

DIATOMEAS TERATOLÓGICAS COMO ORGANISMOS BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TINGO, HUALGAYOC, CAJAMARCA

TERATOLOGICAL DIATOMS AS BIOINDICATING ORGANISMS OF THE QUALITY OF THE WATER OF THE TINGO RIVER, HUALGAYOC, CAJAMARCA

¹Pablo Franco León, ²Paola Franco Vásquez, ³Liduvina Sulca Quispe, ⁴Eduardo Oyague Passuni

RESUMEN

El análisis taxonómico de las diatomeas se utiliza como bioindicador de la calidad del agua. El presente estudio se realizó en el río Tingo al noroeste de Hualgayoc, en los alrededores de la unidad minera Cerro Corona en Cajamarca. Se colectaron muestras en tres estaciones de muestreo E -1, E-2 y E-3, ubicadas en la cuenca, tanto en la temporada seca (mayo) como húmeda (diciembre) de 2017. En estas estaciones se registraron varios parámetros físico-químicos: OD (ppm), pH, temperatura, conductividad eléctrica y los sólidos totales disueltos (ppm). Se encontró una dominancia de las diatomeas (Bacillariophyta) del 83%. El resto de fitoplancton estaba representado por otros grupos taxonómicos, como las cianobacterias 9%, chlorophyta 6%, mientras que las euglenophyta y xanthophyta representaron solo el 1%. Según la métrica del Índice Diatónico Genérico (IDG), las estaciones E-2 y E-3 se evaluaron con calidad de agua pésima, y E-1 con calidad de agua mala. Se observaron formas teratológicas en tres especies de diatomeas *Ulmaria una* (270 células/ml), *Fragilaria* spp (180 células/ml) y *Synedra goulardii* (129 células/ml). Las formas teratológicas aparecen como un efecto accidental de las tensiones ambientales, tanto físicas como químicas; tipos de estrés; contaminación orgánica, metales pesados.

Palabras claves: Diatomea, río Tingo, teratología.

ABSTRACT

The taxonomic analysis of diatoms is used as a bio indicator of water quality. The present study was carried out on the Tingo River northwest of Hualgayoc, in the surrounding of the Cerro Corona mining unit in Cajamarca. Samples were collected in three sampling stations E -1, E-2 and E-3, located in the basin, both in the dry (May) and wet (December) seasons of 2017. In these stations several physical parameters were recorded. Chemicals: OD (ppm), pH, temperature, electrical conductivity and dissolved total solids (ppm). A dominance of diatoms (Bacillariophyta) of 83% was found. The rest of phytoplankton was represented by other taxonomic groups, such as 9% cyanobacteria, 6% chlorophyta, while euglenophyta and xanthophyta accounted for only 1%. According to the Generic Diatonic Index (IDG) metric, stations E-2 and E-3 were evaluated with poor water quality, and E-1 with poor water quality. Teratological forms were observed in three diatom species *Ulmaria one* (270 cells / ml), *Fragilaria* spp (180 cells / ml) and *Synedra goulardii* (129 cells / ml). Teratological forms appear as an accidental effect of environmental tensions, both physical and chemical; types of stress, organic pollution and heavy metals.

Keywords: Diatom, Tingo river, teratology.

¹Laboratorio de Botánica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna- Perú. E-mail: pablofranco2@hotmail.com

²Herbario Takana. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna- Perú. E-mail: PaolaR_FranVas@hotmail.com

³Laboratorio de Botánica. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna- Perú. E-mail: liduvi_@hotmail.es

⁴Director de la División de Limnología (CORBIDI). Lima-Perú. E-mail: eooyague@corbid.org

INTRODUCCIÓN

Las diatomeas son valiosos bioindicadores puesto que son fáciles de recolectar, además de responder rápida y predeciblemente a los cambios ambientales (Sue, 2015). Es el grupo más diverso y se encuentra tanto en ambientes marinos como en continentales (Van Dam, 1994). Morfológicamente, los frústulos exhiben una amplia diversidad en formas y patrones que permiten la diferenciación taxonómica, siendo fácilmente identificables (Bathurst, Zori & Byock, 2010). Debido a su respuesta a perturbaciones ambientales mediante cambios en la estructura y la dinámica de la comunidad, hay un creciente interés en su empleo como bioindicadores, ya que resultan ser una buena herramienta para determinar el estado trófico y la calidad del agua en ríos (Hering y Johnson, 2006). Las diatomeas constituyen un grupo indicado para estudiar la biodiversidad y entender los factores que la regulan. La estructura de la comunidad puede verse alterada por contaminantes, en particular por metales, que pueden ser frecuentes en ríos expuestos a centros mineros (Olenici, Borrego-Ramos, Blanco, Momeu & Baciu, 2016).

