

## Uso de diatomeas para medir el impacto de la extracción de agregados en ríos altoandinos, Amazonas, Perú

## Use of diatoms to measure the impact of the extraction of aggregates in highandean rivers, Amazonas, Peru

Dámaris Leiva Tafur<sup>1\*</sup>, <sup>a</sup>Elver Coronel<sup>1</sup>, <sup>b</sup>Fernando Corroto<sup>1</sup>

### RESUMEN

Las comunidades de diatomeas bentónicas y perifíticas fueron evaluadas como potenciales indicadores biológicos de las condiciones ambientales para generar información sobre el impacto que ocasiona la extracción de material pétreo en la calidad del agua. Esta investigación se desarrolló en el mes de septiembre, durante la época de estiaje, en el tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo del río Utcubamba. Se establecieron tres estaciones y seis puntos de muestreo consecutivos, con una colecta de dos muestras por punto y la correspondiente determinación de parámetros biológicos y fisicoquímicos. Los resultados obtenidos del análisis biológico a partir de la identificación de diatomeas y la aplicación del índice ecológico de Shannon-Wiener mostraron un valor de 1,8710 en el primer punto (contaminación moderada), que descendió hasta 0,4450 en el último punto (contaminación severa). Así, *Gomphonema rhombicum*, fue la especie más abundante en este tramo, indicadora de la perturbación provocada por las canteras presentes, y favorecida por la escasez de vegetación ribereña. Los parámetros fisicoquímicos analizados que mostraron una mayor variación fueron temperatura, turbidez, alcalinidad y fosfatos. A la vista de los resultados se aprecia que la extracción de material pétreo en el río Utcubamba impacta sobre la calidad del agua a nivel fisicoquímico y a nivel biológico, reduciendo la aptitud de uso del recurso.

**Palabras clave:** canteras, extracción, índice de Shannon-Wiener, bioindicadores

### ABSTRACT

Benthic and periphytic diatom communities were evaluated as potential biological indicators of environmental conditions to generate information of the impact of stone material extraction on water quality. This research was carried out in September, during the dry season, in the Caclic-Pedro Ruiz Gallo section of the Utcubamba river. Three stations and six consecutive sampling points were established, with a collection of two samples per point and the corresponding determination of biological and physicochemical parameters. Results from the biological analysis from diatom identification and application of the Shannon-Wiener ecological index showed a value of 1.8710 at the first point (moderate contamination), which decreased to 0.4450 at the last point (Severe pollution). Thus, *Gomphonema rhombicum*, was the most abundant species in this section, indicative of the disturbance caused by the present quarries, and favored by the scarcity of riparian vegetation. The physicochemical parameters analyzed that showed a greater variation were temperature, turbidity, alkalinity and phosphates. In view of the results, it can be seen that the extraction of stone material in the Utcubamba River impacts on the water quality at the physicochemical level and at the biological level, reducing the ability to use the resource.

**Keywords:** quarrying, extraction, Shannon-Wiener index, bioindicators

<sup>1</sup>Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Perú

<sup>a</sup>E-mail: ecoronel@indes-ces.edu.pe <sup>b</sup>E-mail: fcorroto@indes-ces.edu.pe

\*Autor de correspondencia: damaris.leiva@untrm.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

Los ríos son ecosistemas de gran importancia ecológica, económica y social, sin embargo solo albergan una fracción pequeña del total de agua que alberga el planeta. Además tienen un enorme valor al conectar cuencas terrestres con la atmósfera y el mar transportando sales, sedimentos y organismos (Elosegi y Sabater, 2009). En este sentido, cabe destacar que estos ecosistemas se encuentran entre los más amenazados del mundo (Malmqvist y Rundle, 2002), por lo que cobra especial importancia la evaluación del estado de este recurso. Si bien, las técnicas tradicionales de muestreo (físicas, químicas y bacteriológicas) han demostrado cumplir eficazmente una parte de esta función, la posibilidad de obtener una visión ecológica del estado actual de arroyos o ríos se vuelve esencial para la medición de numerosos factores medioambientales complementarios, evaluando así la sostenibilidad a largo plazo de estos ecosistemas fluviales (Li *et al.*, 2010).

En particular, el uso de diatomeas bentónicas como bioindicadores de la calidad de aguas ecosistemas dulceacuícolas ha aumentado en los últimos años debido a su amplia distribución y la variación en la composición de especies que puede atribuirse a las variaciones ecológicas (e. g. Kelly *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2012).

