



Diatomeas epilíticas asociadas a la calidad de agua del río Illuchi, Latacunga, Ecuador

Epilithic diatoms associated with the water quality of the Illuchi River, Latacunga, Ecuador

Diatomáceas epilíticas asociadas à qualidade da água do rio Illuchi, Latacunga, Equador

Manuel Patricio Clavijo Cevallos / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / manuel.clavijo@utc.edu.ec

Diana Carolina Gallegos / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / diana.gallegos0732@utc.edu.ec

Cinthia Vilela Muñoz / Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador / cinthia.vilela7523@utc.edu.ec

Recibido: 5/5/2021

Aceptado: 28/3/2022

Publicado: 2/5/2022

RESUMEN

La calidad del agua en la provincia Cotopaxi ha sido objeto de análisis debido a la utilidad de este recurso para la población, lo cual sirve como punto de referencia para la detección de los niveles de contaminación en el río Illuchi. El objetivo del estudio fue determinar el índice de calidad del agua mediante parámetros físicos, químicos y microbiológicos. En los dos primeros se tuvieron en cuenta variables abióticas; mientras que en el tercero se trabajaron variables bióticas, específicamente la identificación taxonómica de diatomeas presentes en los sistemas acuáticos. Se tomaron tres puntos de muestreo: laguna Salayambo (P1), hacienda Noelanda (P2) y barrio Saragosín (P3), identificándose 31 especies de *diatomeas epilíticas* a lo largo del río. El cálculo del índice de calidad del agua arrojó valores para el punto 1 de 70.18, cuya calificación es regular y de tipo oligotrófico, el punto 2 un valor de 52.2, su estado regular de tipo β -mesotrófico y el punto 3 de 46.87 con una calidad mala de tipo α -mesotrófico. Se pudo concluir que existe una relación entre las diatomeas y la calidad del agua; además se evidenció el incremento de la contaminación debido a la agricultura, ganadería y los asentamientos humanos.

Palabras clave: bioindicadores, contaminación hídrica, índice de calidad del agua, índice trófico de calidad del agua

ABSTRACT

The quality of the water in the Cotopaxi province has been the object of analysis due to the usefulness of this resource for the population, which serves as a reference point for the detection of contamination levels in the Illuchi River. The objective of the study was to determine the water quality index through physical, chemical and microbiological parameters. In the first two, abiotic variables were taken into account; while in the third, biotic variables were worked on, specifically the taxonomic identification of diatoms present in aquatic systems. Three sampling points were taken: Laguna Salayambo (P1), Hacienda Noelanda (P2) and Barrio Saragosín (P3), identifying 31 species of epilithic diatoms along the river. The calculation of the water quality index yielded values for point 1 of 70.18, whose qualification is regular and of oligotrophic type, point 2 a value of 52.2, its regular state of type β -mesotrophic and point 3 of 46.87 with a poor quality α -mesotrophic type. It was concluded that there is a relationship between diatoms and water quality; In addition, the increase in contamination due to agriculture, livestock and human settlements was evidenced.

Keywords: bioindicators, trophic index of water quality, water pollution, water quality index

RESUMO

A qualidade da água na província de Cotopaxi tem sido objeto de análise devido à utilidade deste recurso para a população, que serve como ponto de referência para a detecção de níveis de contaminação no rio Illuchi. O objetivo do estudo foi determinar o índice de qualidade da água através de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Nos dois primeiros, foram consideradas as variáveis abióticas; enquanto na terceira foram trabalhadas variáveis bióticas, especificamente a identificação taxonômica de diatomáceas presentes em sistemas aquáticos. Três pontos de amostragem foram realizados: Laguna Salayambo (P1), Hacienda Noelanda (P2) e Barrio Saragosín (P3), identificando 31 espécies de diatomáceas epilíticas ao longo do rio. O cálculo do índice de qualidade da água rendeu valores para o ponto 1 de 70.18, cuja qualificação é regular e de tipo oligotrófico, ponto 2 um valor de 52.2, seu estado regular de tipo β -mesotrófico e ponto 3 de 46.87 com qualidade ruim tipo α -mesotrófico. Concluiu-se que existe uma relação entre as diatomáceas e a qualidade da água; Além disso, evidenciou-se o aumento da poluição devido à agricultura, pecuária e assentamentos humanos.

Palavras chave: bioindicadores, poluição da água, índice de qualidade da água, índice trófico de qualidade da água

INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, la calidad del agua depende fundamentalmente de las características de la cuenca hidrográfica, especialmente de los suelos y la geología; pero es la actividad

antrópica la más influyente en la contaminación de los ríos. La intensa actividad agrícola y ganadera, unido a la continua urbanización a lo largo de las subcuencas de los ríos es-

tudiados, constituyen la principal fuente de contaminación. En tal sentido, Pauta-Calle *et al.* (2019) plantea que «disponer de agua para bebida con requisitos de calidad es muy difícil para algunos sectores de la población que utilizan estas fuentes de abastecimiento» (p.2).

