

EL USO DE LAS DIATOMEAS (*BACILLARIOPHYCEAE*) COMO POTENCIALES HERRAMIENTAS EN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL

USE OF DIATOMS (*BACILLARIOPHYCEAE*) AS POTENTIAL TOOLS FOR SURFACE WATER QUALITY MANAGEMENT

CALIZAYA A. J.

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el uso potencial de las diatomeas como bioindicadoras de la calidad del agua superficial en la cuenca del río Locumba, Tacna-Perú, se tomaron muestras de agua y perifiton epilítico de diez estaciones preestablecidas en la cuenca del río Locumba, durante seis periodos en un ciclo anual. Se consideraron once parámetros fisicoquímicos y 77 especies de diatomeas en la realización de un análisis de correspondencia canónica con el fin de determinar la correlación entre las diatomeas y los parámetros ambientales. Además, los análisis cuantitativos de especies de diatomeas indican una disminución de la diversidad y abundancia relativa de las especies sensibles, conforme se incrementa el gradiente de contaminantes, e incremento de especies tolerantes a fuertes niveles de perturbación ambiental. Se sugiere que las diatomeas pueden ser adecuados bioindicadores al momento de evaluar la calidad de agua en esta cuenca.

Palabras clave: limnología, agua de río, caudal de agua de río, ecosistema, ribera, ecología, diatomeas, bioindicadores.

ABSTRACT

In order to evaluate the potential use of diatoms as bioindicators of surface water quality in the Locumba river basin, Tacna (Peru) samples of water and epilithic periphyton were made from 10 stations in the Locumba river basin for six periods in an annual cycle. Eleven physicochemical parameters and 77 species of diatoms were considered in the performance of a canonical correspondence analysis in order to determine the correlation between diatoms and environmental parameters. Besides the quantitative analysis of diatom species the analysis indicates a decrease in the diversity and relative abundance of sensitive species, as the gradient of pollutants increases, so does the number of species that are tolerant to high levels of environmental disturbance. We suggest that diatoms may be appropriate bioindicators when evaluating water quality in this basin.

Keywords: limnology, river water, river water flow, ecosystem, riverbank, ecology, diatoms, bioindicators.

Introducción

Las diatomeas son microalgas de pared celular constituida de sílice ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y que se desarrolla en todas las fuentes naturales de agua. Las ornamentaciones que presenta en la pared celular son de mucha importancia en su identificación taxonómica. Su utilización como bioindicadores en la gestión de la calidad del agua superficial es muy difundida en varios países, debido a su respuesta inmediata frente a estresores ambientales. Por el contrario, en nuestro país son pocos los trabajos que

buscan esta relación (Tapia, 2008) y (Yucra y Tapia, 2008), lo cual limita el desarrollo de esta tecnología y su aplicación.

En la cuenca Locumba, lugar donde se desarrolla la investigación, existe actividad minera, industrial, agrícola-pecuaria, desarrollo urbano y turismo. De estas actividades, los vertimientos de aguas residuales domésticas con y sin tratamiento son los principales contaminantes en la parte media y baja de la cuenca.

Estos impactos generan una gradiente de polutantes en la dimensión longitudinal de los ríos, los cuales

muestran variaciones en sus concentraciones a intervalos cortos de tiempo y de escalas espaciales (River-Rondón y Díaz-Quirós, 2004). En la actualidad, para su determinación, se hace uso de equipos sofisticados que solo reflejan la condición del momento de la toma de muestra y no determina el grado de afectación a la integridad del río. Para asistir a esta deficiencia, el presente trabajo plantea el uso de las diatomeas en su rol de bioindicadores, tal como lo propone la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea (Directiva 2000/60/CE). La propuesta de la DMA se basa en la respuesta integradora de estos organismos a los cambios en la calidad del ambiente acuático a una escala mayor de tiempo y espacio, así también por su sensibilidad a factores estresantes que los análisis de calidad de agua tradicionales no detectan (Della Bell, Puccinelli y Marcheggiani, 2007).

El objetivo de esta investigación es evaluar el uso de las diatomeas como potenciales herramientas en la determinación de la calidad del agua en la cuenca Locumba, mediante el análisis de la relación estadística entre las comunidades de diatomeas y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

