



Calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú): determinación mediante uso de diatomeas, 2012

Water quality of the river Sendamal (Celendin, Cajamarca, Peru):
determination by use of diatoms, 2012

Narda Alarcón-Rojas y Freddy Peláez-Peláez

Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo.
Trujillo. Perú

RESUMEN

En el propósito de determinar la calidad del agua del río Sendamal (Celendín, Cajamarca, Perú), se evaluaron parámetros físico-químicos y biológicos (diatomeas) en cinco estaciones de muestreo, en dos temporadas, seca (mayo) y húmeda (noviembre). Los resultados de los parámetros físico-químicos se vieron incrementados aguas abajo, sin embargo, no excedieron los ECA - CAT. III: "Riego de Vegetales y Bebida de Animales" (D.S.002 – 2008 MINAM), a excepción de fosfatos, nitratos, nitritos y pH. Estos últimos parámetros, también se vieron incrementados en la temporada húmeda, demostrando ligera contaminación orgánica, debido posiblemente a la cercanía de los cultivos y a las escorrentías formadas por las lluvias propias de la época; situación que se vio reflejada en los resultados del análisis del índice de diversidad de Shannon & Wiener H para especies de diatomeas, el cual evidenció que el agua presentaba una Contaminación "Imperceptible" y "Leve", con valores que varían de 2.423 y 3.300 bits cel⁻¹.

Palabras clave: Calidad de agua, Diatomeas, río Sendamal, Celendín (Perú).

ABSTRACT

In order to determine the water quality of the Sendamal River (Celendin, Cajamarca, Peru), some physical and chemical parameters were evaluated and biological (diatoms) in five sampling stations in two seasons, dry (May) and wet (November). The results of the physical and chemical parameters were increased downstream, however, not exceeded the ECA - CAT - III: Watering Plants and Animals drink " (DS 002 - 2008 MINAM), except phosphate, nitrate, nitrite and pH. These latter parameters were also increased in the wet season, showing slight organic pollution, possibly due to the proximity of crops and runoff formed by the rains own time, this situation was reflected in the results of the analysis of the index Shannon & Wiener diversity H' for species of diatoms, which showed that the water had a Pollution " Imperceptible " and " Mild " with values ranging from 2.423 and 3,300 bits cel⁻¹.

Keywords: Water quality, Diatoms, Sendamal River, Celendín (Peru).

INTRODUCCIÓN

Los ríos altoandinos en el Perú constituyen un componente muy importante de los recursos hídricos del Perú, siendo la fuente principal de alimentación de lagos, humedales, embalses y zonas agrícolas; asimismo, los ríos de los Andes cumplen un papel indispensable, ya sea en el mantenimiento natural de los ecosistemas o en la satisfacción de necesidades de las poblaciones ubicadas en sus cuencas¹.

No obstante, los andes vienen experimentando algunos de los más destructivos procesos originados por la intervención humana, la introducción del ganado vacuno y ovino y a la intensa actividad minera, a lo que se suma la implementación de una legislación medioambiental inadecuada, la misma que se acompaña de una débil gestión de la calidad ecológica de los recursos hídricos utilizados; por ello, la región altoandina representa uno de los ecosistemas más amenazados y menos gestionados adecuadamente en nuestro país¹.

Ante esta realidad, en los últimos tiempos se ha generado un creciente interés por conocer y conservar los ecosistemas acuáticos, estudiando sus cambios en el tiempo en base a procedimientos y parámetros no sólo físico-químicos, que reflejen la condición del momento de la toma de muestra, sino también a parámetros biológicos, que brinden una respuesta integradora con respecto a su medioambiente y a las fluctuaciones en la calidad del agua^{2,3,4,5}.

Esta complementariedad de los análisis biológicos ha sido recogida por la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE, D.M.A.⁶ y demanda la utilización de métodos biológicos para estimar la calidad de agua de los ríos, en base a estudios de algas (diatomeas), macrófitos, invertebrados y peces⁷. En efecto, las diatomeas son organismos muy usados como indicadores ambientales, pues representan más del 80% de las especies totales en una gran variedad de grupos taxonómicos, son cosmopolitas, fáciles de recolectar, preservar, y disponen de elementos estructurales en el frústulo de silicio que permiten una determinación a nivel de especie o variedad con un nivel de exactitud elevado^{4,8}. Asimismo, por su pequeño tamaño y elevada tasa de reproducción, responden sensible y rápidamente a cambios en su medio, causando variaciones en la composición de las especies, que favorecen a las más tolerantes en las nuevas condiciones⁴.