En su investigación Sánchez (2019) menciona que existen algunas zonas a nivel planetario que se libran de que sus aguas continentales estén en mal estado. El incremento de industrias aumenta la gama de tóxicos que terminan en ríos, lagos o aguas subterráneas como microplásticos y restos de productos farmacéuticos, cuyos efectos sobre la salud todavía no se pueden cuantificar debido a la falta de estudios.

La presente investigación estuvo dirigida al análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local; más aún cuando se habla de la preservación de espacios acuáticos. Se conoce que el recurso hídrico es un factor clave para el desarrollo socioeconómico del país, por su vinculación de manera directa con las actividades agrícolas, ganaderas y mineras. En tal sentido, cada país es responsable de velar por la calidad de las fuentes hídricas. En Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAAE, 2017), es la autoridad encargada de tomar las medidas preventivas y correctivas de acción directa que permitan eliminar los procesos contaminantes, solicitar la regularización ambiental y tomar acciones legales en contra de los responsables; de acuerdo con la norma legal vigente.

Según Ulloa (2016) la ausencia de una eficiente planificación transforma los ríos de

Latacunga en focos de riesgo y contaminación ambiental. En la actualidad estos se han convertido en verdaderas cloacas donde se depositan los residuos de forma directa, y en muchas ocasiones, sin pasar por un tratamiento mínimo a los cuerpos de agua. La principal actividad que incide en la calidad del agua son las descargas de aguas residuales, ya que se considera una fuente de contaminación por la falta de tratamiento posterior a su uso, debido a las falencias en cobertura de saneamiento, incidiendo en el ciclo del agua (Gamarra *et al.*, 2018).

Andrade (2018), manifiesta que las diatomeas son microorganismos que presentan diversos límites de tolerancia a diferentes alteraciones del ambiente. Es por ello, que se reconoce que las diatomeas poseen características como ser «insensibles» cuando no soportan nuevas condiciones ambientales, comportándose como «intolerantes»; mientras que otras son «tolerantes» al no verse afectadas por estos cambios ambientales. Es por esta razón que se utilizan como bioindicadores para determinar la calidad del agua donde viven, reconociendo estas cualidades se pueden considerar como organismos que en un momento dado pueden evaluar el cambio climático a través de las variaciones de las condiciones ambientales.

Según Ólafsson (2019), las diatomeas son algas microscópicas unicelulares fotosintéticas capaces de absorber cerca de la mitad de dióxido de carbono en el medio acuático y generan una quinta parte del oxígeno que se respira. También transportan el carbono desde la atmósfera hacia las aguas profun-

das y los sedimentos acuáticos; a este proceso se le denomina *bomba biológica*, el cual contribuye a regular el clima de la Tierra.

Con relación a lo anterior, EcuRed (2019) indica que, las diatomeas se originaron durante o después del periodo Jurásico Temprano. El estudio de las comunidades de diatomeas es importante, pues permite determinar la condición del agua y evaluar la evolución del ambiente. Estas algas se encuentran en cualquier tipo de hábitat que pueden ir desde los salados mares hasta condiciones de altas temperaturas que hacen el ambiente extremadamente seco; además pueden interactuar con otros organismos como las cianofíceas.

La investigación tuvo como finalidad identificar las *diatomeas epilíticas* relacionadas con la calidad de agua en tres puntos de muestreo en el río Illuchi por medio del análisis comparativo de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, cumpliendo con la normativa ambiental vigente en Ecuador. La importancia del estudio radica en el uso de bioindicadores acuáticos como determinantes de la calidad del agua por sus características biológicas y de adaptación que estas presentan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los puntos de muestreo se ubicaron en área estratégicas, en función del grado de contaminación, punto alto, medio y bajo como se puede observar en la *figura 1* y *tabla 1*. El punto 1 se encuentra próximo al nacimiento del río, cerca de la laguna de Salayambo perteneciente al Parque Nacional Llanganates, área protegida de Ecu-