Por otra parte, en la actualidad, la extracción de material pétreo de los ríos se ha convertido en un negocio lucrativo, pues agregados como gravas, arenas y rocas tienen alta demanda en el sector de la construcción. La demanda se incrementa con los años debido a que el sector construcción cuenta con gran dinamismo en la economía mundial (DANE, 2012). Este incremento trae un desajuste en el plano ambiental, ya que al aumentar las actividades de extracción se reducen las medidas de mitigación que deberían aplicarse para reducir los impactos en el ecosistema; es decir esta actividad es dañina en grado extremo, ya que los materiales extraídos no son renovables, rompen el nivel freático y aumentan la superficie de circulación de las aguas, provocando

desequilibrios en la tasa de evaporación, el coeficiente de infiltración y reduciendo el volumen de agua disponible (Osiris de León, 2010). Asimismo, alteran la calidad del agua y el desarrollo de poblaciones de seres vivos indicadoras, pues la erosión en los tramos altos de la cuenca afecta al sistema aguas abajo (Gamboa *et al.*, 2008).

En el río Utcubamba, uno de los principales sistemas acuáticos del departamento Amazonas, la extracción de agregados se extiende puntualmente a lo largo de los tramos alto y medio de la cuenca, y está especialmente acentuada en el tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo. Por tanto, este estudio busca determinar el impacto de la extracción de material pétreo en el tramo Caclic-Pedro Ruíz, sobre la calidad del agua a través de parámetros fisicoquímicos y biológicos, enfocando estos últimos en la comunidad de diatomeas bentónicas.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El área de estudio comprende al tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo, ubicado entre 1660 y 1362 m.s.n.m. Este tramo forma parte de la cuenca media del río Utcubamba y se sitúa en el cauce principal del mismo. El margen derecho del río a esta altura corresponde a la provincia de Luya, y el margen izquierdo a la provincia de Bongará, ambas pertenecientes al departamento Amazonas, en el noreste de Perú (Figura 1).

### Ubicación y selección de las estaciones de muestreo

Se establecieron tres estaciones de muestreo a partir de la metodología propuesta por el grupo de Freshwater Ecology and Management (Prat *et al.*, 2012) para la evaluación del estado ecológico en ríos. Cada una de las estaciones de muestreo se dividió a su vez en dos puntos de muestreo (Tabla 1).

Es importante señalar que a lo largo del tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo, existen tres canteras en el curso del río, por lo que siguiendo la metodología antes mencionada, y adaptándola a la realidad existente en el área de estudio, el establecimiento de cada una de las estaciones de muestreo se correspondió con cada una

**Tabla 1.** Ubicación de las estaciones y puntos de muestreo en el tramo Cacic-Pedro Ruiz Gallo del río Utcubamba

EM	PM	Este	Norte	Altitud	Des.
1	1	178029	9326686	1570	P1-A
	2	177666	9327738	1770	P1-D
2	3	175841	9329853	1422	P2-A
	4	175146	9331110	1411	P2-D
3	5	172114	9335522	1360	P3-A
	6	171770	9336847	1357	P3-D

Fuente: Elaboración propia

A= Antes de la Cantera; D= Después de la Cantera

de las tres canteras; así, en la estación de muestreo 1 se ubicó implantó un punto antes de la cantera y otro después. Esto mismo se repitió con las estaciones de muestreo 2 y 3 (Figura 1).

#### Toma de muestras

Para la determinación de los parámetros físico-químicos del agua, en la toma de muestras se siguió el protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos establecido por la Dirección General de Salud

Ambiental del Perú (DIGESA, 2007). Paralelamente, para la colecta de agua enfocada a la determinación e identificación de diatomeas bentónicas se siguió la metodología establecida por la CHD (2010) para colecta de muestras de perifiton. En ambos casos se realizaron dos repeticiones para alcanzar una mayor representatividad.

