

Tipo de artículo: artículo de investigación

<https://doi.org/10.47460/uct.v29iSpecial.890>

# Diversidad y ecología de las diatomeas como indicadores de calidad de los manantiales de la cuenca suroriental de Arequipa – Perú

\*Luz Virginia Castillo Acobo  
<https://orcid.org/0000-0002-3412-9801>  
luzcastillo@unsa.edu.pe  
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa  
Facultad de Ciencias Biológicas  
Departamento Académico de Biología  
Arequipa, Perú

Nemesio Alberto Ochoa Torres (†)  
<https://orcid.org/0000-0002-6700-0510>  
nochoa@unsa.edu.pe  
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa  
Departamento Académico de Biología  
Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios  
Arequipa, Perú

\*Autor de correspondencia: [luzcastillo@unsa.edu.pe](mailto:luzcastillo@unsa.edu.pe)

Recibido (11/10/2024), Aceptado 02/12/2024)

**Resumen:** Se determinó la composición taxonómica, abundancia relativa, riqueza, diversidad y equidad de las diatomeas epilíticas presentes en los manantiales de la cuenca suroriental de Arequipa, mediante el empleo de índices ecológicos. Se estimó el índice biológico de diatomeas (IBD) que proporciona información sobre la calidad de los cuerpos de agua dulce. Se establece la correlación entre las variables ambientales y los índices calculados.

**Palabras clave:** diatomeas, índices ecológicos, indicador de calidad, manantiales.

Diatom diversity and ecology as indicators of spring quality in the southeastern Basin of Arequipa – Peru

**Abstract.-** The taxonomic composition, relative abundance, richness, diversity, and equity of the epilithic diatoms present in the springs of the southeastern basin of Arequipa were determined, using ecological indices. The diatom biological index (DBI) was estimated, providing information on freshwater bodies' quality. The correlation between the important environmental variables and the calculated indices is established.

**Keywords:** diatoms, ecological indices, quality indicator, springs.



## I. INTRODUCCIÓN

Las condiciones geológicas e hidroquímicas de los manantiales, condicionan la presencia de una biodiversidad, que suele ser importante y significativa para los ecosistemas que se forman a partir de estos afloramientos. Los manantiales son hábitats especiales que se diferencian del resto de las aguas superficiales principalmente por su composición fisicoquímica. Estas características del hábitat determinan ensamblajes especiales de los grupos algales como las algas bentónicas y otros organismos [1]. Las surgencias de agua subterránea, presentan una composición química del agua, que obedece a la litología del terreno, así como a la precipitación que se infiltra [2]. A ello se debe la singularidad de los hábitats de manantial, en los que destaca su heterogeneidad debido a la formación de diversos microhábitats y en general de todo el entorno de transición [3].

La estructura de la biocenosis de algas perifíticas, presenta generalmente una gran variación, tanto a escala espacial como temporal, respecto a factores bióticos y abióticos, entre estos últimos, la temperatura, disponibilidad de luz, concentración de nutrientes, sustrato, corrientes de agua, etc. [4], [5]. Por lo que son muy sensibles, respondiendo a ligeras variaciones de las condiciones ambientales, así mismo tienen ciclos de vida cortos y son frecuentemente abundantes en los ecosistemas acuáticos [6], [7]. Entre estas, las diatomeas (Clase Bacillariophyceae) son consideradas un grupo de microalgas reconocido generalmente como cosmopolita, y que han sido utilizadas largamente como eficientes indicadores de calidad del agua, debido a su rápida respuesta frente a cambios ambientales relacionados principalmente con eutrofización [8]. Es importante señalar el papel que desempeñan las diatomeas en la formación de los compósitos o biominerales, como es el caso de la biosílice (sílice hidratada amorfa) conformada a partir del proceso de biosilificación de actual importancia económica, que pone de manifiesto su relación con determinados elementos químicos presentes en el entorno [9].

Actualmente en el ámbito regional no se dispone de información relacionada con evaluaciones y resultados de diversidad en manantiales de esta cuenca y para esta comunidad algal, en particular las diatomeas epilíticas de los manantiales. A través del conocimiento de su comportamiento, se puede advertir alteraciones naturales o antrópicas, que aporten sobre procesos geológicos, manejo, conservación y explotación del recurso hídrico de estas fuentes naturales.

La estructuración del artículo comprende los siguientes aspectos: el primer apartado considera una breve descripción del problema objeto del estudio; el segundo apartado refiere los conceptos básicos, descripción de las diatomeas epilíticas y la hidroquímica de la zona mediante parámetros fisicoquímicos; el tercer apartado comprende la metodología de muestreo, evaluación de parámetros físico químicos, estimación de los índices ecológicos, el índice biológico de diatomeas y la relación entre las especies de diatomeas, las variables ambientales y los indicadores estimados; finalmente el cuarto apartado presenta los resultados y se finaliza con las conclusiones.