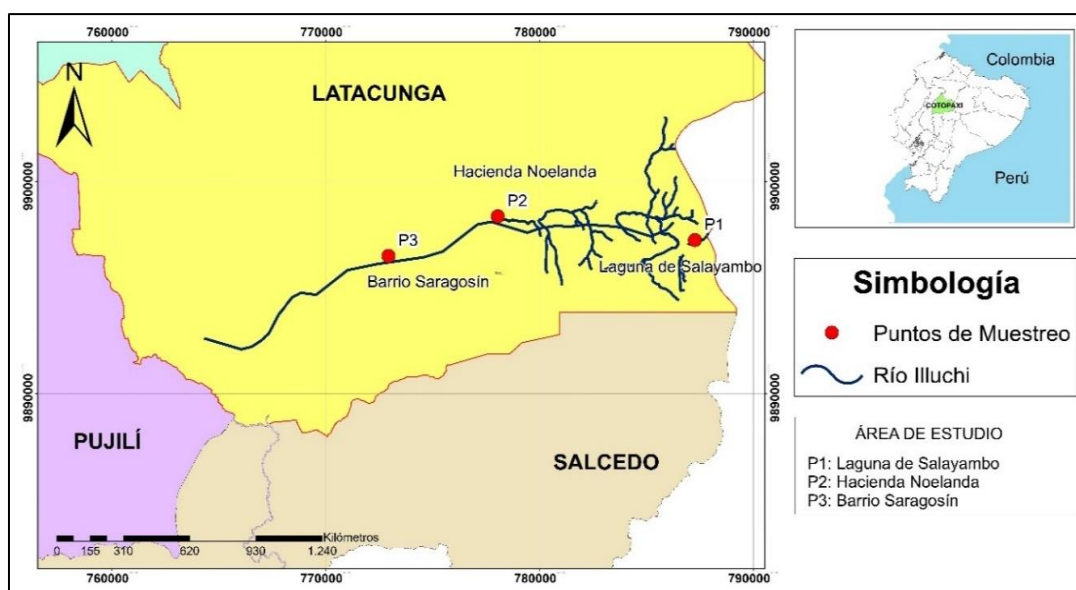
dor, correspondiente a la provincia Cotacachi a una altura de 3848 msnm (páramo andino). El punto 2 se ubicó cerca de la hacienda Noelanda, a una altura de 3428 msnm, donde existen varias zonas de cultivo que la población tiene como medio de sustento principal, y finalmente el punto 3 se ubicó cerca del barrio Saragosín, a una altura de 2962 msnm, en cuyo sitio se encuentra la hidroeléctrica Illuchi 2, donde se desarrolla la pesca deportiva. En este último punto existe un incremento poblacional con asentamientos humanos en los alrededores que utilizan el agua para riego agrícola (*figura 1*).

Para la selección de los puntos de muestreo del estudio se tuvo en cuenta la presencia de fuentes contaminantes antrópicas, ya sea por el uso de plaguicidas y productos químicos en los cultivos agrícolas o por la deposición de aguas residuales de los asentamientos humanos al río. Su ubicación espacial se realizó mediante la georreferenciación. Posteriormente se procedió a la recolección de las muestras de agua para enviarlas al laboratorio acreditado *Labsag*. Los datos obtenidos sirvieron para el cálculo de los índices de calidad del agua, cuyo resultado es comparado con la normativa ambiental ecuatoriana vigente y que pueden ser consultados en el *Tratado Unificado de Legislación Ambiental Secundaria de Medio Ambiente* y en el *Código Orgánico Ambiental*. De igual modo se tomaron muestras para la identificación de las especies de *diatomeas epilíticas* en los tres puntos a lo largo del río, durante tres meses.

Los métodos utilizados en la investigación están relacionados con el análisis de la calidad del agua, para luego pasar a un proceso de observación y comparación tanto

en el campo como en el laboratorio de los bioindicadores a través de un análisis cuali-cuantitativo de los especímenes de diatomeas.

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo de la microcuenca del río Illuchi



Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Puntos de muestreo en la microcuenca del río Illuchi

Código	Río	Ubicación	Puntos	Coordenadas (UTM)
1	Illuchi	Laguna de Salayambo	Alto	787263; 9897241
2	Illuchi	Hacienda Noelanda	Medio	778042; 9898362
3	Illuchi	Barrio Saragosín	Bajo	772933; 9896495

Fuente: Elaboración propia

Método de muestreo de diatomeas epilíticas

Para el proceso de toma, conservación y tratamiento de las muestras se utilizaron recipientes de un litro de capacidad para ensayos físico- químicos. En el caso de los ensayos microbiológicos se usaron recipientes de 150 ml sellados y esterilizados; y para muestras de diatomeas recipientes de 250 ml. Todos los recipientes fueron ro-

tulados, con fecha, punto de muestreo y responsable, de acuerdo con lo que indica la Norma ISO 5667-6:2014 (Organización Internacional de Normalización, 2014) sobre el protocolo de manejo de muestras de investigación.

Para la recolección de muestras de diatomeas en el río se siguió la metodología propuesta por Lobo *et al.* (2016), se-

leccionando por cada punto entre tres y cinco piedras sumergidas con un tamaño de entre 15 y 20 cm de diámetro y a una profundidad de 5 cm. Procurando que tuvieran una coloración parda ya que es un indicativo de presencia de diatomeas. Posteriormente se procedió a cepillar la parte superior de las piedras, evitando las áreas de erosión y sedimentación. Luego se realizó un lavado con agua destilada, recolectando aproximadamente 500 ml de muestra en una botella plástica, por último, se etiquetó y colocó en un contenedor para su conservación y transporte al laboratorio (Sala *et al.*, 2015).

Tratamiento de muestras de diatomeas

Fase de laboratorio

En este caso se consideró la metodología planteada por Lobo *et al.* (2016), quienes plantean que las muestras de las diatomeas se colocan en tubos Falcón 5 ml de muestra y 10 ml de ácido sulfúrico. Se trasvasa a un vaso de precipitado y se diluye con 150 ml de agua destilada, luego se lleva a la campana extractora de gases donde se deja en ebullición en una estufa durante 60 minutos. Posteriormente se deja enfriar y una vez fría la muestra se colocan 0.04 gr de dicromato de potasio y se lleva nuevamente al vaso de precipitado donde se calienta por 60 minutos a 90°C, luego se deja reposar por 24 horas.