Materiales y métodos

En la cuenca Locumba ubicada en la hidroecoregión de la vertiente del Pacífico andino central (Figura 1), tiene una extensión de 5,742.34 km² en la cual se consideraron diez estaciones de muestreo: manantial Chaullapujo (4,548 msnm), arroyo Tacalaya (4,383 msnm), río Callazas (2,857 msnm), río Salado (2,833 msnm), filtración Curibaya (2,419 msnm), río Ilabaya (1,092 msnm), puente Locumba (582 msnm), desagüe Locumba (562 msnm), puente Panamericana (402 msnm) y desagüe Leche Gloria (396 msnm). Cada estación fue evaluada en seis oportunidades durante un ciclo anual. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se realizaron bajo métodos estandarizados (APHA, AWWA y WPCF, 1992) fueron: coliformes totales (Colif_Tot), sólidos totales en suspensión (STs), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), arsénico (As), cloruro de sodio (NaCl), temperatura, turbidez, conductividad, dureza total y pH. En cuanto al análisis de las diatomeas, las muestras se obtuvieron a partir del raspado superficial de rocas presentes en el lecho del río (perifiton epilítico). Por cada estación se rasparon por triplicado áreas de 5 a 10 cm² por roca con un cepillo dental. Las muestras fueron conservadas para su transporte en formol al 4%, en frascos herméticos de 100 ml, con pH neutro, debidamente etiquetados con fecha y lugar de muestreo (Kelly, Cazaubon, Coring, Dell'Uomo, Ector, y Goldsmith, 1998). Para la identificación de las diatomeas, se oxidaron las muestras con doble proporción de peróxido de hidrógeno

hasta la ebullición. Posteriormente se preparó una lámina permanente con la resina sintética Zrax (I. R. > 1.7), para ser observada a un aumento de 1600x en un microscopio Leica DME de 1.25 de apertura numérica. Para la identificación se utilizaron claves taxonómicas especializadas (Krammer y Lange-Bertalot, 1986), (Krammer y Lange-Bertalot, 1988), (Krammer y Lange-Bertalot, 1991a), (Krammer y Lange-Bertalot, 1991b), (Rumrich, Lange-Bertalot y Rumrich, 2000 y Prygiel y Coste, 2000). Se realizó un conteo promedio de 400 valvas por cada muestra. En cuanto a los análisis estadísticos multivariados, estos se realizaron con el software CANOCO (v. 4.5, 2002). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para establecer los gradientes ambientales que causan la mayor variabilidad del set de datos. Para esto, los parámetros ambientales fueron normalizados mediante escores normales. Con el objeto de establecer la significancia de la relación entre las diatomeas y las variables fisicoquímicas y microbiológicas se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC) con procedimiento Forward Selection y test de Monte Carlo (999 permutaciones, $\alpha = 0.05$). Las variables utilizadas presentaron un bajo coeficiente de correlación (inflación < 10%), así también se excluyeron las diatomeas cuya abundancia relativa por muestra fue menor al 1%.

Resultados

Análisis fisicoquímicos:

Según la Tabla 1 los valores promedio de las variables físicas, químicas y microbiológica se incrementan de acuerdo al descenso altitudinal a excepción del pH que fue mayor en SA e YL. El pH se correlacionó con los sólidos totales en suspensión ($r=0.65$; $p<0.05$). La temperatura con la dureza ($r=0.73$; $p<0.05$), la demanda química de oxígeno ($r=0.69$; $p<0.05$) y con la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ ($r=0.73$; $p<0.05$). Los sólidos totales en suspensión con la turbidez ($r=0.84$; $p<0.05$). El arsénico con la salinidad ($r=0.89$; $p<0.05$). La salinidad con la dureza ($r=0.71$; $p<0.05$), con la demanda bioquímica de oxígeno ($r=0.76$; $p<0.05$). Los coliformes totales con la dureza ($r=0.64$; $p<0.05$). La dureza con la conductividad ($r=0.83$; $p<0.05$), la demanda química de oxígeno ($r=0.85$; $p<0.05$) y la demanda bioquímica de oxígeno ($r=0.84$; $p<0.05$). La conductividad con la demanda química de oxígeno ($r=0.85$; $p<0.05$) y por último la demanda química de oxígeno con la demanda bioquímica de oxígeno ($r=0.86$; $p<0.05$).

Composición especiológica de diatomeas:

Las diatomeas se distribuyen de acuerdo a la gradiente altitudinal, espacial y de impactos originada por actividades antrópicas. Se identificaron 77 taxa de 59 muestras colectadas, los géneros más diversos fueron Nitzschia (19) y