Variados de organismos han sido probados para el uso como indicadores de contaminantes metálicos (Zhou, Zhabg, Fu, Shi & Jiang, 2008). Las diatomeas son ampliamente utilizadas en el monitoreo de calidad del agua, ofreciendo ventajas para el seguimiento de sedimentos y contaminantes en general, como metales pesados (García, Sarmiento, Salvador y Rodríguez, 2017). El aumento de la concentración de metales pesados en los cuerpos de agua, debido a una urbanización descontrolada y una industrialización no regulada, es un problema ambiental importante a nivel mundial (Pandey, Kumarb, Yadava & Gaur, 2013). En diatomeas expuestas a concentraciones significativas de metales pesados pueden ocurrir efectos teratológicos y ocasionar deformaciones del frústulo (Morin, Coste & Hamilton, 2012). Las concentraciones elevadas de metales en el agua provocan la desaparición o disminución de la población de diatomeas sensibles, aunque al mismo tiempo contribuye al crecimiento de taxones tolerantes (Pandey et al., 2013). Las diatomeas bajo condiciones de estrés metálico originan anomalías morfológicas (Falasco, Bona, Badino, Hoffman & Ector, 2009), por tanto existe la posibilidad de utilizar la frecuencia de frústulos deformados como parámetros para el monitoreo de contaminantes metálicos. Las teratologías pueden derivarse por la tolerancia a la radiación solar y pH, deficiencias en el sílice, altas concentraciones de nutrientes, presencia de plaguicidas y metales pesados (Mora, Carmona y Cantoral, 2015). Si existiera una variabilidad significativa en las alteraciones morfológicas en las mismas condiciones ecológicas, entonces la deformidad se puede considerar de naturaleza teratológica (Mc Laughlin, 1988). Las alteraciones teratológicas se presentan a nivel de la deformación del contorno de las valvas, cambios en el patrón de estriación e interrupción de la formación del rafe

(Falasco et al., 2009). Estas modificaciones pueden causar alteraciones en los mecanismos fisiológicos y morfológicos de las diatomeas. A las formas que presentan tales alteraciones se las conoce como teratológicas, las cuales están siendo incorporadas como métrica en valoraciones de calidad del agua, debido a que han demostrado ser una buena herramienta para determinar el estado trófico y la calidad del agua en ríos (Kelly, 1998; Dziengo-Czaja, Koss & Matuszak, 2008).

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece el nivel de concentración, grado de elementos, parámetros físico-químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, bajo condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. (OEFA, 2015). Las mineras que sobrepasen estos límites deben ser multadas.

El impacto negativo de las actividades mineras constituye un serio problema para el medio ambiente. La inadecuada disposición de relaves, aguas residuales y desmontes ha causado graves filtraciones de drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas (Corzo, 2015). La incorporación excesiva de nutrientes influye directamente sobre el fitoplancton por cuanto modifica su composición específica y eleva su producción, siendo las diatomeas una comunidad que expresa los cambios del agua con la aparición de géneros teratológicos (Franco, Sulca y Cáceres, 2007). Por su elevada toxicidad, el impacto causado en la salud debido a la exposición prolongada por bioacumulación de metales pesados resulta alarmante (Reyes, 2016). En dependencia del tipo de metal o metaloide, se producen afecciones que van desde daños en órganos vitales a cuadros severos como el cáncer.

La contaminación por metales, pesticidas, ocasiona formas teratológicas en las diatomeas, siendo el cadmio (Cd) uno de los inductores de teratología (Da Costa, 2010). La contaminación por metales ha sido identificada como fuente responsable de los efectos teratológicos en *Nitzschia palea* (Morin, Coste & Hamilton, 2008). El Cd produce un efecto inhibitor en el crecimiento poblacional de la diatomea *Chaetoceros gracilis* (Vera, Tam, Pinto y Angulo, 2001). Microalgas marinas como *Isochrysis galbana* y *Chaetoceros gracilis* presentan sensibilidad al cromo (Cr), resultando adecuadas como microbiopruebas de ecotoxicidad (Alayo, 2004). Los resultados indican una evidente influencia del Cd en la condición fisiológica de *Chaetoceros sp.* y *Tetraselmis sp.* (Romero et al., 2002). Según Falasco et al. (2009), hay 7 tipos de formas teratológicas de diatomeas (tabla 1).