#### Tiempo de muestreo

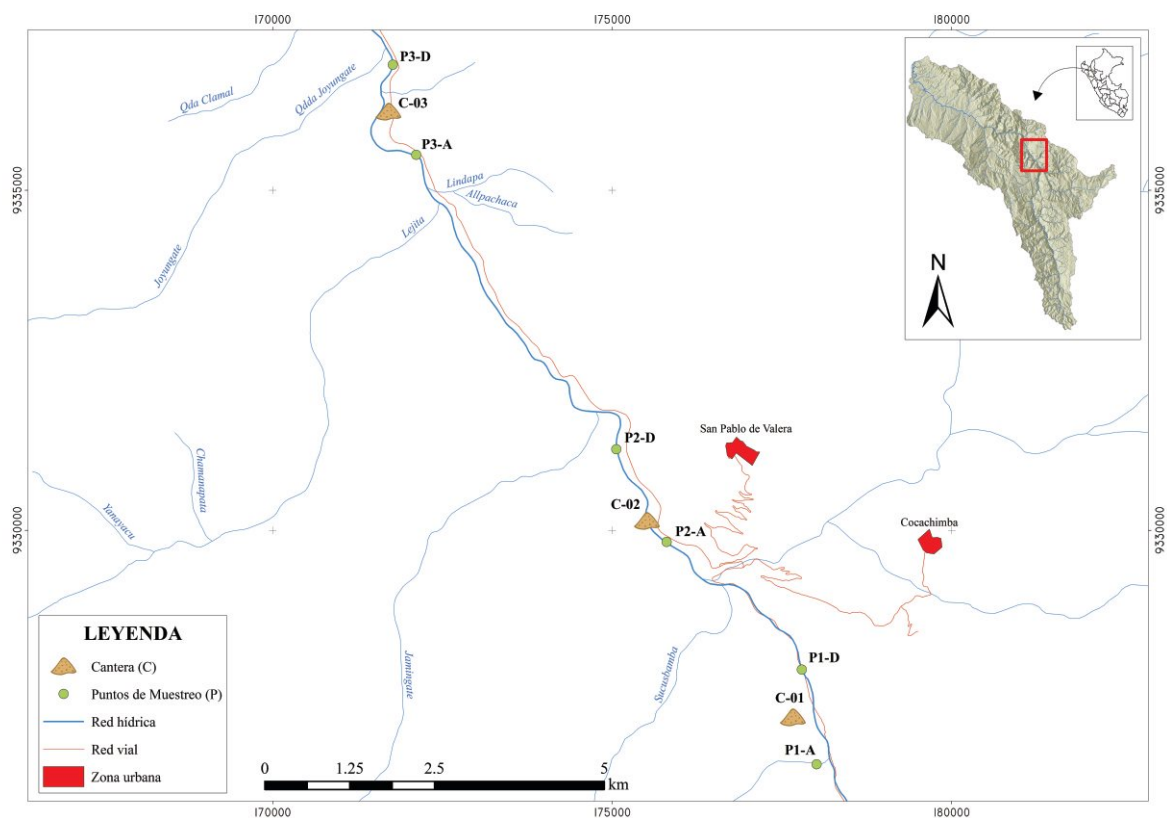
Los muestreos se realizaron durante los meses de septiembre y octubre del año 2016. Estos meses se incluyen dentro de la época de estiaje, por lo que la actividad es mayor en cuanto a la explotación de agregados en el tramo estudiado.

#### Métodos, técnicas e instrumentos

##### Determinación de parámetros físicoquímicos

El transporte y análisis en laboratorio de los parámetros físicoquímicos se determinó siguiendo el procedimiento de APHA (2012).

Los parámetros físicos como turbiedad (TB), temperatura ( $T^a$ ), pH, conductividad eléctrica (CE) y

**Figura 1.** Ubicación de los puntos de muestreo en el tramo Cacic-Pedro Ruiz Gallo del río Utcubamba.

oxígeno disuelto (OD), fueron evaluados *in situ*, mientras que los demás parámetros fueron transportados y analizados en laboratorio. Para ello se colectaron las muestras de agua en cada punto de muestreo, y acto seguido fueron transportadas manteniendo la cadena de frío en refrigeradoras portátiles; así, las muestras fueron procesadas antes de transcurridas 24 horas. Parámetros como alcalinidad (AL), cloruros (CL) y dureza total (DT) se realizaron por el método colorimétrico. Por absorbancia se determinaron nitratos ( $\text{NO}_3$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4$ ), y sulfatos ( $\text{SO}_4$ ); finalmente, los sólidos totales disueltos (STD) se examinaron por diluciones y filtración al vacío.

#### **Determinación de parámetros biológicos**





A partir de la metodología establecida por la CHD (2010) para colecta de muestras de perifiton, se procedió a coleccionar cinco piedras sumergidas de 10 a 20 cm, ubicadas en zonas bien iluminadas y con corriente constante. La superficie de estas piedras fue cepillada hasta cubrir un área aproximada de  $20 \text{ cm}^2$ , completando un área total de  $100 \text{ cm}^2$  entre las cinco piedras seleccionadas. A continuación, las muestras se introdujeron en frascos de cierre hermético rellenos con 50 ml de agua de río, adicionando glicerina para evitar el rompimiento de los frústulos, y solución Tamponada de formaldehído (HCHO) al 4 % para la conservación de las muestras. Los frascos se etiquetaron y transportaron en frío al Laboratorio de investigación en Suelos y Aguas de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, donde se dejaron en reposo durante 48 horas. Transcurrido este tiempo, se eliminó el sobrenadante de cada frasco, y del contenido restante se extrajeron 10 ml, que fueron sometidos a un proceso de oxidación durante tres horas con 20 ml peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 30 %, y a una temperatura de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , con el objetivo de limpiar los frústulos y facilitar la posterior identificación.