TABLA 1

VALORES PROMEDIO DE VARIABLES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICA CUANTIFICADAS EN LA CUENCA LOCUMBA

	MANANTIAL CHAULLAPUJO (CH)	ARROYO TACALAYA (TA)	RÍO CALLAZAS (CA)	RÍO SALADO (SA)	FILTRACIÓN CURIBAYA (CU)	RÍO LABAYA (YL)	PUENTE LOCUMBA (PL)	DESAGÜE LOCUMBA (DL)	PUENTE PANAMERICANA (PP)	DESAGÜE LECHE GLORIA (LG)
Coordenadas sexagesimales	16°52'7" S; 70°23'34" O	17°3'45" S; 70°24'42" O	17°19'52" S; 70°13'24" O	17°19'45" S; 70°14'7" O	17°22'47" S; 70°20'3" O	17°28'31" S; 70°32'33" O	17°37'4" S; 70°45'40" O	17°37'7" S; 70°45'50" O	17°41'6" S; 70°50'32" O	17°41'20" S; 70°50'27" O
pH (pH)	8.0	8.4	8.2	8.5	8.4	8.5	8.4	8.4	8.3	8.0
Temperatura (Temper)	11.65	10.1	11.8	11.8	16.4	23.7	25.15	24.6	20.32	19.8
Sólidos totales en suspensión (STS)	0.4	10.7	10.3	10.4	6.4	19.0	18.9	24.3	2.8	3.9
Arsénico (As)	0.02	0.02	0.19	0.54	0.21	0.04	0.26	0.23	0.22	0.33
Salinidad (NaCl)	5.65	6.76	97.23	342.39	179.9	111.6	192.46	194.63	252.15	339.01
Coliformes totales (Colif_tot)	3.7	41.9	28.2	70.5	103.2	318.6	0.2X10 ⁴	1.1X10 ⁴	348.0	9.2X10 ⁴
Turbidez (Turb)	0.3	7.7	9.2	4.5	0.5	33.0	18.0	17.9	1.5	1.9
Dureza (Dureza)	39.4	145.7	366.9	306.5	391.8	515.8	523.3	524.9	570.0	805.1
Conductividad (Conduct)	2.3	2.4	4.5	2.4	3.3	3.4	3.7	3.5	4.1	5.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	14.7	17.5	29.5	18.7	21.0	23.8	31.8	34.3	35.8	34.7
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	5.3	5.8	9.3	12.3	9.8	9.6	16.5	19.5	15.5	18.5

Navicula (7). En cuanto al número de especies, estas se distribuyeron de la siguiente manera: En CHA se determinaron 14 especies, en TA 40 especies, en SA 30 especies, en CA 22 especies, en CU 22 especies, en YL 19 especies, en PL 12 especies, en DL 14 especies, en PP 14 especies y en LG 13 especies. En cuanto a las especies de mayor abundancia relativa (Figura 2) y más frecuentes, Estas se distribuyeron de la siguiente manera: en CHA: *Diatoma mesodon*, *Nitzschia inconspicua*, *Achnanthes minutissima*, *Encyonema sp1*, *Achnanthes subatomoides* y *Fragilaria capucina var. vaucheriae*; en TA: *A. minutissima*, *F. capucina var. vaucheriae*, *Planothidium lanceolatum*, *Ulnaria ulna*, *Navicula lanceolata*, *Nitzschia pumila*, *Cocconeis placentula*, *Navicula minuscula*, *Navicula saprophila*, *N. inconspicua* y *Rhoicosphenia abbreviata*; en SA: *N. inconspicua*, *Nitzschia paleacea*, *Navicula ingapirca*, *Nitzschia palea*, *P. lanceolatum*, *F. capucina var. vaucheriae* y *Nitzschia sp cf bergii*; en CA: *N. inconspicua*, *F. capucina var. vaucheriae*, *N. paleacea*, *N. palea*, *N. ingapirca*, *P. lanceolatum*, *Nitzschia chungara*, *N. saprophila* y *N. lanceolata*; en CU: *N. inconspicua*, *P. lanceolatum*, *C. placentula*, *N. paleacea*, *Gomphonema sp2*; en YL: *N. inconspicua*, *Navicula veneta*, *C. placentula*, *N. palea*, *Nitzschia amphibia*; en PL: *N. inconspicua*, *N. palea* y *N. paleacea*; en DL: *N. inconspicua*, *N. palea* y *N. paleacea*; en PP: *N. inconspicua* y *N. palea*; en LG: *Nitzschia frustulum*, *N. palea* y *N. veneta*.

Análisis multivariados:

El análisis de componentes principales (Figura 3) fue realizado considerando los 11 parámetros ambientales de calidad de agua y se aplicó a la totalidad de sitios muestreados. El análisis permitió reducir la información a 3 componentes principales que explicaron el 68.7% de la variación. La Primera tendencia (CP-1) explicó el 37.7% de la varianza y se asoció con la demanda química de oxígeno ($r_2 = -0,82$), demanda bioquímica de oxígeno ($r_2 = -0,82$), dureza total ($r_2 = -0,81$), coliformes totales ($r_2 = -0,78$), conductividad ($r_2 = -0,75$), arsénico ($r_2 = -0,64$). La Segunda tendencia (CP-2) resumió el 16.5% y se asoció con sólidos totales en suspensión ($r_2 = -0,81$) y turbidez ($r_2 = -0,78$). Mientras que la tercera tendencia se relacionó con la temperatura ($r_2 = -0,63$) resumiendo el 14.4% de la variación.

La primera tendencia está asociada a PL, DL, PP y LG y explica a un sector de la cuenca con aguas duras, de elevada conductividad y arsénico además de estar contaminada por efluentes urbanos (patrones químicos y microbiológicos); la segunda tendencia explica la carga de sedimentos que transporta la cuenca (patrón físico). La distribución de los puntos CH en el cuadrante positivo indica su relación constante con bajas concentraciones de parámetros ambientales es decir que es una estación con poca perturbación antrópica.