## II. DESARROLLO

La zona oriental de Arequipa se caracteriza por presentar un sistema hidrogeológico complejo, considerado como un solo sistema acuífero o reservorio subterráneo, que abarca siete distritos en esta localización geográfica, Characato, Polobaya, Quequeña, Mollebaya; Pocsi, Yarabamba y Sabandía. Los manantiales de la zona, presentan descarga de agua subterránea del acuífero de forma permanente. La litología y estructuras geológicas le confieren al agua subterránea que aflora a la superficie, una composición química variable; por lo que la evolución de la composición química del agua depende de los materiales por donde circula el agua y por tanto los minerales con los que entra en contacto [10].

Muchos elementos minerales son empleados por organismos que forman la biota de estos ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas, por lo que es necesario comprender los mecanismos de la crenobiología, con el fin de optimizar la gestión de los manantiales y otros ecosistemas relacionados [3].

Las algas que habitan en los manantiales son la base de la cadena alimentaria de estos, aunque se observan muchas especies generalistas, también se aprecian especies que prefieren estos ambientes. En particular las diatomeas son un grupo distintivo de la biota acuática, que intervienen en el ciclo biogeoquímico de la sílice, siendo sensibles a la calidad de agua, por lo que facilitan la identificación de impactos antrópicos [11]. De otro lado la preferencia por un tipo determinado de composición del agua se evidencia también, encontrándose especies que muestran una predilección por concentraciones altas de algunos elementos como el magnesio, aluminio, etc [12]. Siendo el recambio de algas y cianobacterias frecuente, a partir de modificaciones en el sustrato ecológico, ocurriendo una sustitución entre especies vicariantes [13]. Las diatomeas son indicadores adecuados de la composición iónica (conductividad), así como de las características hidromorfológicas de los cuerpos de agua [14].

La diversidad es una métrica de la ecología de las comunidades, los índices de riqueza de especies o de taxa (S), Shannon – Wiener (H), Simpson (D), y Equidad de Pielou (J), proporcionan información sobre la forma como están representadas las diatomeas epilíticas en los manantiales de estudio. El índice biológico de diatomeas (IBD), es un método de uso habitual en la comunidad europea, en particular en Francia, que se emplea para la vigilancia de la calidad de los cursos de agua, se basa en un listado de 209 especies clave, que presentan diferentes sensibilidades a formas de contaminación [15].

### III. METODOLOGÍA

Para la evaluación de los siete manantiales en el área de estudio, cuenca suroriental de la provincia de Arequipa, se realizaron los muestreos en dos temporadas o estaciones, octubre de 2017 y mayo de 2018. El muestreo de diatomeas bentónicas se realizó en el punto medio de las zonas de corriente evitando la orilla y preferentemente donde no hubo sombra. Las muestras se colectaron de sustrato duro como cantos o guijarros de superficie rugosa, luego se procedió al raspado o cepillado de una superficie de 25 cm<sup>2</sup>. Las muestras colectadas fueron depositadas en frascos de 25 ml y preservadas con solución de formalina al 5%, siendo almacenadas en lugares frescos y protegidos de la luz. En laboratorio se realizaron las determinaciones taxonómicas mediante la corrida de claves taxonómicas.

La medición de los parámetros físico-químicos en campo como son la temperatura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad y oxígeno disuelto ha sido realizada mediante un equipo multiparámetro WTW Multi 343. Para el resto de parámetros fisicoquímicos, se colectaron muestras de agua en el centro del flujo del manantial, depositando cada muestra en el envase correspondiente y aplicando los preservantes respectivos dependiendo del parámetro. Luego estas muestras de agua fueron trasladadas a un laboratorio acreditado, donde fueron analizadas y determinados los parámetros o variables ambientales.

El análisis de datos ha permitido la obtención de información referida a composición, riqueza y abundancia de especies de diatomeas bentónicas, así como la estimación de los índices de diversidad de Shannon (H'), índice de Simpson (1-D) e índice de equitatividad (J'). Además, se ha realizado la estimación del índice biológico de diatomeas (IBD). Los resultados de los parámetros fisicoquímicos y los índices de diversidad fueron analizados mediante la correlación de Spearman. Para el procesamiento de datos se ha utilizado el programa PAST 4.03.

### IV. RESULTADOS

#### A. Variables ambientales

La temperatura del agua fue mayor durante la temporada seca, oscilando entre 16.2 °C y 19.8 °C; el pH se mantuvo próximo a neutro, con valores entre 6,38 y 7,34; el oxígeno disuelto también presentó concentraciones típicas de los manantiales entre 5,1 y 7,25; únicamente el manantial M7 presentó un valor bajo de 4,4 en la temporada húmeda, estas variaciones estacionales están en función a la temperatura del agua, la concentración de sólidos y contenido mineral [16].