Culminado este proceso, se dejaron enfriar las muestras, y se adicionaron tres gotas de ácido clorhídrico (HCl) (3M) en cada una para eliminar los carbonatos presentes. Posteriormente las muestras

fueron colocadas en tubos de centrífuga, aforados a 15 ml con agua destilada, para ser centrifugadas a 30 revoluciones por minuto, durante tres minutos. Las muestras ya procesadas se depositaron en frascos pequeños, agregando a cada uno de ellos tres gotas de solución tamponada de formaldehído (HCHO) al 4 %, y se conservaron en incubadoras a una temperatura de  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

El montaje definitivo consistió en colocar 1 ml de muestra procesada en una cámara de conteo Sedgwick- Rafter; se dejó reposar cinco minutos para permitir que las células se depositen en el fondo de la cámara, y se examinó a una magnificación inicial de 20X (posteriormente se aumentó a 40X) en un microscopio electrónico estándar. Antes de iniciar el recuento, se observó detenidamente toda la extensión de la cámara para identificar las principales especies presentes en la muestra, comprobando que los organismos se dispersen al azar a través del área de conteo y no se encuentren restringidos en una región en particular. Por último, utilizando los manuales de identificación de la CHD (2010) y de Soler *et al.* (2012), se llevó a cabo la identificación de las diatomeas a nivel de especie. Se hizo el conteo y se determinaron variables comunitarias como densidad ( $\text{ind}/100\text{cm}^2$ ) y abundancia relativa (%) de cada especie por cada estación de muestreo; así mismo se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ ). Finalmente, la calidad del agua se determinó mediante los valores de diversidad de las especies de diatomeas identificadas (Índice de Shannon-Wiener), a partir del patrón establecido por Lobo y Kobayasi (1990) (Tabla 2).

**Tabla 2.** Índice de diversidad de Shannon-Wiener ( $H'$ )

Índice de diversidad de Shannon $H'$	Calidad del Agua
3-4 bits $\text{cel}^{-1}$	Contaminación imperceptible 
2-3 bits $\text{cel}^{-1}$	Contaminación leve 
1-2 bits $\text{cel}^{-1}$	Contaminación moderada 
0-1 bits $\text{cel}^{-1}$	Contaminación severa 

**Fuente:** Elaboración propia

### Análisis de datos

Para los análisis estadísticos se utilizó el programa R versión 3.3.1, a través del cual se aplicaron pruebas como el test de Shapiro-Wilk, para para contrastar la normalidad del conjunto datos obtenidos, o la prueba de Kruskal-Wallis, para probar si las medianas de las poblaciones en cuestión son iguales. Además se realizó un análisis de varianza para establecer diferencias entre las medias poblacionales, y un test de

Duncan para buscar diferencias significativas entre los datos obtenidos.

### III. RESULTADOS

#### Parámetros fisicoquímicos

A partir del análisis de los parámetros fisicoquímicos en las tres estaciones de muestreo evaluadas se extrae que tanto las variables físicas (pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales)

**Tabla 3.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos en los seis puntos de muestreo del tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo del río Utcubamba

EM	PM	R	pH	T <sup>a</sup> (°C)	CE (µs/cm <sup>3</sup> )	TB (UNT)	OD (mg/L)	STD (mg/L)	AL (mg/L)	CL (mg/L)	DT (mg/L)	NO <sub>3</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	SO <sub>4</sub> (mg/L)
E1	1	A 1.1	8,3	17,7	258,0	36,3	11,8	156,0	101,0	15,8	52,9	3,4	0,8	32,2
		A 1.2	8,0	17,4	259,0	36,9	10,5	156,6	104,0	15,9	59,8	4,5	0,9	35,8
		D 1.1	8,4	18,0	258,0	43,3	10,7	154,8	109,0	15,9	65,7	4,3	0,8	48,6
E2	2	D 1.2	8,2	18,9	257,0	48,2	10,9	154,2	110,0	18,9	69,6	4,3	0,7	30,0
		A 2.1	8,5	18,9	259,0	60,1	10,6	155,4	111,0	18,9	71,5	4,6	0,3	28,8
		A 2.2	8,2	18,9	257,0	63,2	10,9	154,2	110,0	18,9	71,6	4,3	0,7	30,0
E3	3	D 2.1	8,5	18,9	259,0	70,1	10,6	155,4	111,0	18,9	71,5	4,6	0,3	28,8
		D 2.2	8,4	19,0	258,0	74,6	10,3	154,8	109,0	18,8	50,0	5,5	0,3	26,4
		A 3.1	8,4	19,0	258,0	84,7	10,4	154,8	109,0	18,9	55,9	3,3	0,4	17,0
E3	5	A 3.2	8,4	19,3	259,0	84,9	10,8	155,4	120,0	18,8	62,7	4,0	0,4	20,3
		D 3.1	8,9	19,6	260,0	92,9	10,4	154,8	120,0	18,8	65,7	5,5	0,4	24,0
		D 3.2	8,2	20,2	260,0	94,4	10,5	156,0	120,0	18,9	78,4	5,7	0,4	20,0