Análisis de correspondencia canónica:

El análisis del CCA se llevó a cabo con 10 estaciones de muestreo, 11 parámetros ambientales y 71 especies de diatomeas ($> 0,01\%$ de abundancia relativa). Los ejes 1, 2 y 3 del CCA con eigenvalues de $\lambda_1=0.47$, $\lambda_2=0.23$ y $\lambda_3=0.13$, hacen un porcentaje de varianza acumulada de 25.9% de los datos de diatomeas. Los ejes 1 y 2 del CCA explicaron una larga proporción de la varianza en la relación diatomea – parámetro ambiental (73.9%). Las correlaciones entre diatomeas y parámetros ambientales para el eje 1, 2 y 3 fueron altos también, con valores de 0.93, 0.77 y 0.64 respectivamente, indicando una fuerte relación entre las especies de diatomeas y los parámetros ambientales. La prueba de permutación de Monte Carlo ($p < 0.001$), demostró que el modelo estadístico es adecuado y que los parámetros ambientales explican una proporción significativa de la varianza en la información de las especies.

En la figura 4 se observa a *A. subatomoides*, *D. mesodon*, *P. rhombicuneatum*, *A. minutissima*, *Nitzschia recta*, *Encyonema sp* y *Nitzschia sp3* ubicadas en el primer cuadrante, relacionados con bajos valores de parámetros ambientales. Las especies, *Surirella sp1*, *Amphora veneta*, *F. capucina var. vaucheriae*, *Nitzschia pumila*, *P. lanceolatum*, *Frankophila similioides*, *Fragilaria pinnata*, *Fragilaria brevistriata*, *Navicula ingapirca*, *U. ulna*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Fragilaria elliptica*, *Navicula minuta*, *Nitzschia capitellata*, *Navicula saprophila*, *Navicula lanceolata*, *Surirella angusta*, *Surirella minima*, *Nitzschia sp cf strelnikovae*, *Encyonema silesiaca*, *Nitzschia pusilla*, *Luticola sp1*, *Nitzschia incongnita* ubicadas en el segundo cuadrante, están relacionadas con altos valores de STS, turbidez y bajas temperaturas. Y por último *Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia frustulum*, *Nitzschia microcephala*, *N. veneta*, *Navicula atomus*, *Planothidium delicatulum*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia amphibia*, *Pleurosira laevis*, *Gomphonema parvulum*, *Rhopalodia gibba*, *Rhopalodia sp1* y *Nitzschia aff. bergii* ubicadas en el cuarto cuadrante, están relacionadas con valores altos de dureza, colif-totales, DBO, conductividad y Temperatura.

Discusión

La temperatura se relaciona con la demanda bioquímica de oxígeno y con la demanda química de oxígeno, al regir el metabolismo de los organismos encargados de consumir la materia orgánica y de la producción de CO₂, asimismo éste último al combinarse con otros elementos origina parte de los carbonatos en el medio acuático (Potapova y Charles, 2003) y por lo tanto, también parte de la conductividad. Los sólidos totales en suspensión consisten en materiales orgánicos e inorgánicos muy relacionados con la turbidez, en la medida que son parte de éste. La mayor parte de los cloruros

(Nielsen, Brock, Rees y Baldwin, 2003) y carbonatos tienen su origen en la disolución de material litogénico sedimentario (Morris y Panty, 1999). El incremento de coliformes totales está asociado a los vertimientos de aguas residuales provenientes de YL, PL, DL, PP y DL los cuales se encuentran en abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (O'Shanahan Roca, Vela Troncoso y Sánchez González, 2003). La presencia de arsénico en América Latina, tanto en aguas superficiales y subterráneas en su mayor parte, es de origen natural debido a la erosión de las rocas y que según el pH, este metaloide se encuentra en su estado de oxidación de arsenato (Castro de Esparza, 2004). La salinidad en SA fue en promedio de 342.39 mg/L y permitió el desarrollo de las diatomeas, *Entomoneis paludosa*, *Tabularia tabulata* y *Nitzschia hungarica*, conocidas como indicadoras de ambientes salobres y poco perturbados con materia orgánica. La DBO5 y la DQO son los dos métodos para medir la cantidad de materia orgánica en el agua (Hidalgo, Meoni, Barrionuevo, Navarro y Paz, 2003) por lo que valores mayores de 0.4 en la relación DBO/DQO indicarían materia biodegradable (CH hasta CA) y valores menores (CU hasta LG) indicarían materia muy difícilmente degradable. El ACP indica un ordenamiento espacial de las estaciones de muestreo y de los parámetros ambientales que determinan su comportamiento (varianza) (Jongman, Ter braak y van Tongeren, 2002). De esta manera, CH y TA son considerados ambientes con bajos valores de los parámetros ambientales. Asimismo, la conductividad en las estaciones SA y CA es importante en el comportamiento de la calidad del agua debido a condiciones geológicas similares. Y desde YL hasta GL son considerados ambientes relacionados con valores altos de parámetros ambientales, lo que explica una condición ambiental impactada.