**Tabla 1.** Variables ambientales de los manantiales en temporada seca y húmeda.

Manantial	Temporada	T°	pH	OD	CE	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Ca	K	Mg	Na
M-1	oct-17	17,3	7,03	6,77	624	30,89	0,252	109,6	24,64	6,99	24,85	41,43
	may-18	13,6	6,92	6,82	622	45,7	0,146	154	26,1	7,7	25,7	41,8
M-2	oct-17	16,2	6,78	6,63	736	77,34	0,434	149,2	39,8	9,24	24,79	55,46
	may-18	16,7	7,16	7,25	748	69,4	0,143	118	40	9,73	24,7	55,7
M-3	oct-17	16,4	6,46	5,58	620	83,58	0,203	91,68	34,47	7,44	13,82	54,2
	may-18	13,5	6,53	5,24	642	76,5	0,133	84,9	37,8	8,9	15,4	61
M-4	oct-17	19,8	6,38	5,83	834	153,9	0,332	90,06	35,02	11,38	15,84	85,62
	may-18	17,8	6,53	5,64	860	140	0,216	82,1	38,1	13,1	17,7	94,1
M-5	oct-17	18,9	6,72	5,75	554	51,26	0,517	108,8	38,55	5,94	16,24	35,01
	may-18	18,4	6,76	5,49	709	46,1	0,351	118	39,6	6,44	16,8	36,3
M-6	oct-17	18,2	7,05	5,63	575	25,2	0,212	50,3	12,71	5,08	6,52	10,07
	may-18	17,9	7,12	5,54	712	10,18	0,13	39,13	13,425	5,586	7,896	12,835
M-7	oct-17	17,7	7,15	5,1	1269	130,8	9989	281,5	99,07	13,38	42,49	86,77
	may-18	17	7,34	4,4	1239	113	6660	232	107	14,3	46,8	95,6

B. Composición taxonómica

Como se puede ver en la tabla 1, se han identificado 2 clases de diatomeas epilíticas, siendo dominante la clase Bacillariophyceae, representada por 12 familias y 18 especies; una sola familia y una especie corresponde a la clase Coscinodiscophyceae. Así mismo de las 19 especies reportadas, 02 son centrales y 17 pennadas.

**Tabla 2.** Composición taxonómica de las diatomeas epilíticas.

División	Clase	Orden	Familia	Especie
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Cocconeidales	Achnanthesiaceae	<i>Achnanthes sp.</i>
			Cocconeidaceae	<i>Cocconeis sp.</i>
		Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia sp1.</i>
				<i>Nitzschia sp2.</i>
				<i>Nitzschia sigmaidea</i>
				<i>Nitzschia linearis</i>
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula sp.</i>
				<i>Caloneis sp.</i>
			Pinnulariaceae	<i>Pinnularia sp.</i>
		Rhopalodiales	Rhopalodiaceae	<i>Epithemia sp.</i>
		Cymbelales	Cymbellaceae	<i>Cymbella sp.</i>
			Gomphonemataceae	<i>Gomphonema sp.1</i>
				<i>Gomphonema sp.2</i>
				<i>Gomphonema parvulum</i>
	Rhoicospheniaceae	<i>Rhoicosphenia sp.</i>		
Licmiphorales	Ulnariaceae	<i>Ulnaria sp</i>		
Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella sp.</i>		
Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Diatoma sp</i>		
Coscinodiscophyceae	Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira varians</i>	

De otro lado se puede observar que se reportan 12 familias en época seca (octubre) y 13 familias finalizando la época húmeda (mayo); siendo las especies comunes en ambas temporadas *Achnanthes sp.*, *Nitzschia sp1.*, *Nitzschia sigmaidea*, *Navicula sp.*, *Gomphonema sp.1* y *Melosira varians*.

C. Abundancia

Se estimó el número de individuos por especie para cada manantial evaluado y en cada temporada (octubre y mayo). Se aprecia que en la estación seca las especies más abundantes son Gomphonema parvulum, Nitzschia sp. 1 y Melosira varians. En la temporada húmeda las especies más relevantes son Gomphonema sp. 2, Caloneis sp., Navicula sp., Ulnaria sp. y Nitzschia sp. 1. (Figuras 1 y 2). La mayoría de estas especies son tolerantes a la contaminación, como es el caso de las especies de los géneros Gomphonema, Navicula y Nitzschia [17].