Sin embargo, los estudios de microalgas en el Perú no pasan de ser sólo referentes de la determinación de la calidad de agua, pues no son consideradas como herramientas en la caracterización de un ambiente acuático. Asimismo, la Ley de Recursos Hídricos (Ley 29338), y los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua (D. S. 002-2008-MINAM) establecen a los análisis físicos, químicos y microbiológicos (bacterias y protozoarios parásitos) como los indicadores de la calidad del agua en ecosistemas acuáticos⁹.

El Río Sendamal es una microcuenca ubicada en la provincia de Celendín (departamento de Cajamarca), exactamente en el territorio de los distritos de Sorochuco, Huasmín y Celendín, y su recurso es ampliamente utilizado por los pobladores de la zona para actividades como la agricultura y la ganadería; sin embargo, últimamente se encuentra en riesgo de ser afectado por el “Proyecto Minero Conga”; cuyas actividades podrían causar la degradación de sus aguas y de sus afluentes, afectando directamente a los pobladores^{10,11}. Por esta razón, en la presente investigación se buscó determinar la calidad de sus aguas, en el tramo de los distritos de Sorochuco y Huasmín, en la provincia de Celendín - Cajamarca, a fin de generar información básica que permita inferir sobre las alteraciones que pueda sufrir el recurso hídrico por parte de las actividades antropogénicas. Así también, obtener mejores herramientas para la gestión integral del río, que permita su uso sostenible.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

El río Sendamal, se ubica en la región de Cajamarca, en la Provincia de Celendín, nace en la unión de la quebrada San Idelfonso y otra que aún no tiene nombre, entre las coordenadas 17 M 0808788 y 9222542 a 3343 m.s.n.m., y tiene un amplio recorrido llegando a desembocar en el río Marañón por su margen derecha^{12,13,14} (Fig. 1).

Determinación de la calidad del agua

Se realizaron dos muestreos, en temporada seca y húmeda (mayo y noviembre del año 2012), en 05 estaciones de muestreo (EM), 3 de las cuales se ubicaron en el río Sendamal y 2 en los afluentes que lo forman; la selección de las EM se basó parámetros tales como la altitud, distancia e influencia de la actividad humana y accesibilidad determinada por la trama de caminos rurales existentes.

Parámetros físico – químicos

Siguiendo las recomendaciones emitidas en la Resolución Directoral N°: 2254/2007 DIGESA/SA, los parámetros evaluado fueron temperatura, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto, Nitratos, Nitritos, Fosfatos, Amonio, Color Verdadero y Aparente, Sólidos Totales Disuelto, Sulfatos, Cloruros, Alcalinidad y metales pesados (Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg y As. Cuyos resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental para agua - categoría III, Riego de Vegetales y Bebida de Animales.



Fig. 1.- Mapa de ubicación del área de estudio, Río Sendamal. Celendín – Cajamarca (Perú).

Evaluación de diatomeas:

Por cada estación de muestreo se colectaron 5 piedras de 10-20 cm del lecho del río bien iluminado y con corriente constante. La superficie superior de estas piedras fue cepillada en un área aproximada de 20 cm², completando un área total de 100 cm², este cepillado, se introdujo en un frasco con tapa hermética con 50 ml de agua de río. Este procedimiento se repitió 3 veces siempre siguiendo aguas arriba para evitar la contaminación de las muestras¹⁵.

Los frascos se etiquetaron y transportaron en refrigeración hacia el laboratorio, para el tratamiento respectivo. Se inició con 10 mL de muestra sometida a un proceso de oxidación con peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (30 vol.) para limpiar los frústulos y facilitar la identificación. Posteriormente se realizó un montaje definitivo, para lo que se usó una resina sintética, para la identificación de las diatomeas^{16,17,18} y conteo promedio de 400 valvas por cada muestra¹⁵.

La calidad del agua se determinó mediante los valores de diversidad de especies de diatomeas (índice de Shannon & Wiener H'), según el patrón establecido por Lobo & Kobayasi¹⁹.