Fuente: Elaboración propia

R= Repeticiones de colecta por punto de muestreo

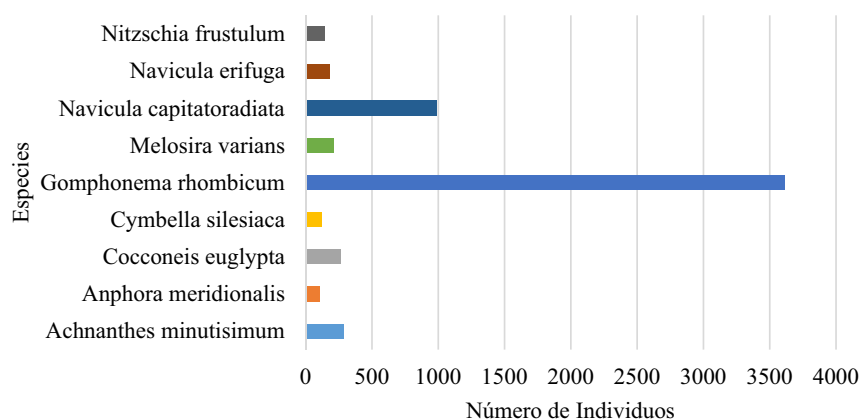
como las químicas (alcalinidad, cloruros, dureza total, nitratos, fosfatos y sulfatos), se mantienen en niveles similares entre los seis puntos de muestreo (Tabla 3).

Cabe mencionar la naturaleza básica del tramo estudiado, así como el aumento progresivo e ininterrumpido las variables temperatura y turbidez, a

diferencia del resto de variables que fluctuaron en torno a un valor entre los seis puntos de muestreo.

#### Parámetros biológicos

Para el análisis desde el punto biológico, se identificaron los ejemplares de diatomeas colectados para aplicar a continuación el índice de Shannon-Wiener.



**Figura 2.** Abundancia de las principales especies de diatomeas identificadas en los seis puntos de muestreo en estudio.

Así, de las especies identificadas, las que presentaron mayor abundancia en el área de estudio fueron *Achnanthes minutisimum*, *Cocconeis euglypta*, *Gomphonema rhombicum*, *Navicula capitatoradiata*, *Melosiria varians* (Figura 2). Dentro de las más abundantes, destaca por encima del resto la especie *Gomphonema rhombicum*, con más de 3500 individuos contados; a continuación sobresalen del resto las especies *Navicula capitatoradiata*, con 1000 individuos, y *Achnanthes minutisimum*, con cerca de 300 individuos.

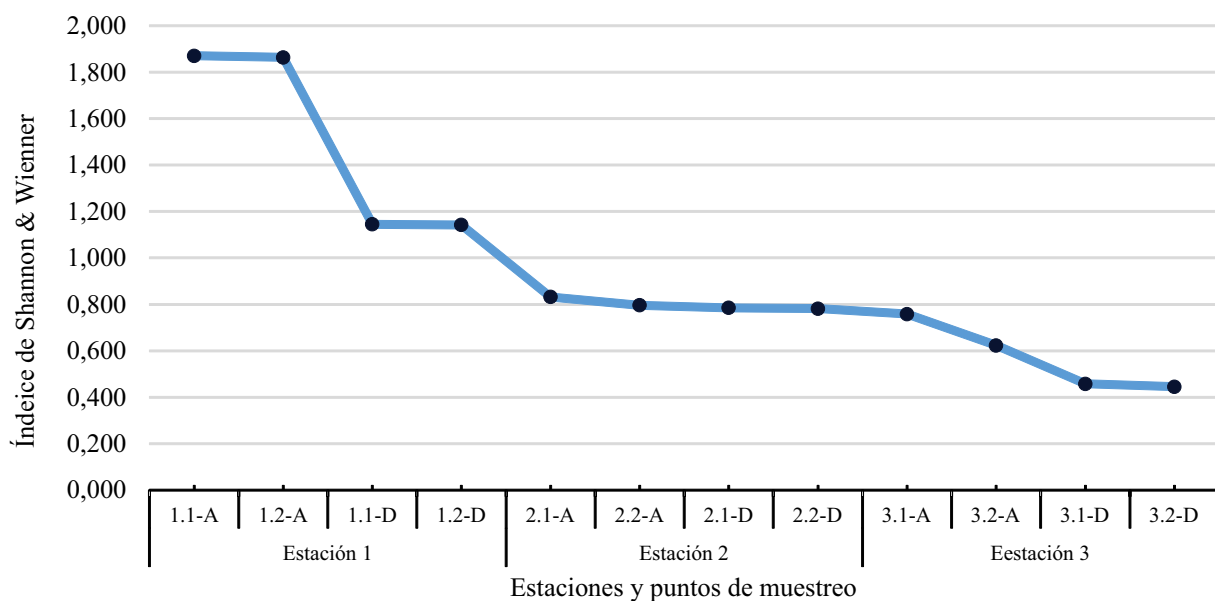
A la vista de los resultados, las variaciones del índice Shannon-Wiener resultan muy notorias, pues si bien