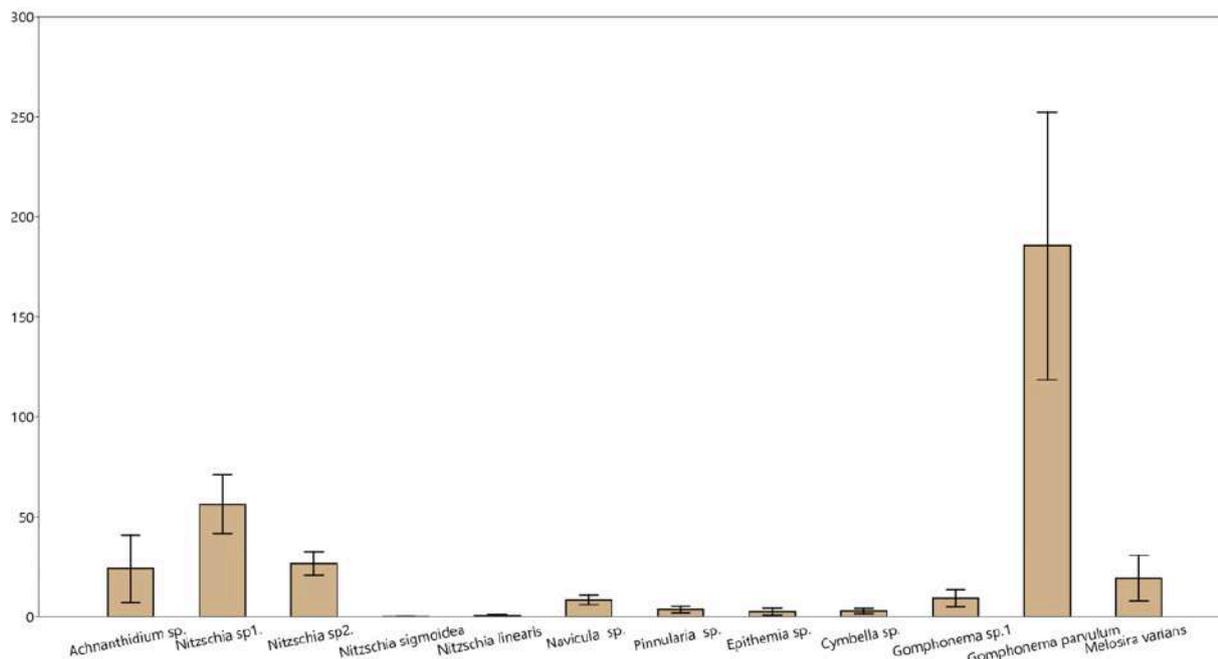
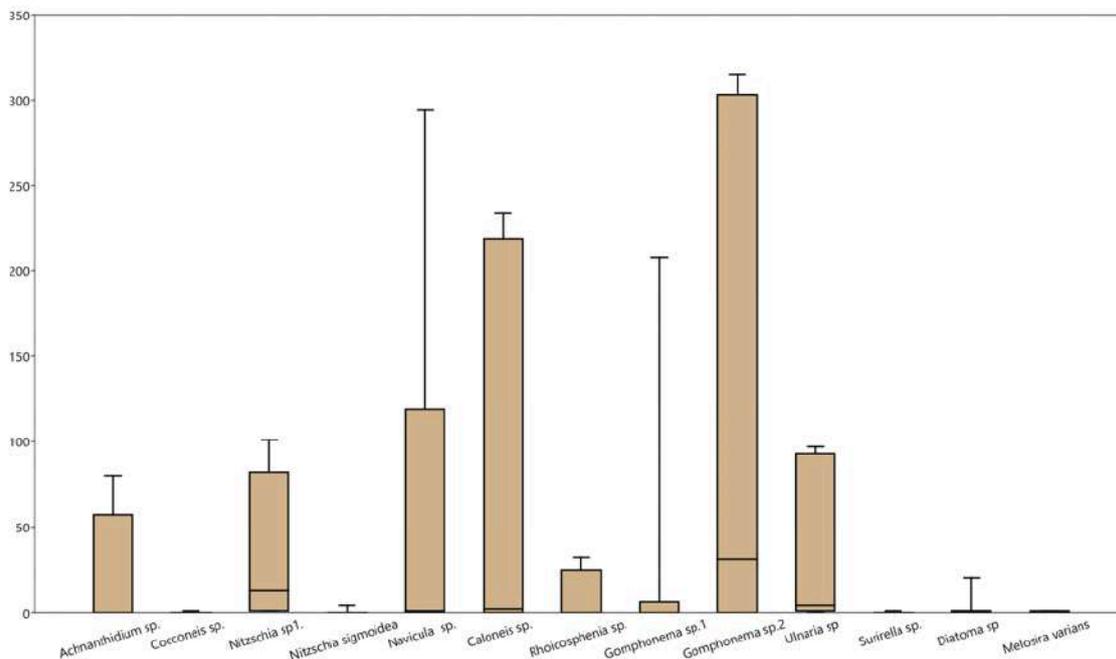


Fig. 1. Abundancia de las diatomeas epilíticas en la temporada seca (octubre).

La figura 2 presenta un análisis de la diversidad y abundancia de diferentes especies de diatomeas en los manantiales de la cuenca suroriental de Arequipa, Perú. Cada barra representa la abundancia promedio de una especie específica, con los valores incluidos de su desviación estándar, lo que refleja la variabilidad en los datos recolectados en diferentes puntos o tiempos de muestreo. El gráfico sugiere que algunas especies como Gomphonema sp.2 y Navicula sp. destacan por su alta abundancia en comparación con otras especies como Diadema sp. o Melosira varians, que tienen representaciones mínimas. Esto podría indicar que Gomphonema sp.2 y Navicula sp. son especies tolerantes a ciertas condiciones ambientales específicas de la cuenca, mientras que las de menor abundancia podrían ser indicadoras de condiciones más específicas o sensibles.