Debido al problema por contaminación minera en la cuenca del río Llaucano y sus afluentes, cuya naciente es el río Tingo (ANA, 2011) se incrementa la preocupación por la persistente contaminación a causa

de los centros mineros. Las empresas situadas en esta jurisdicción son las siguientes: Minera Yanacocha S.R.L., Sociedad Minera Corona S.A., Compañía Minera San Nicolas S.A.A., empresa sudafricana Gold Fields La Cima S.A. y Sociedad Minera Corona S.A. (MINSa, 2011).

En la evaluación de la contaminación ocasionada por los centros mineros alrededor de la zona del río Tingo por la contaminación de metales pesados se reportó la presencia de plomo (Pb), cobre (Cu) y cianuro WAD (CN WAD), cuyos valores superaron los límites permisibles (MINSa, 2007). A la altura de la Sociedad Minera Corona S.A., el río Tingo supera en 4,84 veces arsénico (As), 1,16 veces cadmio (Cd), 7,54 veces cobre (Cu), 0,92 veces mercurio (Hg) y 0,22 veces zinc (Zn) (MINAGRI, 2010). Las concentraciones de hierro (Fe) y manganeso (Mn) fueron mayores a las ECAs. En el río Tingo las concentraciones de sulfuros, CN WAD, bario (Ba), boro (B), calcio (Ca), cobalto (Co), litio (Li), magnesio (Mg), sodio (Na), níquel (Ni), selenio (Se), plata (Ag) son menores a los estándares nacionales de la calidad del agua (ECA). A excepción de las concentraciones de As que superan en 4,84 veces las ECA para agua categoría 3 (riego de vegetales y bebidas de animales), 1,16 veces Cd, 7,54 veces Cu, 0,92 veces Hg, 0,26 veces Al, 21,02 veces Mn, 22,12 veces Fe y 0,22 veces Zn (ANA, 2011). En la estación (E-03), uno de los puntos del río Tingo, se presentó alto riesgo en CN WAD, Cu, Fe, Mn y Pb, con concentraciones máximas que sobrepasaron los límites permitidos (MINSa, 2011). Según el informe, el río Tingo evidenció la presencia de metales pesados como Al, Ca, sulfatos, As, Cd, Cu, Fe, Pb y Zn, así también coliformes por encima de los límites máximos permisibles, como consecuencia de aproximadamente 964 pasivos ambientales, (97% contaminación) dejados por la actividad minera, aguas residuales domésticas (2%) y residuos sólidos urbanos (1%) debido a los trabajos que llevan a cabo algunas plantas caleras de la zona. Esta situación causa acidez porque su naturaleza es mineralizada y, por lo tanto, no es apta para el consumo humano (ANA, 2015). Son pocos los estudios sobre diatomeas teratológicas de ríos en el país.

Tabla 1. *Tipos de formas teratológicas.*

FORMAS TERATOLÓGICAS DE DIATOMEAS	
Tipo 1	Deformación del contorno de la valva (pérdida de simetría, formas pentagonales o tribuladas; contorno curvado, irregular y ondulado).
Tipo 2	Cambio en el patrón de estriación, ramificación y costillas.
Tipo 3	Cambio en la forma, tamaño del área longitudinal y central.

Tipo 4	Modificaciones del rafe (dividido, fragmentado, bifurcado, etc.).
Tipo 5	Modificaciones del sistema del canal del rafe (distorsión, dobladas hacia atrás o desplazadas, desordenadas, etc.).
Tipo 6	Disposición inusual de las células que forman colonias.
Tipo 7	Mixto, cuando se muestra más de un tipo de teratología .

Fuente: Adaptado de Falasco, 2009.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el río Tingo, políticamente ubicado en la región de Cajamarca, provincia y distrito de Hualgayoc, comunidad campesina "El Tingo", anexo predio "La Jalca", caseríos Coymolache y Pilacones. Geográficamente, se encuentra en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del norte de Perú, hacia la vertiente continental atlántica, entre los 3 500 y los 3 600 msnm (figura 1).