en los dos puntos de la estación de muestreo presentan una contaminación moderada, a partir de esta la contaminación aumenta hasta severa en los cuatro puntos de las estaciones de muestreo 2 y 3 (Tabla 4). A partir de los puntos de la segunda estación de mla calidad del agua valorada cualitativamente con contaminación moderada pasa a contaminación severa. Es importante señalar que el índice disminuye progresivamente desde el punto de muestreo 1 ( $H=1,8710$ ) hasta el punto de muestreo 6 ( $H=0,4450$ ), sin cambios observables y contando con las repeticiones realizadas en cada punto (Figura 3).

**Tabla 4.** Resultado biológico Índice de Shannon & Wiener de los puntos de muestreo en el río Utcubamba, septiembre del 2016.

EM	PM	R	Índice Shannon-Wiener (H')	Valor Cualitativo
1	1	1.1-A	1,8710	Contaminación moderada
		1.2-A	1,8640	Contaminación moderada
	2	1.1-D	1,1450	Contaminación moderada
		1.2-D	1,1420	Contaminación moderada
2	3	2.1-A	0,8320	Contaminación severa
		2.2-A	0,7960	Contaminación severa
	4	2.1-D	0,7850	Contaminación severa
		2.2-D	0,7820	Contaminación severa
3	5	3.1-A	0,7580	Contaminación severa
		3.2-A	0,6230	Contaminación severa
	6	3.1-D	0,4580	Contaminación severa
		3.2-D	0,4450	Contaminación severa

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.** Variaciones del índice de Shannon-Wiener por estaciones y puntos de muestreo en el tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo del río Utcubamba.



### Análisis de datos.

El análisis de datos precisó inicialmente de la determinación de la normalidad a través de la prueba de Shapiro-Wilk. Posteriormente, en aquellos datos que presentaron una distribución normal, se realizó un análisis de varianza para buscar diferencias significativas entre los mismos. Por el contrario, en aquellos datos que no presentaron una distribución normal se realizó una prueba de Kruskal-Wallis buscando lo mismo que con el análisis de varianzas.

Del análisis de varianza se obtuvo que los parámetros fisicoquímicos que presentaron diferencias significativas, por puntos de muestreo, fueron temperatura, turbidez, alcalinidad y fosfatos, destacando que los tres primeros mostraron diferencias altamente significativas.

En cuanto al análisis de varianza realizado con los datos procedentes del índice de Shannon-Wiener, se obtuvieron de nuevo diferencias altamente significativas entre puntos de muestreo.

Por otra parte, al realizar la prueba de Kruskal-Wallis entre los parámetros fisicoquímicos que no presentaron una distribución normal a partir del test de Shapiro-Wilk, se evidenció la no existencia de

diferencias significativas entre ellos por punto de muestreo.

Finalmente, la aplicación del test de Duncan permitió determinar en qué puntos de muestreo se presentan las variaciones más representativas (Tabla 5). Así, los valores más elevados para la temperatura se presentaron en los puntos 10, 11 y 12; para la turbidez fue en el punto 12, mientras que el valor más pequeño se presentó en el punto 1. En relación a la alcalinidad y los fosfatos, todos los puntos presentaron un valor elevado de manera estandarizada. Por último, el índice de Shannon-Wiener presentó su valor más pequeño en el punto 1, y su valor más alto en 12.

### IV. DISCUSIÓN

A partir parámetros biológicos del estudio de la comunidad de diatomeas presente en los puntos de muestreo, destaca la homogeneidad de los valores de índice de Shannon-Wiener en la primera estación, tanto en el punto de muestreo antes de la cantera como en el de después, y es que aunque teóricamente, la diversidad debería disminuir al surgir una perturbación, Connell (1978), plantea que la diversidad de especies es mayor cuando las perturbaciones son intermedias en las escalas de frecuencia e intensidad, lo que implica que las especies son aproximadamente iguales en capacidad de colonizar, excluir invasores y resistir las vicisitudes ambientales.