La variabilidad reflejada en las barras es significativa para algunas especies, como Gomphonema sp.1, lo que podría atribuirse a diferencias en las características físico-químicas de los manantiales estudiados. Estos resultados son relevantes, ya que las diatomeas son bioindicadores clave de la calidad del agua. Su diversidad y distribución pueden estar relacionadas con factores como nutrientes, pH, conductividad y contaminación orgánica. En términos ecológicos, los datos señalan que los manantiales presentan diferentes grados de alteración o calidad ambiental, destacando la importancia de ciertas especies como marcadores de condiciones específicas. Este tipo de estudios contribuyen a la gestión y conservación de los recursos hídricos en la región de Arequipa.



**Fig. 2.** Abundancia de las diatomeas epilíticas en la temporada húmeda (mayo).

D. Riqueza e Índices de diversidad

La riqueza (S) describe 19 taxones o especies de diatomeas en los 07 manantiales evaluados; en la temporada seca, con 11 especies registradas, M2 (Totorani) reporta 5 especies; M1 (La Trampa) con 06 especies; M3 (Yumina 1), M4 (Yumina 2) y M6 (Yanayaco 2) con 07 especies; M5 y M7 con 08 especies respectivamente. Para la temporada húmeda se registran 13 especies, M3 (Yumina 1) con 4 especies, M1 (La Trampa) con 5 especies y M4 (Yumina 2) con 6 especies; M2 (Totorani) y M7 (Santa Ana) registran 7 especies cada una; M5 (Yanayaco 1) y M6 (Yanayaco 2) con 8 especies respectivamente.

E. Valores de los índices ecológicos por punto de muestreo

Los valores obtenidos para cada uno de los índices ecológicos por temporada de muestreo y para cada manantial respecto a la comunidad de diatomeas bentónicas se presentan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Índices ecológicos por manantial y por temporada.

Manantial	Temporada	S	H'	1-D	J'
M-1	oct-17	6	1,264	0,6014	0,7056
	may-18	5	0,6677	0,3218	0,4148
M-2	oct-17	5	1,292	0,6728	0,8027
	may-18	7	1,906	0,8438	0,9796
M-3	oct-17	7	1,524	0,7192	0,7831
	may-18	4	0,7745	0,5145	0,5587
M-4	oct-17	7	1,18	0,5782	0,6064
	may-18	6	1,046	0,5197	0,584
M-5	oct-17	8	1,279	0,587	0,6153
	may-18	8	1,757	0,7992	0,8452
M-6	oct-17	7	0,9787	0,4354	0,5029
	may-18	8	1,678	0,7708	0,8068
M-7	oct-17	8	1,686	0,7711	0,8106
	may-18	7	1,519	0,7309	0,7806

La riqueza de taxones refleja una baja representación de las diatomeas epilíticas, situación que está relacionada posiblemente con estresores antrópicos, debido a la proximidad de los manantiales a poblaciones rurales [18].

Los valores más altos de H se registraron en los manantiales M7 y M3. Para la temporada húmeda fueron M2 y M5; sin embargo, en ambas épocas los valores H evidencian una diversidad baja.

F. Índice biológico de diatomeas (IBD)

Los valores correspondientes al IBD, evidencian para la temporada seca, condiciones de mala calidad de agua para 5 de los manantiales estudiados (M1, M3, M4, M5 y M6); los afloramientos M2 y M7 estarían en condición de calidad regular.

**Tabla 4.** Valores del índice biológico de diatomeas (IBD) por temporada y por punto de muestreo.

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
oct-17	7,097	11,03	7,049	7,719	8,73	7,826	10,96
may-18	12,219	11,632	9,793	8,669	9,917	9,789	9,712
	Muy mala calidad					IBD<5	
	Mala calidad					9>IBD≥5	
	Calidad regular					13>IBD≥9	
	Buena calidad					17>IBD≥13	
	Calidad excelente					≥17	

Para la temporada húmeda, se observa un ligero incremento de los valores del índice, sin embargo, solo el punto M1 presenta una mejor condición, llegando a calidad regular. Lo cual tiene concordancia con el valor obtenido para H' para todos los manantiales y en ambas temporadas, evidenciando una diversidad baja.

G. Correlación de variables ambientales e índices ecológicos

Las correlaciones que destacan entre variables ambientales para la temporada seca son todas positivas; entre el potasio (K) y la conductividad eléctrica (CE) con coeficiente 0.929 (p < 0,01) corresponde a una correlación fuerte; de la misma forma entre el SO4 y Mg. Respecto a las variables ambientales que influyen sobre los índices ecológicos son el sulfato SO4, nitrato NO3, calcio (Ca) y en menor proporción el magnesio (Mg).