Tabla 1.- Patrón de Calidad de agua, según Lobo & Kobayasi 1990.

| Índice de diversidad Shannon H' | CALIDAD DE AGUA |
|---------------------------------|---|
| 3 - 4 bits cel -1 | Contaminación imperceptible  |
| 2 - 3 bits cel -1 | Contaminación leve  |
| 1 - 2 bits cel -1 | Contaminación moderada  |
| 0 - 1 bits cel -1 | Contaminación severa  |

RESULTADOS

La mayoría de los parámetros físicos - químicos evaluados en el agua del río Sendamal, presentaron un ligero incremento aguas abajo, así mismo, similar patrón se observó en los muestreos, cuyos valores fueron mayores en el muestreo realizado en la temporada húmeda. Es así que, la temperatura, el pH, nitratos, nitritos y fosfatos se vieron aumentados en la época húmeda. Para el caso particular del amonio, se mantuvo imperceptible, con excepción de un ligero incremento en las estaciones SEND 03 y SEND 05 para la época húmeda.

Tabla 2.- Valores de los parámetros físico - químicos evaluados en época seca y húmeda (respectivamente) en el río Sendamal, 2012.

| PARAMETRO | UNIDAD | ECA - CAT. 3 | SEND 01 | SEND 02 | SEND 03 | SEND 04 | SEND 05 |
|------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| T° | °C | - | 12.4 - 14.5 | 11.8 - 14.6 | 10.7 - 12.8 | 13.30 - 13.6 | 14.30 - 15.7 |
| pH | Unidad de pH | 6.5 - 8.5 | 7.8 - 8.74 | 7.34 - 8.7 | 7.35 - 8.50 | 7.84 - 8.63 | 7.02 - 8.67 |
| Conductividad | µS/cm | < 2000 | 236 - 318 | 250 - 317 | 251 - 321 | 194 - 225 | 238 - 258 |
| Nitratos | mg/L | 10 | 0.0 - 13.29 | 0 - 11.96 | 0 - 13.73 | 0 - 8.86 | 1.33 - 6.20 |
| Nitritos | mg/L | 0.06 | 0.0 - 0.07 | 0 - 1.97 | 0 - 0.03 | 0 - 0.07 | 0.03 - 0.07 |
| Oxígeno Disuelto | mg/L | ≥4 | 9.8 - 11.0 | 7.7 - 10.9 | 6.9 - 11.0 | 11.0 - 11.0 | 11.0 - 11.0 |
| Fosfatos | mg/L | 1 | 0.9 - 2.7 | 1.2 - 1.6 | 0.7 - 3.3 | 1.7 - 5.20 | 1.90 - 2.4 |
| Amonio | mg/L | - | 0 - 0 | 0 - 0 | 0 - 0.12 | 0.00 - 00 | 0 - 0.32 |
| Color aparente | UPC | - | 48 - 87 | 46 - 61 | 41 - 137 | 51 - 289 | 53 - 204 |
| Color verdadero | UPC | - | 38 - 41 | 30 - 33 | 56 - 66 | 79 - 114 | 73 - 92 |

Referente a las diatomeas encontradas en el río Sendamal para las épocas seca y húmeda del año 2012, se registraron 62 especies repartidas en 14 Familias, correspondientes a 9 Órdenes, tales como Melosirales, Tabellariales, Fragilariales, Achnanthesales, Thalassiosiphales, Naviculales, Cymbellales, Bacillariales y Surirellales; de los cuales los órdenes Naviculales y Cymbellales fueron los más abundantes.

En la época Seca se encontraron 8 órdenes, 13 familias y 19 géneros que agruparon a 54 especies reconocidas, mientras que para la época húmeda, se registró 9 órdenes, sumándose a ésta lista el orden Melosirales, por lo que se presentó a su vez 14 familias y 60 especies.

En el listado se encontraron especies que residieron en las diferentes estaciones de muestreo, tal es el caso de: *Ulnaria ulna*, *Planothidium frequentissimum*, *Karayevia oblongella*, *Achnanthes minutissimum*, *Achnanthes saprophilum*, *Achnanthes straubianum*, *Cocconeis pseudolineata*, *Cocconeis lineata*, *Navicula antonii*, *Navicula cryptocephala*, *Encyonema minutum*, *Reimeria sinuata*, *Reimeria uniseriata*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema saprophilum*, *Grunowia solgensis*, *Nitzschia palea* var. *Debilis*; mientras que, especies como: *Frustulia vulgaris*, *Gyrosigma scalproide*, *Cymbella excisa* var. *procera*, *Gomphonema capitatum*, *Gomphonema truncatum* y *Surirella angusta*, fueron menos frecuentes y abundantes en los muestreos.