Los resultados obtenidos en el índice de Shannon-Wiener para la segunda y tercera estación, indican que la contaminación que presentan dichas estaciones es severa. En este caso, la reducción en el valor del índice se debe a que los disturbios por extracción contribuyen a que las comunidades perifíticas sean heterogéneas y respondan a estos eventos modificando su estructura y propiedades fisiológicas durante el proceso de sucesión (Castro y Donato, 2008) lo que impide que exista un desarrollo homogéneo de las especies y, por ende, el valor de índice se reduzca.

En la identificación de ciertas especies, se observaron como predominantes *Achnanthes minutisimum*, *Cocconeis euglypta*, *Navicula capitatoradiata*,

**Tabla 5.** Comparaciones múltiples, test de Duncan por puntos de muestreo para parámetros fisicoquímicos y biológicos

EM	PM	R	Variables				
			T°	TB	AL	PO <sub>4</sub>	H'
1	1	1.1-A	C	J	A	A	D
		1.2-A	BC*	IJ*	A	A	CD*
	2	1.1-D	-	HIJ*	A	A	BCD*
		1.2-D	-	GHI*	A	-	ABCD*
	3	2.1-A	ABC*	FGH*	A	A	ABCD*
		2.2-A	ABC*	EFG*	A	A	ABCD*
2	4	2.1-D	-	DEF*	A	-	ABCD*
		2.2-D	AB*	CDE*	A	A	ABCD*
3	5	3.1-A	AB*	BCD*	A	A	ABCD*
		3.2-A	A	ABC*	A	A	ABC*
	6	3.1-D	A	AB*	A	-	AB*
		3.2-D	A	A	A	A	A

Fuente: Elaboración propia

A, B, C= Grupos Homogéneos

A= Nivel de concentración más alto

B, C, D, E, F, G, H, I= Nivel de concentración intermedio

J= Nivel de concentración más bajo

\*= Comparte características de ambos grupos homogéneos

R= Repeticiones de colecta por punto de muestreo

*Melosiria varians*, y con el mayor número de individuos *Gomphonema rhombicum*. La dominancia de estas especies sobre las demás identificadas en las tres estaciones de muestreo se debe a que son tolerantes con hábito corto, es decir, demandan pocos recursos y pueden soportar condiciones donde hay limitación de nutrientes, a diferencia de las especies sensibles, que se presentan en menor número y tienden a ocupar la parte más frágil de la biopelícula perifítica y ser arrastradas con mayor facilidad (Larson y Passy, 2012). Otra de las variables a las que estas especies son resistentes para presentar tal dominancia es a la luz, los sedimentos, los nutrientes y el disturbio, pues estos factores afectan el desarrollo y distribución de las comunidades perifíticas, por lo que estas especies predominantes han adquirido varias adaptaciones para poder prosperar y mantenerse en ambientes en donde estos factores presentan condiciones limitantes (Wellnitz y Ward, 2000).

También es importante señalar las consecuencias directas de la implantación de canteras en la vegetación ribereña, ya que la desaparición de la misma provoca que géneros como *Achnanthes*, *Gomphonema* y *Navicula*, aparezcan con mayor asiduidad (Gudmundsdottir *et al.*, 2013).

Por otro lado, parámetros fisicoquímicos como la turbidez, la alcalinidad y los fosfatos, que presentan variaciones significativas por puntos de muestreo, son producto de la misma extracción del material en las canteras, especialmente la turbidez, que es una consecuencia directa. En este sentido, el aumento de partículas en suspensión y el movimiento del lecho debido a la operación de la maquinaria en las actividades de arranque del material y el tráfico de vehículos, sugiere que la resuspensión de sólidos que ocasiona el aumento de la turbiedad puede afectar a las concentraciones de varios componentes en el medio, como la alcalinidad, si el lecho rocoso está formado por rocas calizas, y los fosfatos, si el lecho está formado por rocas de origen fosfórico (Wetzel, 2001). Además, la variación de estos parámetros y la deficiente autorregeneración que presenta el río en

este tramo, se debe a que el muestreo se realizó en la época de estiaje, lo que impide que variables como el caudal y la turbulencia apoyen a esta regeneración (Valcárcel, 2011); a esto último hay que añadir que el tramo evaluado no es muy extenso (15 km), y la presencia de tres canteras en el mismo repercute negativamente en la recuperación de las características originales.

## V. CONCLUSIONES

La extracción de material pétreo en el tramo Caclic-Pedro Ruiz Gallo afecta negativamente a la calidad del agua en relación a parámetros como la turbidez, los fosfatos y la alcalinidad, reduciendo su aptitud de uso para consumo humano y deteriorándolo para el uso en riego de vegetales y bebida de animales.

De igual manera la comunidad de diatomeas se ve perturbada por la remoción del lecho rocoso y el aumento de la turbiedad, lo que impide que haya una distribución equitativa de especies.