**Tabla 5.** Valor de p y coeficiente de correlación de Spearman (rs), entre variables ambientales para época seca.

oct-17	Tº	pH	OD	CE	Cl-	NO3-	SO4	Ca	K	Mg	Na	H'	1-D	J'	IBD
Tº		0,662	0,840	0,840	0,748	0,628	0,267	0,840	0,840	0,595	0,840	0,236	0,139	0,110	0,906
pH	-0,214		0,595	0,748	0,354	0,527	0,328	0,873	0,906	0,328	0,906	0,748	0,628	0,527	0,328
OD	-0,107	-0,25		0,963	0,556	0,906	0,935	0,662	0,713	0,713	0,713	0,302	0,444	0,662	0,963
CE	-0,107	0,143	-0,036		0,077	0,375	0,267	0,218	0,0048	0,2	0,005	0,420	0,285	0,218	0,595
Cl-	0,143	-0,429	-0,286	0,714		0,471	0,628	0,153	0,0095	0,628	0,010	0,285	0,328	0,375	0,935
NO3-	0,214	0,286	-0,071	0,393	0,321		0,099	0,018	0,285	0,077	0,285	0,375	0,527	0,328	0,041
SO4	-0,5	0,429	0,036	0,5	0,214	0,679		0,066	0,218	0,005	0,218	0,066	0,041	0,010	0,218
Ca	-0,107	0,071	-0,214	0,536	0,607	0,857	0,75		0,077	0,124	0,077	0,077	0,153	0,077	0,077
K	-0,107	-0,071	-0,179	0,929	0,893	0,464	0,536	0,714		0,218	0,00040	0,2	0,153	0,124	0,595
Mg	-0,25	0,429	0,179	0,571	0,214	0,714	0,929	0,643	0,536		0,218	0,218	0,153	0,077	0,328
Na	-0,107	-0,071	-0,179	0,929	0,893	0,464	0,536	0,714	1	0,536		0,2	0,153	0,124	0,595
H'	-0,536	0,143	-0,464	0,357	0,464	0,393	0,75	0,714	0,571	0,536	0,571		0,002	0,005	0,595
1-D	-0,643	0,214	-0,357	0,464	0,429	0,286	0,786	0,607	0,607	0,607	0,607	0,964		0,002	0,748
J'	-0,679	0,286	-0,214	0,536	0,393	0,429	0,893	0,714	0,643	0,714	0,643	0,929	0,964		0,420
IBD	-0,071	0,429	-0,036	0,25	0,036	0,786	0,536	0,714	0,25	0,429	0,25	0,25	0,143	0,35714	

Las correlaciones en la temporada húmeda se presentan entre potasio (K) y sodio con un coeficiente de relación 0,964 ( $p < 0,01$ ); cloruro (Cl<sup>-</sup>) y sodio (Na) que presentan un coeficiente de correlación de 0,929 ( $p < 0,01$ ); cloruro (Cl<sup>-</sup>) y potasio (K) con 0,893 ( $p < 0,01$ ).

**Tabla 6.** Valor de  $\rho$  y coeficiente de correlación de Spearman ( $r_s$ ), entre variables ambientales para época húmeda.

may-18	T	pH	OD	CE	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub>	Ca	K	Mg	Na	H'	1-D	J'	IBD
T		0,887	0,840	0,420	0,713	0,527	0,529	0,873	0,498	0,556	0,396	0,2	0,2	0,2	0,444
pH	0,072		0,988	0,326	0,636	0,729	0,247	0,356	0,701	0,255	0,988	0,311	0,311	0,311	0,793
OD	-0,107	0,018		0,713	0,556	0,498	0,757	0,662	0,783	0,811	0,498	0,748	0,748	0,748	0,267
CE	0,357	0,432	-0,179		0,153	0,328	0,952	0,124	0,099	0,471	0,2	0,328	0,328	0,328	0,088
Cl <sup>-</sup>	-0,179	-0,216	-0,286	0,607		0,267	0,798	0,153	0,0095	0,420	0,0048	0,783	0,783	0,783	0,167
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,286	0,162	-0,321	0,429	0,5		0,117	0,077	0,218	0,099	0,267	0,935	0,935	0,935	0,662
SO <sub>4</sub>	-0,288	0,509	-0,144	0,036	0,126	0,6667		0,170	0,360	0,016	0,429	0,859	0,859	0,859	0,406
Ca	0,071	0,414	-0,214	0,643	0,607	0,7143	0,595		0,077	0,153	0,153	0,285	0,285	0,285	0,783
K	-0,321	0,180	-0,143	0,679	0,893	0,5357	0,414	0,714		0,099	0,0016	0,840	0,840	0,840	0,354
Mg	-0,286	0,505	0,107	0,321	0,357	0,6786	0,865	0,607	0,679		0,2	0,783	0,783	0,783	0,748
Na	-0,393	0,018	-0,321	0,571	0,929	0,5	0,360	0,607	0,964	0,571		0,556	0,556	0,556	0,267
H'	0,571	0,450	0,143	0,429	-0,143	0,0357	-0,090	0,464	-0,107	-0,143	-0,286		0,00040	0,00040	0,935
1-D	0,571	0,450	0,143	0,429	-0,143	0,0357	-0,090	0,464	-0,107	-0,143	-0,286	1		0,00040	0,935
J'	0,571	0,450	0,143	0,429	-0,143	0,0357	-0,090	0,464	-0,107	-0,143	-0,286	1	1		0,935
IBD	-0,357	0,126	0,5	-0,714	-0,607	-0,2143	0,378	-0,143	-0,429	0,143	-0,5	0,036	0,036	0,036	