Transcurrido el tiempo indicado se centrifuga a 3000 rpm por dos minutos, después se retira el sobrenadante, se vierte agua destilada hasta 10 ml a modo de enjuague y se centrifuga nuevamente (repetir seis veces). Ya retirado el sobrenadante se co-

locan 2 ml de ácido clorhídrico y 10 ml de agua destilada, se lleva a un vaso de precipitado, se procede a hervir por 30 minutos y se deja enfriar la muestra. Una vez fría se centrifuga a 3000 rpm por dos minutos, se retira el sobrenadante, se añaden 10 ml de agua destilada a modo de enjuague, se centrifuga nuevamente y se retira el sobrenadante, obteniendo la muestra de diatomeas para su identificación.

Para el proceso de preparación de placas se tomaron dos gotas de muestra que se colocaron en el portaobjetos y luego en la plancha de calentamiento a 50°C. A continuación, se añadieron dos gotas de agua destilada, dos gotas de alcohol al 70% y se espera hasta que la muestra se seque. Una vez seca la muestra, se tomó el portaobjetos y se puso una gota de Naphrax, que es un reactivo de montaje con un elevado índice de refracción; posteriormente se colocó en la plancha de calentamiento a 200°C, quedando la placa lista para su observación en el microscopio.

Para identificar y contar las *diatomeas epilíticas* se siguió el procedimiento propuesto en la Norma Europea (EN) 14407 – versión 2004. Se utilizó el microscopio óptico *Leica DM750*, adaptado con una platina mecánica y un objetivo de inmersión para obtener un aumento elevado de 100x. Lentamente se realizó un barrido vertical en el portaobjeto para ubicar las diatomeas y realizar una fotografía con las correspondientes medidas para proceder a la identificación taxonómica de cada especie y comparar los resultados con diferentes fuentes y estudios realizados en Ecuador (Uvillus, 2017; Castillejo *et al.*, 2018).

Determinación del índice de calidad del agua

El cálculo del índice de calidad del agua se realiza mediante una relación de los valores obtenidos en el análisis del agua en el laboratorio de nueve parámetros: coliformes fecales (Standard Methods APHA-AWWA-WPCF), pH (Multiparámetro Basic), DBO5 (Standard Methods Ed 23, 2017, 5210 B, 4500 O-C), nitratos (Standard Methods Ed 23, 2017, 4500 NO3, A y B), fosfatos (Standard Methods Ed 23, 2017, 4500 P-C), temperatura (Test laboratory Basic), turbidez (Test laboratory Basic), sólidos

disueltos totales (Standard Methods Ed 23, 2017, 2540 A y B) y oxígeno disuelto (HACH Nro. 8000 1299 T Ed.). Como dato complementario para el cálculo del índice trófico del agua se determinó el nivel de clorofila existente en los puntos de estudio. En la actualidad su aplicación y uso es cada vez más frecuente para identificar las tendencias integradas a los cambios en la condición del agua.

En la *tabla 2* se indica la escala de interpretación de la calidad del agua que va desde muy malo hasta excelente, en relación con los parámetros mencionados.

Tabla 2. Rangos para determinar el Índice de calidad del agua

Valor del índice de calidad del agua (ICA)	Calificación
Excelente	91 – 100
Bueno	71 – 90
Regular	51 – 70
Malo	26 – 50
Muy malo	0 – 25

Fuente: Posselt y Costa (2010)

Determinación del índice trófico de calidad del agua

Para el cálculo de este índice se aplicó la fórmula propuesta por Lobo *et al.* (2016), el mismo que toma como criterio operacional o gradiente ambiental la eutrofización, cuyos valores tróficos van de 1 hasta 4 en dependencia de los niveles de tolerancia de eutrofización (*tabla 3*).

Para el cálculo se utilizó la ecuación:

$$ITQA = \frac{\sum (vt \times h)}{\sum h}$$

Donde

ITQA = Índice trófico de calidad del agua

vt = Valor trófico de las especies

h = Abundancia relativa de las especies

Tabla 3. Valor trófico de especies

Niveles de contaminación	Índice trófico de calidad del agua
Oligotrófico - polución despreciable	1.0 - 1.5
β -mesotrófico - polución moderada	1.5 - 2.5
α -mesotrófico - polución fuerte	2.5 - 3.5
Eutrófico - polución excesiva	3.5 - 4.0

Fuente: Lobo et al. (2016)