Tabla 3.- Abundancia de Diatomeas evaluadas en época seca y húmeda (respectivamente) en el río Sendamal, 2012.

| ESPECIE | SEND 01 | | SEND 02 | | SEND 03 | | SEND 04 | | SEND 05 | |
|-------------------------------------|---------|-----|---------|----|---------|-----|---------|----|---------|----|
| | ES | EH | ES | EH | ES | EH | ES | EH | ES | EH |
| <i>Melosira varians</i> | | | | | | 5 | | 2 | | 1 |
| <i>Tabellaria flocculosa</i> | | | 2 | 2 | | | 1 | | | 2 |
| <i>Fragilaria arcus</i> | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | | | | 1 | |
| <i>Fragilaria capucina</i> | | 2 | 2 | | 5 | | | | | 3 |
| <i>Fragilaria vaucheriae</i> | | | 3 | | 1 | | 8 | 4 | 1 | 2 |
| <i>Ulnaria ulna</i> | 2 | 4 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | | 1 | 7 |
| <i>Planothidium biporum</i> | | | | | 4 | | 7 | | 4 | 4 |
| <i>Planothidium frequentissimum</i> | 3 | 2 | 4 | | 2 | 5 | 31 | 9 | 15 | 9 |
| <i>Planothidium lanceolatum</i> | 4 | | 1 | | | | 7 | 8 | 3 | 7 |
| <i>Karayevia oblongella</i> | 18 | 20 | 27 | 7 | 23 | 33 | 49 | 27 | 52 | 31 |
| <i>Achnanthes catenatum</i> | | 18 | | 3 | | 22 | 10 | 19 | 26 | 4 |
| <i>Achnanthes minutissimum</i> | 111 | 116 | 56 | 68 | 60 | 120 | 89 | 96 | 101 | 51 |
| <i>Achnanthes saprophilum</i> | 56 | 15 | 21 | 10 | 33 | 9 | 24 | 4 | 23 | |
| <i>Achnanthes straubianum</i> | 17 | 7 | 10 | 1 | 6 | 17 | 23 | 3 | 10 | 3 |
| <i>Achnanthes sp.</i> | 7 | 2 | | | 4 | | | | | |
| <i>Achnanthes trinoidis</i> | | | 4 | | 3 | | | | 3 | 1 |
| <i>Halamphora montana</i> | 1 | 1 | | | 1 | 2 | | | | |
| <i>Cocconeis pseudolineata</i> | 3 | 2 | 2 | 7 | 72 | 8 | 11 | 3 | 26 | 7 |
| <i>Cocconeis lineata</i> | 3 | 8 | 4 | 5 | 46 | 5 | 10 | 8 | 16 | 17 |
| <i>Frustulia vulgaris</i> | | | 1 | | | 2 | | 2 | | 7 |
| <i>Gyrosigma acuminatum</i> | | | | | | | | | | 6 |
| <i>Gyrosigma scalproides</i> | | 3 | 1 | | | | | | | 2 |
| <i>Navicula trivialis</i> | 1 | | 4 | | | 1 | | | | 3 |
| <i>Navicula tripunctata</i> | 0 | | 4 | | | | 1 | 2 | 1 | |
| <i>Navicula antonii</i> | 7 | 11 | 32 | 11 | 10 | 35 | 4 | 38 | 8 | 46 |
| <i>Navicula cryptocephala</i> | 1 | 10 | 8 | 26 | 6 | 26 | | 27 | 8 | 67 |
| <i>Navicula veneta</i> | 4 | 8 | 26 | 7 | 15 | 17 | | | 1 | |
