

Research Article

Epilithic Diatoms as Bioindicators of Water Quality in the Jimbitono River, Morona Santiago, Ecuador

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador

Bolivar Heredia, Patricio Méndez*, Miguel Osorio

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago, Macas, Ecuador

ORCID

Patricio Méndez: <https://orcid.org/0000-0002-4305-8152>

INDEXACIÓN II CONGRESO
INTERNACIONAL DE
CIENCIA Y TECNOLOGIA
MORONA SANTIAGO
CICTMS 2021

Corresponding Author:
Patricio Méndez

Published: 18 April 2024

Production and Hosting by
Knowledge E

© Bolivar Heredia et al. This article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use and redistribution provided that the original author and source are credited.

Abstract

The Jimbitono River water quality was evaluated using epilithic diatoms as bioindicators, extending the Water Quality Index and the Water Quality Trophic Index. Three monitoring stations were found along the Jimbitono River with only one record. Physicochemical parameters such as pH, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, nitrates, phosphates, fecal coliforms, temperature, turbidity, total dissolved solids were analyzed. With the Water Quality Index, regular results were obtained for the PJ-01 and PJ-02 stations and poor for the PJ-03 station, the latter being explained by human interventions that are generated upstream of said station. In the analysis of epilithic diatoms, 1800 diatom organisms corresponding to 56 species were found, of which the most representative were *Craticula molestiformis* with 122 organisms. In the results of the Trophic Index of Water Quality, an oligotrophic level of negligible contamination was acquired for station PJ-01, for PJ-02 a β -mesotrophic level of moderate contamination, and for PJ-03 an α -mesotrophic level of strong pollution. Therefore, the hypothesis of disturbance in water quality due to anthropogenic activities is established.

Keywords: epilithic diatoms, ICA, ITCA, River Jimbitono.

Resumen

Se evaluó la calidad del agua del Río Jimbitono empleando diatomeas epilíticas como bioindicadores, también se determinó el Índice de la Calidad del Agua y el Índice Trófico de la Calidad del Agua. Se establecieron 3 estaciones de monitoreo a lo largo del Río Jimbitono con un solo muestreo. Se analizaron los parámetros fisicoquímicos como pH, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Nitratos, Fosfatos, Coliformes Fecales, Temperatura, Turbidez, Sólidos Totales Disueltos. Con el Índice de Calidad del Agua se obtuvo resultados de Regular para la estación PJ-01 y PJ-02 y Malo para la estación PJ-03, este último se explica por las intervenciones humanas que se generan aguas arriba de dicha estación. En el análisis de las diatomeas epilíticas se encontraron 1800 organismos de diatomeas correspondientes a 56 especies de la cual la más representativa fue la especie *Craticula molestiformis* con 122 organismos. En los resultados del Índice Trófico de la Calidad del Agua se obtuvieron para la estación PJ-01 tiene un nivel oligotrófico de contaminación despreciable, para PJ-02 un nivel β -mesotrófico de contaminación moderada y para PJ-03 un nivel α -mesotrófico de contaminación fuerte. Por lo tanto, se confirmó la hipótesis de la perturbación en la calidad del agua por efecto de las actividades antropogénicas.

Palabras Clave: Diatomeas Epilíticas, ICA, ITCA, Río Jimbitono.

 OPEN ACCESS



1. Introducción

La determinación de la calidad del agua por el medio de empleo de bioindicadores como la aplicación de especies de diatomeas para la determinación del índice de calidad del agua ha sido utilizado en los últimos años como principal fuente de estudios en contaminación de cuerpos de agua, estas especies acuáticas son susceptibles a la contaminación causada de manera antropogénica, de esta manera las propiedades del medio influirán directamente sobre la comunidad biótica. De esta manera, cualquier cambio de presencia o ausencia, cantidad, morfología o conducta de las especies está ligado a una manifestación que indica que las variables fisicoquímicas se encuentran en un límite de tolerancia de estas especies.