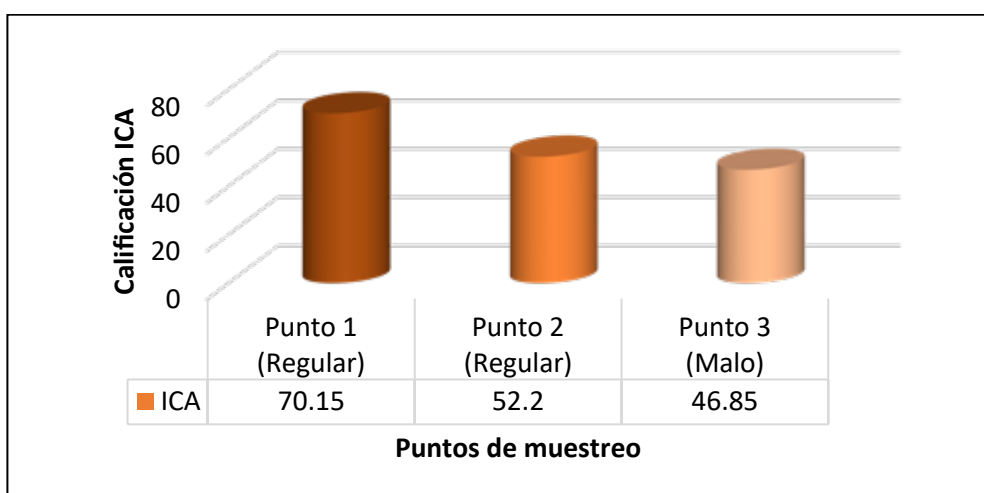
RESULTADOS

Índice de calidad del agua

El índice de calidad del agua (ICA) se calculó aplicando los resultados obtenidos de los nueve parámetros físicos, químicos y microbiológicos, cuyos resultados se muestran en la figura 2. El punto 1, ubicado en la laguna de Salayambo, tiene un valor medio equivalente a 70.1 con una calificación de regular, lo que indica que el agua requiere mínima purificación para considerarla apta para el

consumo humano. Por su parte el punto 2, en la hacienda Noelanda, arrojó un valor de 52.2 con una calificación de regular; mientras que el punto 3 en el barrio Saragosín presentó un valor de 46.8 con una calificación de mala, siendo el punto de muestreo más contaminado debido a la descarga de aguas residuales domésticas y a la interacción de actividades humanas como la pesca deportiva y la agricultura sobre el caudal del río.

Figura 2. Resultados promedio ICA para los tres puntos de muestreo de macroinvertebrados en la microcuenca del río Illuchi



Fuente: Elaboración propia

Índice trófico de calidad del agua

Para determinar el índice trófico de calidad del agua (ITCA) se asignaron valores tróficos a las

especies abundantes que se encontraron en los puntos 1, 2 y 3, obteniendo los resultados que aparecen en las *tablas 4, 5 y 6*.

Tabla 4. Índice trófico de calidad del agua en el punto 1 ubicado en la laguna de Salayambo

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia relativa (%)
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	126	2.6	6.07
<i>Fragilaria arcus</i>	257	4	12.38
<i>Fragilaria ulna</i>	145	3	6.98
<i>Melosira varians</i>	153	4	7.37
<i>Nitzschia acicularis</i>	119	2	5.73
<i>Nitzschia linearis</i>	135	3	6.50
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	176	4	8.48
<i>Tabellaria flocculosa</i>	111	1.5	5.35
ITCA	1.41	Oligotrófico (contaminación despreciable)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Índice trófico de calidad del agua en el punto 2 ubicado en la hacienda Noelanda

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia elativa (%)
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	114	4	5.49
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	202	2.6	9.73
<i>Diatoma mesodon</i>	92	4	4.43
<i>Epithemia turgida</i>	251	4	12.09
<i>Fragilaria arcus</i>	157	4	7.56
<i>Grunowia sinuata</i>	138	4	6.65
<i>Melosira varians</i>	91	4	4.38
<i>Pinnularia maior</i>	149	2.5	7.18
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	102	4	4.91
ITCA	1.53	β-mesotrófico (Contaminación moderada)	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Índice trófico de calidad del agua en el punto 3 ubicado en el barrio Saragosín

Especies de diatomeas epilíticas	Abundancia	Valor trófico	Abundancia relativa (%)
<i>Cocconeis lineata</i>	363	4	17.49
<i>Diatoma mesodon</i>	267	4	12.86
<i>Epithemia turgida</i>	129	4	6.21
<i>Fragilaria arcus</i>	119	4	5.73
<i>Fragilaria ulna</i>	110	3	5.30
<i>Gomphonema clavatum</i>	234	4	11.27
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	339	4	16.33
ITCA	2.61	α-mesotrófico (Contaminación fuerte)	

Fuente: Elaboración propia

En la *tabla 7* se relacionan las especies de *diatomeas epilíticas* que presentan mayor abundancia en cada punto muestreado.