El número de especies de diatomeas disminuye según el trayecto descendente de la cuenca, haciéndose más notorio desde YL hasta LG, que son estaciones donde predominan las especies: *Nitzschia inconspicua*, *Nitzschia palea*, *Nitzschia paleacea*, *Nitzschia microcephala*, *Navicula veneta* y *Navicula tripunctata*, conocidas como tolerantes a ambientes desde alfa-mesosaprobio a polisaprobio y a ambientes eutróficos (Rakowska, 2001). Así también, en la parte alta de la cuenca (CHA y TA) predomina: *Diatoma mesodon*, *Achnanthes minutissima*, *Achnanthes subatomoides*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Cocconeis placentula*, *N. ingapirca*, *Nitzschia pumila*, *P. lanceolatum*, *Navicula lanceolata*, *Navicula saprophila* y *Ulnaria ulna* que son especies de ambientes desde oligosaprobios hasta beta-mesosaprobio y oligotróficos a mesotróficos, según (28). Aquellas especies con abundancias menores del 5% (raras) y poco frecuentes como: *Navicula minuscula*, *Frankophila similioides*, *Encyonema silesiacum*, *Rhoiscosphenia abbreviata*, *Reimeria sinuata*, *Nitzschia pusilla*, *Fragilaria pinnata*, *Fragilaria elliptica*, *Luticola mu-*

tica, *Surirella minima*, *Surirella minuta*, *Cavinula pseudoscutiformis*, *Entomoneis paludosa*, *Nitzschia hungarica*, entre otras, sólo están presentes en TA y SA debido a probablemente las concentraciones de materia orgánica sean moderadas y permitan el desarrollo de especies estenoicas (Kelly y Whitton, 1998).

El ACC muestra a las comunidades de diatomeas con características autoecológicas similares hacia los parámetros ambientales de una forma positiva o negativa indicando su potencialidad como bioindicadores (Ter braak, 1986). *Diatoma mesodon*, *Achnanthes subatomoides*, *Planothidium rhombicuneatum*, *Nitzschia intermedia*, *Achnanthes minutissima*, *Nitzschia recta* y *Encyonema sp1*, que se encuentran en CH serían consideradas, según estos resultados, como tolerantes a bajas concentraciones de materia orgánica, dureza, conductividad, coliformes totales, salinidad y pH. Asimismo, *Reimeria sinuata*, *Nitzschia pumila*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, *Frankophila similioides*, *Fragilaria pinnata*, *Ulnaria ulna*, *Rhoiscosphenia abbreviata*, *Fragilaria elliptica*, *Surirella angusta*, *Surirella minuta*, *Nitzschia pusilla*, *Nitzschia chungara*, presentes en TA y *Nitzschia capitellata*, *Navicula lanceolata*, *Navicula saprophila*, *Fragilaria brevistriata*, *Nitzschia ingapirca* y *Navicula minima*, presentes en SA y CA desarrollan con baja turbidez (7.7 UNT, 9.2 UNT y 4.5 UNT, respectivamente). Por último, *N. inconspicua*, *Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia frustulum*, *Gomphonema parvulum*, *Rhopalodia gibba*, *Pleurosira laevis*, *Nitzschia amphibia*, *Navicula tripunctata*, *Nitzschia microcephala*, *Navicula veneta*, *Nitzschia palea*, *Navicula atomus*, *Rhopalodia spp1* y *Nitzschia sp cf bergii*, presentes desde YL hasta el LG serían considerados como indicadores de lugares fuertemente impactados (Lange-Bertalot, 1979) y (Gómez y Licursi, 2001).

Relevancia del resultado y su aporte a la realidad nacional, regional o local

La información obtenida es de mucha utilidad debido a que resume el comportamiento de la calidad de ecosistema acuático basándose en las especies de diatomeas y su estrecha relación con sus parámetros fisicoquímicos y microbiológicos; clasificando a la cuenca en ambientes sanos (desde CH hasta TA), medianamente impactados (CA y SA) y fuertemente impactados (desde YL hasta LG), a diferencia de la información que proporciona la nube de datos fisicoquímicos que por sí sola es muy dispersa y muchas veces de difícil interpretación global.

Los resultados de la presente investigación contribuyen al conocimiento de las comunidades de diatomeas béticas en el Perú y sustentan su uso en la estrecha relación con las variables ambientales que rigen su distribución. La característica de bioindicador hace de este grupo, en particular, una potencial herramienta en la gestión de la calidad de agua superficial.

La Autoridad Nacional del Agua en su rol de ente rector de gestión de los recursos hídricos podría, basándose en esta experiencia, propiciar su evaluación en otras cuencas del país con la finalidad de que en un futuro cercano, se incorpore esta tecnología en sus protocolos de monitoreo de la calidad del agua superficial y de esta manera hacer una gestión moderna a nivel de los estándares de países vecinos.