Tabla 2. *Puntos de muestreo para el monitoreo en el río Tingo.*

Estaciones de muestreo	PUNTOS DE MUESTREO	
	Coordenadas UTM 19L	
	Este	Norte
E-1	761712	9253565
E-2	760335	9252407
E-3	759982	9252327

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación se realizó en las temporadas seca (mayo) y húmeda (diciembre) de 2017. Las estaciones de monitoreo se detallan en la tabla 2, con el objetivo de demostrar el uso de las diatomeas teratológicas como bioindicadoras en los cuerpos de agua.

Colección de muestras

Para la obtención de las muestras se empleó una red de plancton con 20 µm de porosidad (Roldán, 2008), con la indumentaria adecuada (botas, wader, guantes), debido a la persistente contaminación documentada del cuerpo acuífero. Se usó formol al 10% para la conservación en frascos plásticos de 100 ml (Roldán, 2008).



Figura 1. Zona de estudio (río Tingo), Cajamarca.
Fuente: Imágenes propias.

Las muestras se observaron en un microscopio óptico *Micros Austria* a 40 y 100x, con sistema de video y cámara conectado a un computador para la captura de microfotografías. La evaluación cuantitativa se realizó mediante el uso de una cámara de Sedgwick Rafter de 1 ml (Bellinger y Sigee, 2010). Los parámetros fisicoquímicos fueron registrados con el equipo multiparámetro portátil marca HACH.

Se utilizó la metodología de Battarbee (1986), empleando peróxido de hidrógeno y ácido clorhídrico en el lavado de frústulos para una identificación correcta, debido a la concentración elevada de materia orgánica, evitando cualquier error en el momento de la clasificación de los organismos. Las especies se identificaron según las claves de Patrick (1966), Streble & Krauter (1987), Bourrelly (1972), Fernández (1999), Round (1990), Crawford & Mann (1990), Bellinger y Sigee (2010), Metzeltin y Lange-Bertalot (1998).

Para el cálculo de la calidad del agua se utilizó el índice diatómico de eutrofización/polución (IDG) (Dell'Uomo, 2004). Este índice se basa en la sensibilidad (tolerancia/afinidad) de diatomeas a nutrientes, sustancias orgánicas y grado de mineralización, clasificando los cuerpos de agua en 8 clases de calidad (tabla 3).

$$IDG = \frac{\sum_{j=1}^n a_j \cdot r_j \cdot i_j}{\sum_{j=1}^n a_j \cdot r_j} \quad (1)$$

a_j = Abundancia de la especie j (%)

r_j = Fiabilidad de la especie j (5 para indicador óptimo, 3 buen indicador y 1 indicador aceptable)

i_j = Índice de sensibilidad de la especie j (valores de 0 a 4, que van desde ambiente de óptima calidad a pésima)

Tabla 3. Calidad del agua calculada a través del IDG.

Valores IDG	Clase	Calidad	Colores
1,8 <IDG ≤ 2,0	I	Óptimo	Azul
1,0 <IDG ≤ 1,7	II	Bueno	Verde
1,7 <IDG ≤ 2,3	III	Mediocre	Amarillo
2,3 <IDG ≤ 3,0	IV	Mala	Anaranjado
3,0 <IDG ≤ 4,0	V	Pésima	Rojo

Fuente: Adaptación de Dell'Uomo, 2004.

RESULTADOS

Para la toma de muestras en cada una de las estaciones de muestreo (tabla 4), se consideraron las características físicas, como el color anaranjado-marrón persistente a través de todos los puntos mencionados. Los parámetros físico-químicos se registraron varias veces en cada estación para evitar cualquier sesgo (tabla 5).

Tabla 4. Descripción de los puntos de monitoreo del río Tingo.

PUNTOS DE MUESTREO		
Estac. de muest.	Descripción	Altitud (m.s.n.m.)
E-1	Agua turbias (anaranjado-marrón), caudal moderado y caudal pedregoso.	3509
E-2	Agua turbias (anaranjado-marrón), caudal lento, sustrato arenoso-fangoso.	3599
E-3	Agua semiclaras (anaranjado), caudal lento, sustrato pedregoso-arenoso	3623

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Promedio de los parámetros fisicoquímicos del río Tingo.

PARAMETROS FISICO-QUÍMICOS					
Est. de muest.	Oxig. disuel. (ppm)	pH	T° (°C)	Cond. elect. (mS/cm)	Sol. tot. disuel. (ppm)
E-1	7,6	9,00	14,40	0,68	473
E-2	7,2	8,00	11,90	0,32	226
E-3	6,2	8,3	13,1	0,36	222

Fuente: Elaboración propia.