Tabla 7. Especies de diatomeas epilíticas por su abundancia en cada punto de muestreo

Especies de diatomeas Punto 1	Especies de diatomeas Punto 2	Especies de diatomeas Punto 3
<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	<i>Achnantheidium minutissimum</i>	<i>Cocconeis lineata</i>
<i>Fragilaria arcus</i>	<i>Cyclostephanos invisitatus</i>	<i>Diatoma mesodon</i>
<i>Fragilaria ulna</i>	<i>Diatoma mesodon</i>	<i>Epithemia turgida</i>
<i>Melosira varians</i>	<i>Epithemia turgida</i>	<i>Fragilaria arcus</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Fragilaria arcus</i>	<i>Fragilaria ulna</i>
<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Grunowia sinuata</i>	<i>Gomphonema clavatum</i>
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	<i>Melosira varians</i>	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
<i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Pinnularia maior</i>	
	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	

Fuente: Elaboración propia

Resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua

Tabla 8. Resultados de los análisis de laboratorio sobre los parámetros físicos, químicos y microbiológicos

Parámetros	T (°C)	pH	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Coliformes totales (UFC/100ml)	Sólidos disueltos (mg/L)	Turbidez (NTU)
Noviembre									
Punto 1	9	6.17	21.9	4.43	0.03	0.537	400	29	1.49
Punto 2	15	7.10	22.1	3.96	0.14	0.465	15 000	34	1.64
Punto 3	13	6.90	30.9	2.62	0.01	0.662	27 000	20	2.0
Diciembre									
Punto 1	9	5.35	17.6	0.27	0.04	0.513	800	50	1.85
Punto 2	12	6.20	16.2	4.68	0.15	0.424	10 000	140	0.90
Punto 3	14	5.80	21.9	5.36	0.02	0.618	70 000	96	3.23

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológico (tabla 8) se tiene que la *temperatura* del agua en el río Illuchi a lo largo de los puntos muestreados varía, esto debido a condiciones geográficas como la altitud y el clima de cada uno de los puntos de muestreo. En lo que se refiere a los valores de *potencial hidrógeno* (pH) registrados en los tres puntos, se cumple con la normativa ambiental ecuatoriana referente al recurso agua para actividad de riego agrícola, que está en el rango de 6 a 9.

El *oxígeno disuelto* en el punto 1 es de 21.9 mg/L en noviembre y 17.6 mg/L en diciembre, teniendo un promedio de 19.75 mg/L; parámetro que disminuye en el punto 2 en noviembre de 22.1 mg/L a 16.2 mg/L en diciembre, teniendo un promedio de 19.15 mg/L; esto se debe a una disminución del caudal del río. En el punto 3 existe un aumento de los valores en noviembre

de 30.9 mg/L y de 21.9 en diciembre con un promedio de 26.4 mg/L, pues en esta parte el río posee mayor caudal debido a la presencia de la hidroeléctrica Illuchi 2 que abre sus compuertas, provocando que se alcancen valores que están fuera del límite máximo permisible de acuerdo al *Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente* (TULSMA) (Ministerio del Ambiente, 2017).

Los valores de *nitratos* en los puntos muestreados son bajos y varían entre 0.014 a 0.145 mg/L durante los tres meses de estudio; dichos valores se encuentran dentro de los límites permisibles. Por su parte la *demanda bioquímica de oxígeno* es un parámetro que indica cuanto oxígeno necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica presente en el agua. En la *tabla 8* se observa que existe una variación en cada punto; esto se debe a la existencia de vertimientos de aguas residua-

les de uso doméstico, factor que incide de forma considerable en este parámetro.

Con relación a los *fosfatos* se observa que en todos los puntos existe una variación durante los meses muestreados, oscilando entre 0.42 mg/L y 0.66 mg/L. Lo anterior se debe al enriquecimiento excesivo de nutrientes en el medio acuático; proceso que coadyuva la eutrofización del agua por el crecimiento acelerado de algas fitoplanctónicas debido a la presencia de fertilizantes, excremento humano y animal que se van incorporando a lo largo del cauce del río.

Otro de los parámetros analizados fue la presencia de *coliformes totales*, evidenciándose un considerable aumento a lo largo del cauce del río. Este comportamiento se debió, entre otros factores, al crecimiento poblacional y la no existencia de un sistema de alcantarillado que implica que todo es vertido al río directamente. Para los *sólidos totales* tomados en cada punto se observa un aumento entre los puntos 1 y 2, lo que se debe fundamentalmente al grado de contaminación que va adquiriendo el cuerpo de agua.

El parámetro de *turbidez*, que es uno de los más importantes al momento de estudiar la calidad del agua, pues indica si existe o no contaminación en los cuerpos de agua. A medida que se encuentre más sucio, el nivel de turbidez será más alto. En el caso de los puntos muestreados los valores obtenidos aumentan ligeramente entre los puntos 1 y 2, indicando que el río Illuchi posee sólidos en suspensión.

DISCUSIÓN

Con referencia a los resultados obtenidos del índice de calidad del agua, estos se relacionan con los niveles de contaminación obtenidos con el *índice trófico de calidad del agua* de las especies de *diatomeas epilíticas* encontradas en cada uno de los puntos de muestreo del río Illuchi. Para el índice de calidad del agua del punto 1 se obtuvo un resultado de 70.18 con una calificación de *regular*, mientras que en el punto 2 se obtuvo un valor de 52.2 y una calificación de *regular* y por último en el punto 3 con un valor de 46.8 siendo la calificación *mala*.