Al considerar la Agenda de Investigación Ambiental 2013-2021, la presente investigación se encuentra en el área de conservación de diversidad biológica y en el área de recursos hídricos del eje temático: Conservación y Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales y de la Diversidad Biológica. Así también, está considerado en el área temática de evaluación de la calidad del agua del eje temático de Gestión de la Calidad Ambiental.

Conclusiones

Según los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, la cuenca Locumba presenta impactos relacionados con vertimientos de aguas residuales de origen doméstico en la parte media y baja, además presenta elevadas concentraciones de arsénico, salinidad y dureza que tienen un origen en la meteorización de la litogenia local.

Al descender a la cuenca hay una disminución en el número de especies de diatomeas, al mismo tiempo que también hay cambio en su ensamblaje poblacional debido a su autoecología y requerimientos ambientales que manifiestan las especies tolerantes y sensibles a ciertos niveles de parámetros ambientales.

Según los análisis estadísticos, los parámetros ambientales son influyentes en la composición especiológica de las poblaciones de diatomeas en cada estación evaluada, lo cual los convierte en potenciales herramientas bioindicadoras de la calidad del recurso hídrico.

Agradecimientos

A M.Sc. Angela María Zapata Anzola, profesora catedrática de la Pontificia Universidad Javeriana, por su apoyo y asesoría en el manejo estadístico de los datos.

Referencias

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). (1998). Standard methods for examination of water and wastewater. 19ava. edición. *Amer. Pub. Heal. Assoc.*, 1536 pp. Washington.

CASTRO DE ESPARZA M. L. (2004). Arsénico en el agua de bebida de América Latina y su efecto en la salud pública. *Hojas de Divulgación Técnica (HDT), CEPIS N.º 95*.

DELLA BELL V., PUCCINELLI S.; MARCHEGGIANI L. (2007). Benthic diatom communities and their relationship to water chemistry in wetlands of central Italy. *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology*, 43 (2): 89-99.

DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO. De 23 de octubre de 2000.

GÓMEZ N. y LICURSI M. (2001). The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina. *Aquatic Ecology*, 35: 173 – 181.

HIDALGO M, MEONI G, BARRIONUEVO M, NAVARRO G, PAZ R. (2003). Variabilidad de la relación DBO5/DQO en ríos de Tucuman, Argentina. In extenso. 13° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente.

JONGMAN R. H. G., TER BRAAK C. J. F., VAN TONGEREN O. F. R. (2002). *Data analysis in community and landscape ecology*. 324 pp. Cambridge University Press.

KELLY M., WHITTON B. (1998). Biological monitoring of eutrophication in rivers. *Hydrobiologia*; 384: 55-67.

KELLY M. G., CAZAUBON A., CORING E., DELL'UOMO A., ECTOR L., GOLDSMITH B., GUASCH H., HÜRLIMANN J, JARLMAN A, KAWECKA B., KWANDRANS J., LAUGASTE R., LINDSTRØM E.-A., LEITAO M., MARVAN P., PADISÁK J., PIPP E., PRYGIEL J., ROTT E., SABATER S., VAN DAM H., VIZINET J., (1998). Recommendations for the routine sampling of diatoms for water quality assessments in Europe. *Journal of Applied Phycology*, 10: 215-224.

KRAMMER K. y LANGE-BERTALOT H. (1986). *Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. H. G. H. H. D. M. Ettl (eds.), 876 pp. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

KRAMMER K. y Lange-Bertalot H. (1988). *Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. H. G. H. H. Ettl, (ed.), 596 pp. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

KRAMMER K, LANGE-BERTALOT H. (1991a). *Bacillariophyceae 3 Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. H. G. H. H. Ettl, (eds.), 576 pp. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