| <i>Navicula cryototenella</i> | 3 | 6 | 8 | | 3 | | | | 2 | |
| <i>Encyonema minutum</i> | 18 | 22 | 19 | 5 | 4 | | 1 | 3 | 3 | 5 |
| <i>Encyonema silesiacum</i> | 9 | 6 | 3 | | | | | | | 1 |
| <i>Encyonema lange - bertalotii</i> | 6 | 6 | 3 | 3 | | 1 | | | 1 | 1 |
| <i>Encyonema ventricosum</i> | 5 | 21 | 10 | 8 | 6 | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Cymbella affinis</i> | | | | | 1 | | 1 | | | |
| <i>Cymbella excisa</i> | 3 | | 4 | 3 | | | | | 1 | |
| <i>Cymbella excisa</i> var. <i>Procera</i> | | | 9 | 48 | | | | | | |
| <i>Cymbella lange - bertalotii</i> | | 4 | | 1 | | | | | | |
| <i>Cymbella</i> sp. | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 2 |
| <i>Reimeria sinuata</i> | 51 | 18 | 8 | 34 | 13 | 15 | 87 | 7 | 32 | 10 |
| <i>Reimeria uniseriata</i> | 24 | 26 | 6 | 68 | 8 | 14 | 17 | 2 | 23 | 13 |
| <i>Gomphonema rhombicum</i> | 1 | 7 | 2 | 10 | 1 | | 3 | | | |
| <i>Gomphonema olivaceum</i> | 3 | 2 | 3 | 16 | 2 | | | | | |
| <i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>elegans</i> | | 9 | 1 | 9 | 1 | 1 | | 5 | | |
| <i>Gomphonema capitatum</i> | 1 | 1 | 1 | | | | | | | |
| <i>Gomphonema clavatum</i> | | | | 2 | | 1 | | | | |
| <i>Gomphonema saprophilum</i> | 2 | 3 | 11 | 8 | 2 | | 7 | 7 | 1 | |
| <i>Gomphonema exilissimum</i> | 1 | | 2 | 2 | 1 | | | 34 | | 3 |
| <i>Gomphonema lagenula</i> | 1 | 2 | 4 | | 2 | 5 | | | 1 | |
| <i>Gomphonema parvulum</i> | 2 | 3 | 6 | 5 | 2 | 9 | | 22 | 11 | 4 |
| <i>Gomphonema truncatum</i> | | | | 1 | | | | | | |
| <i>Gomphonema</i> sp. | | | 1 | 2 | | 1 | | | | |
| <i>Grunowia solgensis</i> | 5 | 13 | 6 | 6 | 9 | 13 | 2 | | 17 | 9 |
| <i>Nitzschia umbonata</i> | 9 | | 8 | | 2 | 2 | | 4 | 0 | 7 |
| <i>Nitzschia linearis</i> | | 5 | 6 | | 2 | 2 | | | 3 | 12 |
| <i>Nitzschia palea</i> var. <i>Debilis</i> | | 1 | | 5 | 1 | 13 | 1 | 48 | 2 | 16 |
| <i>Nitzschia filiformis</i> | 5 | 4 | 5 | 1 | 2 | 1 | | 10 | | |
| <i>Nitzschia dissipata</i> | | | | | | 8 | | 4 | | 14 |
| <i>Nitzschia tenuis</i> | | | | | | 3 | | 2 | | |
| <i>Surirella angusta</i> | 1 | | 13 | | 4 | | | | 2 | 13 |
| <i>Surirella brevissonii</i> | 9 | 4 | 36 | 8 | 33 | 2 | 4 | | 0 | 8 |
| Sp.1 | 1 | 5 | 1 | | 1 | | 1 | | 1 | 1 |
| Sp.2 | 0 | | 2 | | 5 | | | | | |
| Sp3 | | | | | | | | | | 1 |