## CONCLUSIONES

Se observó que los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), y oxígeno disuelto (OD) varían entre las estaciones, lo que sugiere que las condiciones ambientales de los manantiales están influenciadas por cambios estacionales. Por ejemplo, los manantiales como M-4 y M-7 presentan altos niveles de CE, cloruros y sulfatos, lo que podría indicar contaminación o procesos geológicos específicos en esas áreas. Estas características permiten identificar patrones de calidad del agua y posibles fuentes de alteración ambiental. Además, se pudo confirmar que los niveles de nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub>), y otros elementos como calcio (Ca) y magnesio (Mg) son cruciales para determinar la composición y diversidad de las diatomeas. Por ejemplo, manantiales como M-7, con altos niveles de sulfatos y cloruros, pueden favorecer la proliferación de especies de diatomeas más tolerantes a condiciones extremas. Estas relaciones destacan la importancia de monitorear las variables ambientales para comprender cómo influyen en los indicadores biológicos y en la calidad de los ecosistemas acuáticos.

Otro aspecto destacado en la investigación es que la biodiversidad de diatomeas presente en los manantiales refleja una rica diversidad taxonómica que abarca múltiples divisiones, clases, órdenes, familias y especies. Este nivel de diversidad es fundamental para evaluar la calidad ecológica de los cuerpos de agua, ya que cada especie puede actuar como un indicador biológico de condiciones ambientales específicas, como niveles de nutrientes, pH, o presencia de contaminantes. Además, la presencia de especies de géneros como *Navicula*, *Nitzschia* y *Gomphonema*, ampliamente reconocidos como bioindicadores, subraya la importancia de la comunidad de diatomeas para monitorear y gestionar la salud de los ecosistemas acuáticos. Estos hallazgos no solo evidencian la resiliencia del ecosistema, sino también su vulnerabilidad ante cambios ambientales o impactos antrópicos.

Se pudo confirmar que la diversidad y equitatividad de las comunidades biológicas presentes en los manantiales reflejan la complejidad y dinamismo de estos ecosistemas acuáticos. Los índices de diversidad y equitatividad sugieren que las comunidades varían en respuesta a cambios estacionales y ambientales, lo que subraya la importancia de conservar estos ecosistemas como reservorios de biodiversidad. Este monitoreo es clave para comprender las interacciones ecológicas y los factores que afectan la estabilidad y salud de los sistemas acuáticos, siendo esencial para la gestión sostenible de los recursos hídricos.

La relación entre las variables ambientales y los índices ecológicos refleja cómo los factores abióticos influyen en la diversidad y composición de las comunidades de diatomeas. En particular, parámetros como el oxígeno disuelto (OD), la conductividad eléctrica (CE) y los nutrientes (como nitratos y sulfatos) tienen correlaciones significativas con los índices de diversidad ( $H'$ ) y equitatividad ( $J'$ ). Esto sugiere que cambios en las condiciones ambientales pueden alterar la estructura de estas comunidades, impactando su capacidad de indicar la calidad del agua. Las correlaciones negativas y positivas observadas también resaltan la complejidad de las interacciones ecológicas, donde ciertos parámetros favorecen el desarrollo de algunas especies, mientras que limitan otras. Este análisis subraya la importancia de monitorear y gestionar las condiciones ambientales para mantener la biodiversidad y funcionalidad de los ecosistemas acuáticos.

## RECONOCIMIENTO

La autora, expresa su agradecimiento a la Universidad Nacional de San Agustín UNSA - Investiga, por el financiamiento para realizar esta investigación, mediante el Contrato IBA-10-2016-VRI-UNSA.