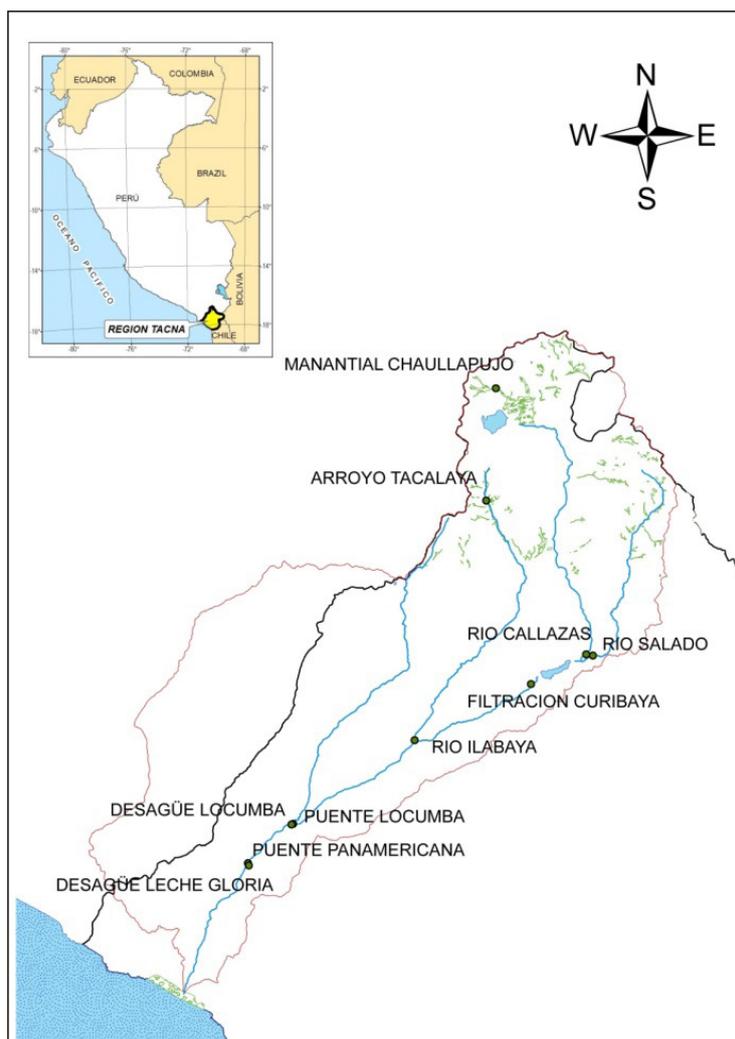
KRAMMER, K. y LANGE-BERTALOT H. (1991b). *Bacillariophyceae 4 Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Die Süßwasserflora von Mitteleuropa*. H. G. H. H. Ettl, (eds.), 437 pp. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.

LANGE-BERTALOT H. (1979) Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. *Nova Hedwigia Beiheft*, 64: 285-304.

MORRIS M. y PANTY, O. (1999). *Espacio y conciencia geográfica en Tacna*, 296 pp. Ediciones Tercer Milenio.

- NIELSEN D. L.; BROCK M. A., REES G. N. y BALDWIN D. S. (2003). Effects of increasing salinity on freshwater ecosystem in Australia. *Australian Journal of Botany*, 51: 655-665.
- O'SHAHANAN ROCA L., VELA TRONCOSO E. y SÁNCHEZ GONZÁLES A. (2003). Efectos de un vertido de aguas residuales sobre una comunidad bentónica del litoral de Telde, NE de Gran Canaria (islas Canarias). *VIERAEA*, 31: 253-266.
- POTAPOVA M. y Charles D. (2003). Distribution of benthic diatoms in U. S. rivers in relation to conductivity and ionic composition. *Freshwater biology*, 48: 1311-1328.
- PRYGIEL J. y COSTE M. (2000). Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'indice Biologique Diatomées NFT 90-354. Etude Agences de l'Eau-Cemagref Bordeaux, mars 2000, Agences de l'Eau, 134 pp. + clés de détermination (90 planches couleurs) + cdrom bilingüe français-anglais (Tax' IBD).
- RAKOWSKA B. (2001). Indicator values in ecological description of diatoms from Polish lowlands. *Ecology & Hydrobiology*, 4: 481-502.
- RIVERA-RONDÓN C. A. y DÍAZ-QUIRÓS, C. (2004). Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos altoandinos. *Universitas Scientiarum*, 9: 75-86.
- RUMRICH U., Lange-Bertalot H. y Rumrich M. (2000). Diatomeen der Anden. Von Venezuela bis Patagonien/ Feuerland. *Iconographia Diatomologica*, 9: 7-649.
- TAPIA, P. M. (2008). Diatoms as bioindicators of pollution in the Mantaro River, Central Andes, Peru. *Int. J. Environment and Health*, 2(1): 82-91.
- TER BRAAK C. J. F. (1986). Canonical correspondence analysis; A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67(5), 1167-1179.
- YUCRA, H. A. y TAPIA, P. M. (2008). El uso de microalgas como bioindicadoras de polución orgánica en brisas de Oquendo, Callao, Perú. *Biologist*, 1: 41-47.

Figuras, apéndices y leyendas



Mapa 1. Área de estudio en la que se muestran las estaciones de muestreo.