ES: Época seca EH: Época húmeda

El análisis del índice de diversidad de Shannon & Wiener H', reveló que la diversidad es alta, valores que según Lobo & Kobayasi 1990, determinan que en la época seca las estaciones de muestreo SEND 01, SEND 03, SEND 04 Y SEND 05 presentan una Contaminación Leve, en tanto que en SEND 02 hay Contaminación imperceptible. Para la época húmeda, las estaciones de muestreo de SEND 01 a SEND 04, presentaron contaminación leve, a diferencia de la estación de muestreo SEND 05, donde hallamos un ecosistema imperceptiblemente alterado.

Tabla 4: Clasificación del agua del río Sendamal según el índice de diversidad de Shannon & Wiener H' para diatomeas.

| ESTACIÓN DE MUESTREO | ÉPOCA SECA | | ÉPOCA HÚMEDA | |
|----------------------|------------|---|--------------|---|
| SEND 1 | 2.657 |  | 2.927 |  |
| SEND 2 | 3.300 |  | 2.839 |  |
| SEND 3 | 2.848 |  | 2.681 |  |
| SEND 4 | 2.423 |  | 2.655 |  |
| SEND5 | 2.654 |  | 3.011 |  |

DISCUSIÓN

Los parámetros físico químicos evaluados, revelaron una ligera alteración en los niveles de fosfatos y de conductividad, los mismos que se acentuaron aguas abajo de las EM, por otro lado, valores normales de nitrógeno en sus formas de nitrato y nitrito se presentaron en época seca, pero, en época húmeda se incrementaron considerablemente, siendo SEND 01, SEND 02 y SEND 03 las EM que presentaron valores por encima del ECA para la categoría III (10 mg/L), escenario que pudo ser desencadenado por las intensas lluvias (que ocurren en esta época) y por la actividad agrícola, con la aplicación de fertilizantes, y ganadería así como efluentes domésticos^{20,21,22}. Esta situación coincide con el incremento notable de los sólidos en suspensión, llegando a 354.00 mg/L y 427.31 mg/L en época húmeda, ya que las avenidas por lluvias arrastran substratos producto de la erosión y las escorrentías²³. A raíz de estos resultados se puede decir que las condiciones de calidad del agua del río Sendamal, sigue el patrón de las precipitaciones, las cuales son responsables de arrastrar sedimentos desde fuentes difusas como tierras agrícolas y forestales, estableciéndose una correlación entre carga de nutrientes desde el área de drenaje y el volumen de agua caída, asociada a características de infiltración, permeabilidad del suelo y otros parámetros hidrológicos²¹.

Para el caso del oxígeno disuelto, los valores encontrados son elevados ya que cumple con los ECA, condición general que favorece el desarrollo de una imponente comunidad de algas, macrófitas y briófitas importantes²⁴. Es así que en la presente investigación la diversidad de diatomeas epilíticas alcanzo las 62 especies, 9 Órdenes y 14 Familias. Los géneros *Gomphonema*, *Nitzschia* y *Navicula*, tienen una mayor riqueza con 11, 6 y 6 especies respectivamente; no obstante, al comparar dicha cifra con datos de otras investigaciones (178 especies en el río Lerma, o 92 especies en el río Sauce Grande-Argentina, e incluso con los 77 taxas en el río Locumba-Tacna^{9,25}, se observa una baja riqueza de especies, que puede obedecer a que el gradiente ambiental del río estudiado puede presentar un bajo grado de mineralización, factor importante para la formación de las comunidades de Diatomeas¹.

Del total de diatomeas reconocidas, los géneros *Nitzschia*, *Gomphonema* y *Navicula* están usualmente asociadas con ecosistemas contaminados, con una fuerte correlación con una contaminación orgánica²⁶, específicamente *Gomphonema parvulum* y *Nitzschia palea*, que se han encontrado en la zona de estudio, estas se relacionan a áreas de escorrentía de terrenos agrícolas o con altas concentraciones de nitratos y fosfatos²⁵, siendo evidente en el muestreo realizado en época húmeda, pues la abundancia de estas especies incrementa en las EM SEND 03, SEND 04 y SEND 05, donde a su vez se han detectado niveles elevados los parámetros antes mencionados. Por otra parte, *Melosira varians* se desarrolla fácilmente bajo condiciones eutrofizadas²⁷, es decir con niveles elevados de nutrientes, es por ello que se han encontrado individuos de esta especie en las EM SEND 03, SEND 04 y SEND 05, donde los niveles de contaminantes orgánicos son considerable.

Otros estudios consideran a otras especies de diatomeas como indicadoras de una condición saprobia, por ser constantes en situaciones de contaminación orgánica; específicamente, *Amphipleura lindheimeri*, *Fragilaria ulna* (*Ulnaria ulna*), *Navicula cryptotenella*, *Nitzschia amphibia*, *Nitzschia nana*, *Sellaphora pupula*²⁸, de las cuales en nuestra área de estudio sólo se encuentra a *Ulnaria ulna* (*Fragilaria ulna*), *Navicula cryptotenella* aunque vale destacar que no se encontraron en gran abundancia. En cambio, *Gomphonema parvulum* es una especie tolerante a estas condiciones, es por ello que fue más abundante en la época húmeda, especialmente en la EM SEND 02.