Para el *índice trófico de calidad del agua*, se obtuvo para el punto 1 un valor de 1.41 indicando que es de tipo *oligotrófico*, es decir su contaminación es *despreciable*. Para el punto 2 el valor fue de 1.53, siendo *β-mesotrófico*, que representa una *contaminación moderada* y para el punto 3 arrojó un valor de 2.61 con un estado *α-mesotrófico*, que indica *contaminación fuerte*. Del análisis se desprende que para los puntos 2 y 3 se asocian los dos índices analizados, evidenciándose que a medida que aumentan los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos tales como turbidez, fosfatos y coliformes totales se incrementa la cantidad de individuos de *diatomeas epilíticas* en estos trayectos.

Los parámetros que se encuentran elevados en el punto 2 son *nitratos* y *sólidos totales*, debido a las descargas de la producción agrícola de chocho, papa, maíz

y cebada cerca del sector de la hacienda Noelanda, y a factores antrópicos como los desechos de la agricultura y ganadería que son arrojados hacia el río Illuchi sin tratamiento previo. Por otro lado, cabe recalcar que existe un menor porcentaje de incidencia de factores climáticos en el aumento de la clorofila en el punto 1 (laguna de Salayambo) debido a las bajas precipitaciones en el mes de diciembre de acuerdo con los datos obtenidos del Instituto de Meteorología e Hidrología del Ecuador. En el punto 2 este mismo fenómeno hizo que el agua se estanque en el trayecto, ocasionando que se enriquezca de nutrientes, produciendo niveles altos de eutrofización y por ende un incremento en la abundancia de individuos de *diatomeas epilíticas*.

El punto 3 arrojó una calidad del agua mala para el *índice de calidad del agua* y una contaminación fuerte para el *índice trófico de calidad del agua*, esto debido a los vertidos de los ganaderos al río. En la fase de campo se pudo evidenciar la existencia de criaderos de ganado porcino y vacuno cuyos residuos son vertidos directamente al cuerpo de agua. Otros factores importantes que alteran el estado del río Illuchi están relacionados con las actividades recreativas que se realizan, como la pesca deportiva en San Nicolás, cerca del barrio Saragosín, el cual los fines de semana es visitado por turistas nacionales y extranjeros que contaminan el área.

El *índice trófico de calidad del agua* proporcionó resultados sobre los niveles de contaminación. Para el punto 1 es de tipo oligotrófico (contaminación despreciable) y las *diatomeas epilíticas* identificadas

pueden vivir en un ambiente con niveles bajos de nutrientes debido a que la contaminación en este punto es mínima. En el caso del punto 2 es de tipo β -mesotrófico (contaminación moderada) donde la concentración de nutrientes es mesurada y las microalgas encontradas en este trayecto toleran las condiciones ambientales del río. Por último, el punto 3 es de tipo α -mesotrófico (contaminación fuerte) donde las especies diatomeas identificadas tiene un elevado nivel de tolerancia a la contaminación excesiva del río.

Los resultados obtenidos tienen relación con el estudio realizado por Uvillus (2017) en el río La Compañía, cantón Mejía, Pichincha, a niveles de altura similares al del presente estudio, presentando valores similares de contaminación: oligotrófico, β -mesotrófico y α -mesotrófico en los tres puntos muestreados. De ahí que se pudo comprobar que los indicadores bióticos son el complemento de los análisis físicos, químicos y microbiológicos para una adecuada evaluación del *índice de calidad de agua*.

Finalmente, lo expresado en el párrafo anterior concuerda con la investigación de Urrea y Sabater (2009), quienes mencionan que el uso de microorganismos unicelulares como bioindicadores pueden ir desde un control rutinario de la calidad de agua ya sea en ríos, lagos o lagunas, hasta la evaluación del impacto de la contaminación debido a causas naturales o antropogénicas, puesto que estos indicadores bióticos son sensibles a las condiciones ambientales y crecen en cortos periodos de tiempo.

CONCLUSIONES

Durante el estudio se recolectaron 6228 individuos pertenecientes a 31 especies de *diatomeas epilíticas* en los tres puntos de muestreo durante los meses de noviembre-diciembre de 2020 y enero de 2021. En el punto 1 (laguna de Salayambo) se recolectaron 1626 individuos, identificándose 29 especies, de las cuales 8 son abundantes: *Cyclostephanos invisitatus*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria ulna*, *Melosira varians*, *Nitzschia acicularis*, *Nitzschia linearis*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Tabellaria flocculosa*. En el punto 2 (hacienda Noelanda) se colectaron 2579 individuos pertenecientes a 30 especies, de ellas 9 son abundantes: *Achnanthis minutissimum*, *Cyclostephanos invisitatus*, *Diatoma mesodon*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria arcus*, *Grunowia sinuata*, *Melosira varians*, *Pinnularia maior*, *Rhoicosphenia abbreviata*. En el punto 3 (barrio Saragosín) se recogieron 2023 individuos, pertenecientes a 31 especies, de las cuales 7 son abundantes: *Cocconeis lineata*, *Diatoma mesodon*, *Epithemia turgida*, *Fragilaria arcus*, *Fragilaria ulna*, *Gomphonema clavatum*, *Rhoicosphenia abbreviata*.