Especies como *Gomphonema rhombicum* resultan ser altamente tolerantes a las condiciones de remoción del sustrato y de alteración riparia existentes, resultando buenas indicadores del deterioro del recurso hídrico.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WEF. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, twentysecond Ed." American Public Health Association, American Water Works Association and the Water Environment Federation, Washington DC., USA, 2012.
- Castro, M. y J. Donato. "Aspectos generales sobre la ecología de ríos. Ecología de un río de montaña de los andes colombianos (Río tota, Boyacá)". Ed. John Charles Donato Rondón. UNC Facultad deficiencias. Colombia, 2008.
- CHD (Confederación Hidrográfica del Duero). "Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero". España: Valladolid. *Celarayn*, 5(2010): 11-201.
- Connell, J. H. "Diversity in tropical rain forests and



- coral reefs. High diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state". *Science, New Series*, 199(1978): 1302-1310.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). "Informe Trimestral PIB 2012". Bogotá (Colombia), 2012.
- Delgado, C., I. Pardo y L. García. "Diatom communities as indicators of ecological status in Mediterranean temporary streams (Balearic Islands, Spain)". *Ecological Indicators*, 15(2012): 131-139.
- DIGESA (Dirección General de Salud). "Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales". Lima (Perú), 2007.
- Elosegi, A. y S. Sabater. "Conceptos y Técnicas en Ecología fluvial". Fundación BBVA, 73 pp. Primera edición. Bilbao (España), 2009.
- Gamboa, M., R. Reyes y J. Arrivillaga. "Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental". *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 48(2008): 109-120.
- Gudmundsdottir, R., S. Pálsson, E. R. Hannesdottir, J. S. Olafsson, G. M. Gíslason y B. Moss. "Diatoms as indicators: the influences of experimental nitrogen enrichment on diatom assemblages in sub-Arctic streams". *Ecological indicators*, 32(2013): 74-81.
- Kelly, M., C. Bennett, M. Coste, C. Delgado, F. Delmas, L. Denys, L. Ector, C. Fauville, M. Ferreol, M. Golub, A. Jarlman, M. Kahlert, J. Lucey, B. Chathain, I. Pardo, P. Pfister, J. Picinska-Faltynowicz, J. Rosebery, C. Schranz, J. Schaumburg, H. van Dam y S. Vilbaste. "A comparison of national approaches to setting ecological status boundaries in phytobenthos assessment for the European Water Framework Directive: results of an intercalibration exercise". *Hydrobiologia* 621, (2009):169-182.
- Larson, C. y S. Passy. "Taxonomic and functional composition of the algal benthos exhibits similar successional trends in response to nutrient supply and current velocity". *FEMS microbiology ecology*, 80(2012):352-362.
- Li, L., B. Zheng y L. Liu. "Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends". *Procedia environmental sciences*, 2(2010): 1510-1524.
- Lobo E. y H. Kobayasi. "Shannon's diversity index applied to some freshwater diatom assemblages in the Sakama River System (Kamagawa Pref, Japan) and its use as an indicator of water quality". *Jnp J phycol (Sorui)*, 38(1990): 229-243.
- Malmqvist, B. y S. Rundle. "Threats to the running water ecosystems of the world". *Environment Conservation*, 29(2002):134-153.
- Osiris de León, R. "Problemática ambiental de la extracción de agregados fluviales en la República Dominicana y propuesta de alternativas". *Boletín Geológico y Minero*, 117(2010): 747-762.
- Prat, N., M. Rieradevall y P. Fortuño. "Metodología F.E.M. para la evaluación del estado ecológico de los ríos mediterráneos". Barcelona: Universidad de Barcelona (España), 2012. Recuperado de: [http://www.ub.edu/fem/docs/protocols/fem\\_%20prot\\_cast\\_2012.pdf](http://www.ub.edu/fem/docs/protocols/fem_%20prot_cast_2012.pdf).
- Soler, A., M. Pérez, E. Aguilar y I. Villarreal. "Autoridad del Canal de Panamá". Universidad de Panamá. Diatomeas del canal de Panamá, Bioindicadores y otros estudios pioneros. Panamá: ACP. *Revista de Investigación de la Universidad de Panamá Scientia*, 23(2012): 27-34.
- Valcárcel R., "Evaluación de la degradación de ecosistemas dulceacuícolas en la cuenca baja del río Utcubamba mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos". Tesis para optar al título profesional de Biólogo con mención en Hidrobiología y Pesquería.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
Perú, 2011.

Wellnitz, T. A., y J. V. Ward. "Herbivory and irradiance shape periphytic architecture in a Swiss alpine stream". *Limnology and Oceanography*, 45(2000): 64-75.

Wetzel, R. G. "Limnology". Saunders College Publishing, Philadelphia (United States of America), 1983.