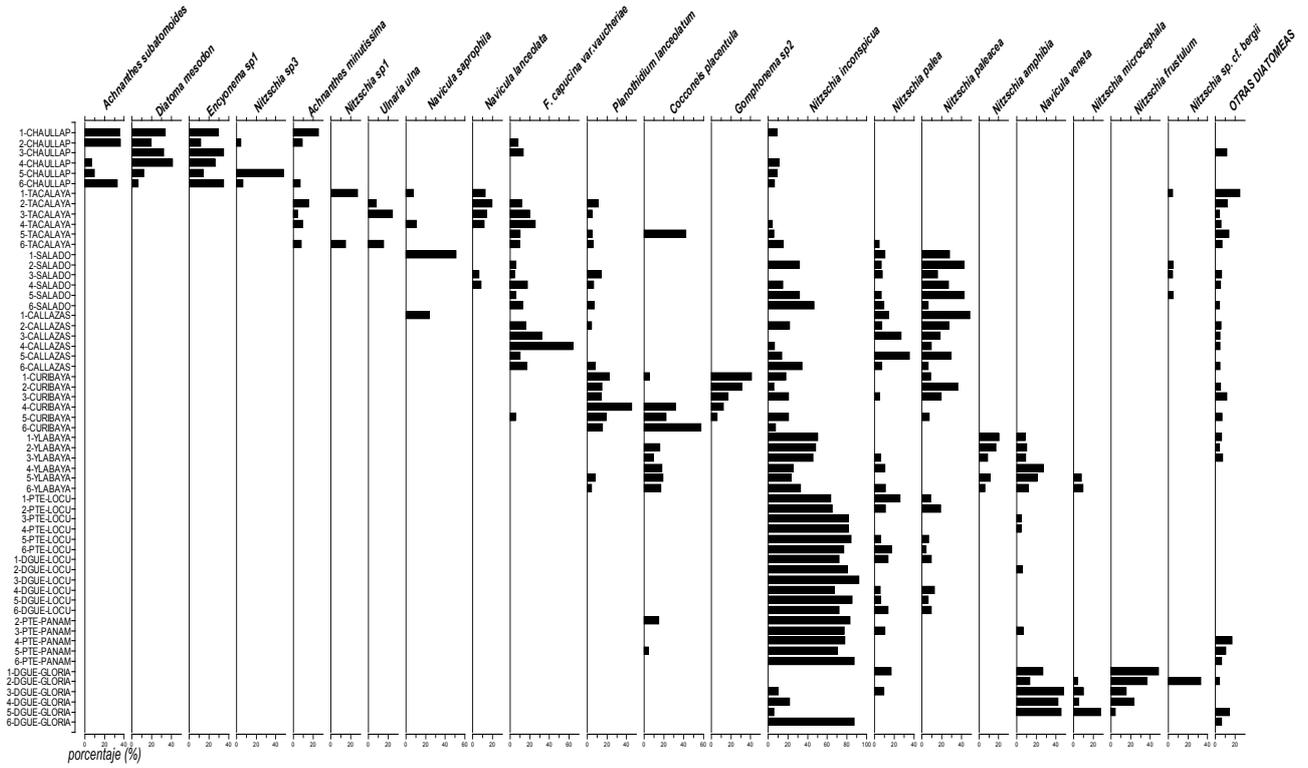


Figura 2: Abundancia relativa de diatomeas de mayor frecuencia en la cuenca del río Locumba.

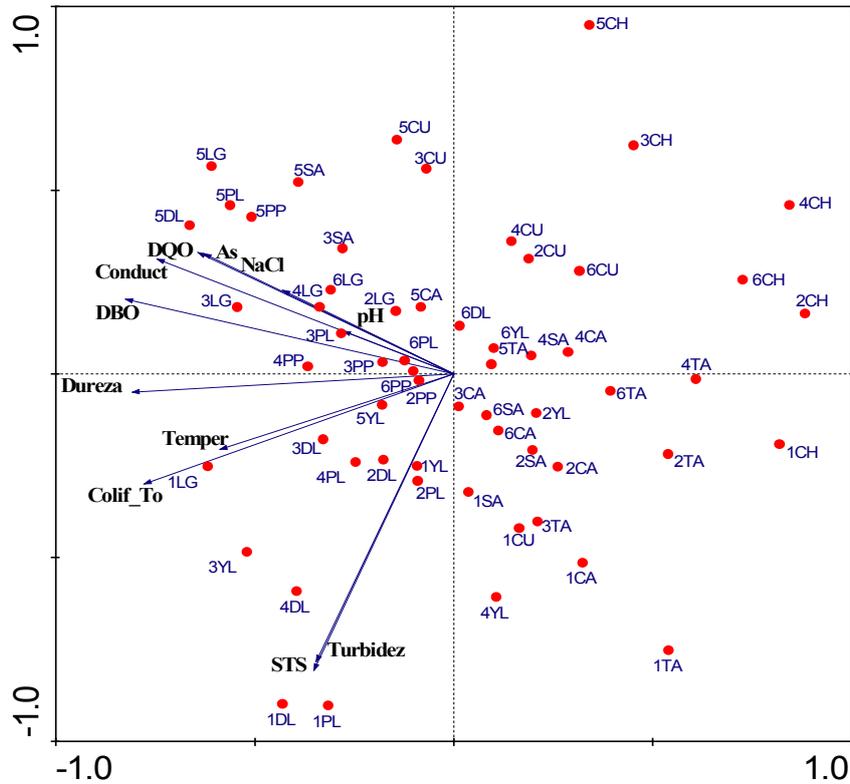


Figura 3. Análisis de componentes principales de las variables física, química y microbiológica en la cuenca Locumba. Los números arábigos indican el orden cronológico de muestreo.