El *índice de calidad del agua* para el río Illuchi se calculó mediante el estudio de parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Por su parte para la obtención de los valores de *índice de calidad del agua* se

utilizó el programa *IQAData*. Ambos indicadores permitieron determinar el uso del agua, clasificando los datos obtenidos teniendo en cuenta los rangos establecidos por Posselt y Ben (2010) sobre calidad del agua. Por consiguiente, para el punto 1, se obtuvo una media de 70.18 indicando una calificación de *regular*, que puede ser destinada para consumo humano previo tratamiento y para el riego agrícola. En el punto 2 la calificación fue *regular* con un valor medio de 52.2; con una diversidad baja de vida acuática y uso exclusivo para riego agrícola y ganadería. Por último, en el punto 3 la media fue de 46.87, recibiendo una calificación de *mala*, es decir que el agua no se encuentra en condiciones para el consumo humano y como alternativa en comparación con la normativa ambiental su uso recomendado es para riego agrícola.

El *índice trófico de calidad del agua* fue obtenido mediante la identificación de *diatomeas epilíticas* y su concentración, dando como resultado para el punto 1 un valor de 1.41 correspondiendo al tipo *Oligotrófico* con una contaminación despreciable. En el punto 2 el valor es de 1.53 siendo *β-mesotrófico*, es decir contaminación *moderada* y el punto 3 dio un valor de 2.61 que indica un estado *α-mesotrófico* con una contaminación fuerte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, A. A. (2018). La ciencia en otras palabras: Diatomeas. *Revista de Divulgación Saber Más*, 7(39), 55-56. <https://bit.ly/3jeZFc0>
- Castillejo, P., Chamorro, S., Paz, L., Heinrich, C., Carrillo, I., Salazar, J. G., Navarro, J. C. y Lobo, E. A. (2018). Response of epilithic diatom communities to environmental gradients along an Ecuadorian Andean River. *Comptes Rendus Biologies*, 341(4), 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2018.03.008>
- EcuRed. (18 de abril de 2019). *Diatomeas*. Recuperado el 18 de abril de 2019 de <https://www.ecured.cu/Diatomeas>
- Gamarra, O. A., Barrena, M. A., Barboza, E., Rascón, J., Corroto, F. y Taramona, L. A. (2018). Fuentes de contaminación estacionales en la cuenca del río Utcubamba, región Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 25(1), 179-194. <https://bit.ly/37sbf0r>
- Lobo, E. A., Heinrich, C. G., Schuch, M., Düpont, A., Ben, A., Wetzel, C. E. y Ector, L. (2016). Índice Trófico de Qualidade da Água. Guia ilustrado para sistemas lóticos subtropicais e temperados Brasileiros. Universidade de Santa Cruz do Sul. <https://bit.ly/3jf9aaZ>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (7 de marzo de 2017). *Las descargas de aguas residuales son controladas por el Ministerio del Ambiente*. <https://bit.ly/3jcEdUQ>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Anexo 2. Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados, Libro VI de la Calidad Ambiental. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*. Registro Oficial Edición Especial 2 del 31 de marzo del 2003. Última modificación 2017. <https://bit.ly/35S2Hjg>
- Ólafsson, A. (23 de julio de 2019). *Las diatomeas marinas sincronizan su hundimiento para encontrar pareja*. Ministerio de Ciencia e Innovación de España. <https://bit.ly/35Q1DfN>
- Organización Internacional de Normalización. (2014). *Calidad del agua. Muestreo. Parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua*. ISO 5667-6:2014.
- Pauta-Calle, G., Velazco, M., Gutierrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O. y Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 76–88. <https://doi.org/10.18537/mskn.10.02.08>
- Posselt, E. L. y Ben, A. (2010). *IQA DATA Versão 2010. Manual do programa*. Universidade de Santa Cruz do Sul. 34 pp

- Sala, S. E., Vouilloud, A. A., Plata-Díaz, Y., Pedraza, E. y Pimienta, A. (2015). Taxonomía y distribución de Diatomeas epilíticas registradas por primera vez en Colombia I. *Caldasia*, 37(1), 125-141. <https://bit.ly/3v02seo>
- Sánchez, E. (20 de agosto de 2019). La amenaza invisible del agua contaminada en el mundo. *El País*. <https://bit.ly/3Kgh0gm>
- Ulloa, F. R. (17 de febrero de 2016). Los seis ríos de Latacunga. *Cotopaxi Nuestro*. <https://bit.ly/3v5dAXm>
- Urrea, G. y Sabater, S. (2009). Epilithic diatom assemblages and their relationship to environmental characteristics in an agricultural watershed (Guadiana River, SW Spain). *Ecological Indicators*, 9(4), 693-703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.09.002>
- Uvillus, S. D. (2017). *Caracterización de la composición florística de diatomeas epilíticas asociadas al grado de eutrofización en el río "la Compañía", cantón Mejía* [Tesis de grado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio Institucional <https://bit.ly/3rdesbl>