En las diferentes estaciones monitoreadas, se determinó que la comunidad del *fitoplancton* está integrada por: *bacillariophyta* (diatomeas) 83%, *cianophyta* 9%, *chlorophyta* 6%, *euglenophyta* 1% y *xantophyta* 1% (figura 1).

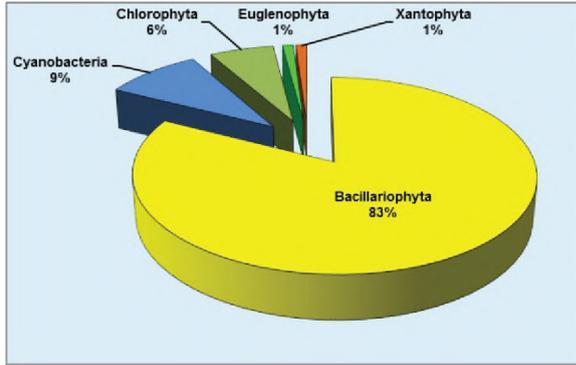


Figura 2. Grupos funcionales del fitoplancton del río Tingo.

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo del IDG de los puntos de muestreo (tabla 6) permitió hacer la clasificación de la calidad de cada una de las estaciones del río Tingo.

Tabla 6. Clasificación de las estaciones de muestreo según el cálculo de IDG.

ESTACIONES DE MUESTREO	IDG	CALIDAD
E-1	2,93	Mala
E-2	3,52	Pésima
E-3	3,38	Pésima

Fuente: Elaboración propia.

En el conteo del fitoplancton, mediante el uso de la cámara de Sedgwick Rafter, se observó que la especie *Synedra goulardii* (129 células/ml), *Ulnaria ulna* (270 células/ml) y *Fragilaria spp* (180 células/ml) presentaban alteraciones teratológicas (figuras 4, 6 y 8), comparándolas con las especies sin ninguna alteración (figuras 3, 5 y 7). Los tipos de teratología en diatomeas según Falasco (2009) en el río Tingo se detallan en la tabla 7.

Tabla 7. Tipo de teratología de las especies de diatomeas teratológicas en el río Tingo.

ESPECIE	TIPO DE TERATOLOGÍA
<i>Synedra goulardii</i>	Tipo 1
<i>Ulnaria ulna</i>	Tipo 1 y tipo 3
<i>Fragilaria spp</i>	Tipo 1 y tipo 3

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. *Synedra goulardii* (forma normal).

Fuente: Imágenes propias.



Figura 4. *Synedra goulardii* (forma teratológica).

Fuente: Imágenes propias.



Figura 5. *Ulnaria ulna* (forma normal).

Fuente: Imágenes propias.



Figura 6. *Ulnaria ulna* (forma teratológica).

Fuente: Imágenes propias.

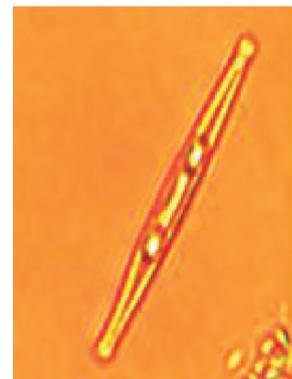


Foto 6. *Fragilaria spp* (forma normal).

Fuente: Imágenes propias.

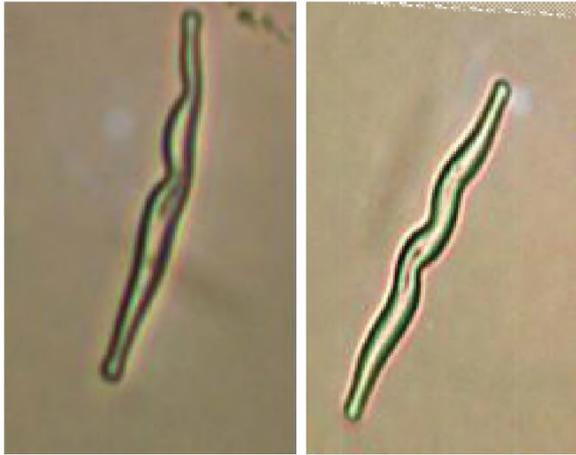


Figura 8. *Fragilaria spp* (formas teratológicas).
Fuente: Imágenes propias.

