the world of forensic science. *J Forensic Res*, 4(2):181–84.
- Zhang, F., Ding, Z., Gong, H., Chi, J. (2019). Effects of Microphytobenthos *Cylindrotheca closterium* on the Fate of Di-n-Butyl Phthalate in an Aquatic Microcosm. *Marine Pollution Bulletin* 140:101–106. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.033>.