Adicionalmente a los datos de abundancia y ocurrencia de especies de diatomeas, se evaluó el índice de diversidad Shannon & Wiener H', pues éste resulta ser muy útil para predecir las condiciones de calidad de los ecosistemas acuáticos³; considerando que las diferencias en las abundancias de especies, la organización espacial de la comunidad y el grado de contaminación; pues los valores elevados de diversidad, representarían ecosistemas altamente organizados y una mayor complejidad estructural de la taxocenosis y, por consecuencia, una mayor estabilidad y menor alteración por contaminación, mientras que, los valores bajos de diversidad se han asociado con un aumento de las condiciones tróficas del

sistema²¹, o también podría significar que la comunidad se encuentra en una etapa transicional representada por los valores máximos y mínimos de diversidad, lo cual denotaría cierto grado de inestabilidad o alternancia de especies⁴. Para el área de estudio, se determinó que el índice de diversidad de Shannon & Wiener H' oscila entre 2.423 cel bits⁻¹ y 3.3 cel bits⁻¹, señalando que la calidad del agua presentan una Contaminación Leve (SEND 02 en época seca y SEND 05 en época húmeda) y Contaminación imperceptible en las EM restantes; es decir, la calidad del agua del río Sendamal según el índice de diversidad de diatomeas es aceptable.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos reconocer que el empleo de las diatomeas epipélicas resulta apropiado para la evaluación y monitoreo de la calidad del agua de sistemas lóticos, como los ríos de los Andes del Perú, ya que suministran información con respecto a su medioambiente y a las fluctuaciones en la calidad del agua, los cuales no son detectados por análisis químicos intermitentes; así mismo las diatomeas precisan polución a corto término, permitiendo advertir la presencia de factores de estrés ambiental (metales pesados) a partir de la observación de deformaciones de las valvas⁴. No obstante, se ha indicado que las diatomeas tienen una correspondencia evidente y cuantificable con las variables ambientales, siendo más relevantes las físicas y químicas respecto a las hidrológicas, lo que las evaluaciones de diatomeas se tienen que complementar con los parámetros físico-químicos, que brinden un conocimiento de las condiciones actuales del cuerpo de agua¹.

CONCLUSIONES

- Los resultados de los parámetros físicos - químicos, han evidenciado que el agua del río Sendamal y sus afluentes, cumple con los ECA - CAT. III: “Riego de Vegetales y Bebida de Animales” (D.S.002 – 2008 MINAM), para la mayoría de parámetros, a excepción de fosfatos, nitratos, nitritos y pH, los mismo reflejan una ligera contaminación orgánica.
- En el río Sendamal y sus afluentes que lo forman, se encontraron 62 Especies de Diatomeas repartidas en 14 Familias, correspondientes a 9 Órdenes.
- Los parámetros comunitarios de diatomeas del río Sendamal y sus afluentes que lo forman, indican que el índice de diversidad de Shannon & Wiener (H') oscila entre 2.423 y 3.3, lo que determina una calidad de agua con “Contaminación Imperceptible” a “Contaminación Leve”, en ambas épocas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Díaz C, Rivera C. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia*, 2004; 26(2): 381-394
2. Alba-Tercedor J. Un Método Rápido y Simple Para Evaluar la Calidad Biológica de las Aguas Corrientes Basado en el de Hellowell (1978). *Limnética*, 1988; 4: 51-56
3. Norris R, Hawkins C. Monitoring river health. *Hydrobiologia*, 2000; 435: 5-17
4. Licursi M, Gómez N. Aplicación de Índices Bióticos en la Evaluación de la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos de la Llanura Pampeana Argentina a Partir del Empleo de Diatomeas. En: Ringuet R. (ed), *Biología Acuática N° 21. Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos en el Monitoreo de Sistemas Lóticos Bonaerenses*. Instituto de Limnología. UNLP-CONICET. 2003.
5. Herrera M. Guía para Evaluaciones Ecológicas Rápidas con Indicadores Biológicos en Ríos de Tamaño Mediano Talamanca - Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. 2005
6. E. C. European Commission. Overall approach to the Classification of the Ecological Status and Ecological Potential. Water Framework Directive. Common Implementation Strategy. Working Group 2A. Ecological Status (ECOSTAT). November, 2003
7. Puntí T, Prat N. Evaluación del Estado Ecológico de un Río Mediterráneo: El Ripoll. Departamento de Ecología, Universidad de Barcelona. 2002