DISCUSIÓN

El aspecto físico (anaranjado-marrón, anaranjado) del río Tingo indica la persistencia de la contaminación de metales pesados debido a los centros mineros que están alrededor de la zona, según los estudios notificados por MINSA (2007), MINAGRI (2010), MINSA (2011), ANA (2011) y ANA (2015).

El agua es alcalina, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto moderado; la clasificación del tipo de calidad mediante el uso del IDG (mala y pésima) de agua del río Tingo muestra la deficiencia sanitaria, cultural y ambiental de los centros mineros colindantes.

Debido a la concentración de metales pesados, las diatomeas sufrieron daños en su morfología siendo estas de tipo 1, tipo 2 y tipo 3, corroborando que las bacillariophytas pueden sufrir alteraciones por el estrés a causa de metales. La presencia de formas teratológicas de *Synedra goulardii*, *Ulnaria ulna* y *Fragilaria spp* podría estar directamente asociada a cambios químicos de su hábitat, provocando fallas en la replicación celular, lo cual se manifiesta en las formas teratológicas.

En el trabajo de Dziengo-Czaja (2008) se registraron formas teratológicas de diatomeas en 17 especies, principalmente *Opephora mutabilis*, *Planothidium delicatulum* y *Fragilaria fasciculata*, concordando con el estudio realizado para el caso del género *Fragilaria*. La comunidad de Bacillariophyta muestra 3 morfo especies teratológicas: *Synedra goulardii*, *Ulnaria ulna* y *Fragilaria spp*, (deformes); lo que indica la presencia de posibles metales pesados en las estaciones E-1, E-2 y E-3. En estas zonas de muestreo la calidad del agua, según el índice diatómico genérico (IDG), muestra que es mala y pésima.

CONCLUSIONES

Las diatomeas pueden ser utilizadas para determinar contaminación orgánica, cambio en la salinidad o exceso de metales pesados, en programas de monitoreo de cuerpos de agua.

El río Tingo evidencia una contaminación minera que debe ser de exhaustiva evaluación en su condición para determinar exactamente los focos de contaminación y sancionar a los causantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alayo, M., Iannacone J. y Arrascue A. (2004). Sensibilidad al cromo: microbiopuebas con las diatomeas marinas *Isochrysis galbana* Parke y *Chaetoceros gracilis* Schütt. *Ecología Aplicada*. 3(1), 154-161.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2011). Informe técnico N° 132-2011. *Segundo monitoreo participativo de la calidad del agua de los ríos Tingo-Maygasbamba, Hualgayoc-Arascorgue y Llaucano*. Lima. Perú. p. 10.
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). Informe técnico N° 005-2015. *Tercer monitoreo participativo de la calidad del agua superficial de la cuenca del río Llaucano*. Lima. Perú.
- Battarbee, R.W. (1986). Diatom Analysis; in: B.E Berglund (ed.) *Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology*, John Wiley and Sons, New York. 527-570.
- Bathurst, R., Zori, D. y Byock, J. (2010). Diatoms as bioindicators of site use: locating turf structures from the Viking Age. *Journal of Archaeological Science*, 37, 2920-2928.
- Bellinger, E. G. y Sigeo, D. C. (2010). Freshwater algae. *Identification and use as bioindicators*. 271.
- Bourrelly, P. (1985). *Les algues d' eau douce. Initiation a' la Systématique*. Tome III: Les Algues jaunes bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridieniens et Cryptomonadines. Ed. N. Boubée, Cie. París. p.606.
- Corzo, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Paráca, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima*. (Tesis de posgrado) Pontificia Universidad Católica del Perú. p.158.
- Da Costa, J. (2010). *Efeitos do cádmio nas proteínas da frústula de Nitzschia palea*. Universidade de Aveiro. Departamento de Biología. Brazil. p.42.
- Dziengo-Czaja, M, Koss, J y Matuszak, A. (2008). *Teratological forms of diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water pollution in the western part of Puck Bay (southern Baltic Sea)*. 37, 119-132.