## REFERENCIAS

- [1] M. Cantonati, «Diatom Communities of Springs in the Southern Alps», *Diatom Res.*, vol. 13, n.o 2, pp. 201-220, nov. 1998, doi: 10.1080/0269249X.1998.9705449.
- [2] A. González Abraham, J. R. Fagundo Castillo, J. J. Carrillo Rivera, y R. Rodríguez Estrella, «Geoquímica de los sistemas de flujo de agua subterránea en rocas sedimentarias y rocas volcánicas de Loreto, BCS, México», *Bol. Soc. Geológica Mex.*, vol. 64, n.o 3, pp. 319-333, 2012, doi: 10.18268/BSGM2012v64n3a5.
- [3] M. Cantonati, L. Füreder, R. Gerecke, I. Jüttner, y E. J. Cox, «Crenic habitats, hotspots for freshwater biodiversity conservation: toward an understanding of their ecology», *Freshw. Sci.*, vol. 31, n.o 2, pp. 463-480, jun. 2012, doi: 10.1899/11-111.1.
- [4] M. Albay y R. Akçaalan, «Effects of water quality and hydrologic drivers on periphyton colonization on *Sparganium erectum* in two Turkish lakes with different mixing regimes», *Environ. Monit. Assess.*, vol. 146, n.o 1, pp. 171-181, nov. 2008, doi: 10.1007/s10661-007-0069-5.
- [5] M. L. de Souza, B. G. Pellegrini, y C. Ferragut, «Periphytic algal community structure in relation to seasonal variation and macrophyte richness in a shallow tropical reservoir», *Hydrobiologia*, vol. 755, n.o 1, pp. 183-196, ago. 2015, doi: 10.1007/s10750-015-2232-2.
- [6] Y. Wu, «Chapter 3 - Indicators for Monitoring Aquatic Ecosystem», en *Periphyton*, Y. Wu, Ed., Boston: Elsevier, 2017, pp. 71-106. doi: 10.1016/B978-0-12-801077-8.00003-X.
- [7] N. Kanavillil y S. Kurissery, «Temporal variation of periphyton communities: a 3-year study from northwest Lake Simcoe, Ontario, Canada», *Inland Waters*, vol. 3, n.o 4, pp. 473-486, ene. 2013, doi: 10.5268/IW-3.4.525.
- [8] E. A. Lobo, N. W. Freitas, y V. H. Salinas, «Diatoms as bioindicators: Ecological aspects of the algae response to eutrophication in Latin America», *Mex. J. Biotechnol.*, vol. 4, n.o 1, Art. n.o 1, 2019.
- [9] M. Colín-García et al., «Sílice de las Algas Diatomeas (Clase Bacillariophyceae) como material complejo y su importancia nanotecnológica», *La Granja*, vol. 17, n.o 1, Art. n.o 1, jun. 2013, doi: 10.17163/lgr.n17.2013.01.
- [10] F. Peña Laureano, «Perímetros de protección de manantiales en la Zona Oriental de Arequipa. Región Arequipa», *Repos. Inst. INGEMMET*, abr. 2018, Accedido: 15 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1424>.
- [11] N. Angeli, M. Cantonati, D. Spitale, y H. Lange-Bertalot, «A comparison between diatom assemblages in two groups of carbonate, low-altitude springs with different levels of anthropogenic disturbances.», *Fottea*, vol. 10, n.o 1, pp. 115-128, ene. 2010, doi: 10.5507/fot.2010.006.
- [12] M. Cantonati y H. Lange-Bertalot, «Diatom Biodiversity of Springs in the Berchtesgaden National Park (north-Eastern Alps, Germany), with the Ecological and Morphological Characterization of Two Species New to Science», *Diatom Res.*, vol. 25, n.o 2, pp. 251-280, nov. 2010, doi: 10.1080/0269249X.2010.9705849.
- [13] M. Cantonati y H. Lange-Bertalot, «*Achnanthidium Dolomiticum* Sp. Nov. (bacillariophyta) from Oligotrophic Mountain Springs and Lakes Fed by Dolomite Aquifers», *J. Phycol.*, vol. 42, n.o 6, pp. 1184-1188, 2006, doi: 10.1111/j.1529-8817.2006.00281.x.

- [14] T. Mangadze, R. J. Wasserman, y T. Dalu, «Use of Diatom Communities as Indicators of Conductivity and Ionic Composition in a Small Austral Temperate River System», *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 228, n.o 11, p. 428, oct. 2017, doi: 10.1007/s11270-017-3610-3.
- [15] M. Coste, S. Boutry, J. Tison-Rosebery, y F. Delmas, «Improvements of the Biological Diatom Index (BDI): Description and efficiency of the new version (BDI-2006)», *Ecol. Indic.*, vol. 9, n.o 4, pp. 621-650, jul. 2009, doi: 10.1016/j.ecolind.2008.06.003.
- [16] B. J. Mahler y R. Bourgeais, «Dissolved oxygen fluctuations in karst spring flow and implications for endemic species: Barton Springs, Edwards aquifer, Texas, USA», *J. Hydrol.*, vol. 505, pp. 291-298, nov. 2013, doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.10.004.
- [17] V. Segura-García, E. A. Cantoral-Uriza, I. Israde, y N. Maidana, «[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0188-88972012000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-88972012000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=en)», *Hidrobiológica*, vol. 22, n.o 1, pp. 16-27, abr. 2012.
- [18] E. Flores Stulzer, N. Villalobos-Sand, L. Piedra Castro, y C. Schulz, «Evaluación breve de la presencia de diatomeas y su relación con algunos parámetros físico-químicos en el río Pirro, Heredia, Costa Rica», *Uniciencia*, vol. 31, n.o 2, pp. 99-109, 2017.

## LA AUTORA



**Luz Virginia Castillo Acobo**, bióloga. Master en Ingeniería Ambiental y Dra. en Ciencias, con mención en economía y gestión. Docente principal de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Con 30 años de experiencia en el sector público y 20 años de experiencia en el sector de la consultoría ambiental.