8. Gómez N, Rodrigues A. Programa de Monitoreo Integrado de Calidad de Agua Superficial y Sedimentos de la Cuenca Matanza-Riachuelo y del Río de la Plata y Sistematización de la Información Generada. Instituto de Limnología Dr. R.A. Ringuelet. Argentina. 2010
9. Calizaya A, Avendaño J, Delgado M. Evaluación de la calidad del agua fluvial con diatomeas (*Bacillariophyceae*), una experiencia en Tacna, Perú. Rev Peru Med Exp Salud Pública, 2013; 30(1): 58-63.
10. Alcántara F. Monitoreo Hidrico Superficial de los Afluentes del Río Sendamal en el Distrito de Hueasmín. Tesis de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Perú. 2009.
11. Piésold K. Proyecto Conga: Estudio de Impacto Ambiental Resumen Ejecutivo Minera Yanacocha S.R.L. 2010.
12. GRC. Gobierno Regional de Cajamarca. Zonificación Ecológica y Económica Base Para el Ordenamiento Territorial del Departamento de Cajamarca. 2011
13. Montoya E, Figueroa G. Geografía de Cajamarca. Volumen II. 1991.
14. Sánchez P. Lineamientos para la Política Regional de Medio Ambiente. Primera edición. Imprenta Visual Servis. Cajamarca. 2006
15. C.H.E. Confederación Hidrológica del Ebro. Metodología Para el Establecimiento del Estado Ecológico Según la Directiva Marco del Agua en la Confederación Hidrológica del Ebro. Protocolos de Muestreo y Análisis Para Fitoplancton, Fitobentos (Microalgas Bentónicas y Macrofitas), Invertebrados Bentónicos e Ictiofauna. 2004
16. Smith G. The Fresh-Water algae of the United States. 2da ed. USA: Mc Graw-Hill. 1950
17. Margalef R. Limnología. Barcelona: Edit. Omega. 1983
18. Fernández A. Manual de las Diatomeas Peruanas. U.N.T. Hortus Botanicus Truxillense. 1999
19. Lobo E, Kobayasi H. Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakawa River System (Kanagawa Pref., Japan) and its use as an indicator of water quality. Jpn J Phycol (Sorui). 1990; 38:229-43.
20. Córdova S, Gaeteel H, Aránguiz F, Figueroa R. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Departamento de Biología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso. Lat Am J Aquat Res. 2009; 37(2): 199-209.
21. Margalef R. Limnología. Teoría de los ecosistemas ecológicos. Publicaciones Universitarias de Barcelona. Barcelona. 1993
22. Medina C. Estado Ecológico del Río CHICAMA. Regiones. La Libertad y Cajamarca. Perú. 2006". Tesis de Doctor en Medio Ambiente. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 2007
23. Sabater S, Sabater S, Armengol J. Ecología de ríos mediterráneos. Invest y Cienc. 1993; 72-79.
24. Acosta C. Estudio de la Cuenca Altoandina del Río Cañete (Perú): Distribución Altitudinal de la Comunidad de Macroinvertebrados Bentónicos y Caracterización Hidroquímica de sus Cabeceras Cársticas. Memoria de título de Doctor por la Universidad de Barcelona. 2009
25. Segura V, Cantoral I, Maidana N. Epilithic diatoms (Bacillariophyceae) as indicators of water quality in the Upper Lerma River, Mexico. Hidrobiológica 2012; 22(1): 16-27.
26. Goncalves, V, Raposeiro P, Costa A. Benthic diatoms and macroinvertebrates in the assessment of the ecological status of Azorean streams. Limnetica 2008; 27(2): 317-328.
27. Armitage P, Moss D, Wright J, Furse M. The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. Water Res 1983; 333-347.
28. ACP-UP. Autoridad del Canal de Panamá - Universidad de Panamá. Diatomeas del Canal de Panamá: Bioindicadores Y Otros Estudios Pioneros. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología Departamento de Botánica y Centro de Ciencias del Mar y Limnología. 2012