- Dell'Uomo, A. (2004). *L'indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione (EPI-D) nel Monitoraggio delle acque Correnti: Linee Guida*. Roma. p.107.
- Franco, P. Sulca L y Cáceres C. (2007). *Contaminación Antropogénica de los Humedales de Ite*. Editorial. CYTED. Santiago de Chile. 339-352.
- Falasco E., Bona F., Badino G., Hoffman L., y Ector L. (2009). Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia*, 623, 1–35.
- Fernández A. (1999). *Manual de las diatomeas peruanas*. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- García J., Sarmiento L., Salvador M. y Rodríguez L. (2017). Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UGCiencia*, 23, 47-62.
- Hering, D. y Johnson, R. (2006). Assessment of European rivers with diatoms, macrophytes, invertebrates and fish: a comparative metric based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biol.*, 51, 1757–1785.
- Kelly, M. G. (1998). Use of the trophic diatom index to monitor eutrophication in rivers. *Water Research*, 32, 236–242.
- McLaughlin, R. B. (1988). Teratological forms. *The Microscope*, 36, 261–271.
- Metzeltin, D. y Lange-Bertalot H. (1998). *Iconographia Diatomologica*, 5. Tropical Diatoms of South America I: About 700 predominantly rarely known or new taxa representative of the neotropical flora. In: Lange-Bertalot, H. Stuttgart, Koeltz Scientific Books. 695.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2010). *Monitoreo participativo de la calidad del agua de los ríos Tingo-Maygasbamba, Hualgayoc-Arascorgue y Llaucano*. Perú. p.125.
- Ministerio de Salud (MINSAL), DIGESA. (2007). *Subcuenca del río Llaucano*. Cajamarca. Perú. p.32.
- Ministerio de Salud (MINSAL), DIGESA. (2011). *Evaluación de la calidad sanitaria de las aguas del río Llaucano y tributarios principales*. Perú. p.15.
- Mora, D., Carmona, J. y Cantoral, E. (2015). Diatomeas epilíticas de la cuenca alta del río Laja, Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1024-1040.
- Morin, S., Coste, P. y Hamilton, P. (2008). Scanning electron microscopy observations of deformities in small pennate diatoms exposed to high cadmium concentrations. *Journal of Phycology*, 44, 1512–1518.
- Morin, S., Cordonier, A., Lavoie, I., Arini, A., Blanco, S., Thuy-Duong, T., Torne's, E., Bonet, B., Corcoll, N., Faggiano, L., Laviale, M., Pérés F., Becares, E., Coste, M., Feurtet-Mazel, A., Fortin, C., Guasch, H. y Sabater, S. (2012). Consistency in diatom response to metal-contaminated environments. *Emerging and Priority Pollutants in Rivers, Handbook of Environmental Chemistry*, 19, 117-146.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2015). *Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental*. Perú. p.29.
- Olenici, A., Borrego-Ramos, M., Blanco, S., Momeu, L. y Baciu, C. (2016). *Assessment of the effect of heavy metals on benthic diatoms from Rosia Montana (Romania) by means of geometric morphometry*.
- Pandey, L., Kumarb, D., Yadava, A. y Gaur, J. (2013). Morphological abnormalities in periphytic diatoms as a tool for biomonitoring of heavy metal pollution in a river. *Ecological Indicators*, 36, 272-279.
- Patrick, R., Reimer, C. W. (1966). The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. 1. Fragilariaceae, Eunotiaceae, Achananthaceae, Naviculaceae. *Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. (13). Philadelphia. p.688.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M. y Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. Colombia*, 16(2), 66-77.
- Roldán, G. y Ramírez, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. p.442.
- Romero, Y., Lodeiros, C., Esclapés, M., Marín, N., Guevara, M. y Morales, E. (2002). Efecto tóxico del cadmio sobre microalgas aisladas del nororiente de Venezuela. *Rev. Interciencia*, 27, (3), 104-109.
- Round, F.E., Crawford, R. M. y Mann, D.G. (1990). *The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge. p.747.
- Streble, H., Krauter, D. (1987). *Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce*. Ediciones Omega. Barcelona, España. p.372.
- Sue, D. (2015). *Diatoms as indicators of ecological change in freshwater reservoirs of South East Queensland*. The University of Queensland. Australia, p.139.

- Van Dam, H., Mertens, A. y Sinkeldam, J. (1994). A code checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology*, 28(1), 117-133.
- Vera, G., Tam, J., Pinto, E. y Angulo, J. (2001). Efecto del cadmio sobre el crecimiento poblacional de la diatomea marina *Chaetoceros gracilis* schutt. *Revista peruana de Biología*, 8(1), 45-52.
- Zhou, Q., Zhabg, J., Fu, J., Shi, J. y Jiang, G. (2008). *Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem*. *Anal. Chim. Acta* 606. 135–150.