Las comunidades de diatomeas epilíticas son influenciadas directamente por factores ambientales como la variación estacional hidrológica, climática y gradientes de amonios y fosfatos. Estos factores determinan el crecimiento y estabilidad de estas microalgas. Las variaciones se manifiestan desde las zonas de cabecera hasta la cuenca baja y su efecto se expresa en diferentes estructuras de comunidades acuáticas. Cuando estas microalgas operan a nivel de la cuenca y tienen influencia de factores intermedios y directos que por su impacto en los tramos, hábitats y sustratos determinan la estructura de la comunidad de diatomeas (1). A esto se puede sumar lo que dice que aumento en las concentraciones de nutrientes en un cuerpo de agua provoca un aumento de biomasa y un empobrecimiento en la diversidad de la comunidad fitobentónica (2).

El presente estudio tiene la intención de evaluar la calidad del agua mediante la utilización de diatomeas epilíticas como bioindicadores donde se procederá a la caracterización de diatomeas epilíticas en el río Jimbitono, a su vez determinar la calidad del agua mediante el Índice de Calidad de Agua (ICA) NSF, determinar y el Índice trófico de Calidad de Agua (ITCA) con base a las diatomeas epilíticas y por último relacionar el Índice de Calidad de Agua (ICA) y el Índice de diversidad con base a las diatomeas epilíticas.

2. Materiales y métodos

2.1. Diseño de la Investigación

La investigación diseñó un análisis mediante la manipulación entre los parámetros fisicoquímicos del agua con la diversidad de especies de las diatomeas, manteniendo el control de las variables, de esta manera se determinó la calidad del agua, para ello se realizó el Análisis Canónico de Correspondencia utilizando Software Past, entre las



identificaciones de las variables tenemos las variables independientes que en este caso es la calidad del agua presente en las estaciones y la variable dependiente como es la diversidad de las diatomeas epilíticas.

2.2. Zona de Estudio

El estudio de la calidad del agua se efectuó en el Río Jimbitono ubicado en un sector de la parroquia Proaño del cantón Morona de la provincia de Morona Santiago. Se usó el software ArcMap 10.5 para delimitar el trayecto del Río junto a las estaciones de monitoreo, cuyos puntos se establecieron con la ayuda de un GPS marca Garmin Etrex 10 en el que se georreferenciaron las siguientes coordenadas:

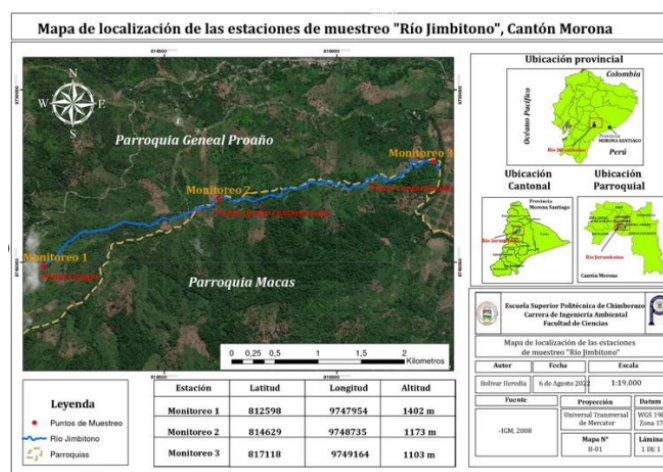


Figura 1

Mapa de Ubicación de las estaciones de muestreo.

2.3. Método de muestreo

El muestreo se realizó in situ, en el río Jimbitono en el cual se estableció tres puntos de monitoreo en los cuales se determinó las características del lugar, el tipo de vegetación que posee, la profundidad del río y velocidad del agua el sitio de estudio. Se realizó el muestreo en un periodo de caudal constante, es decir, en un día de verano en el que el río se mantuvo sin variación de su caudal. Además, para esta actividad se consideró el cuidado de la integridad física para el ingreso y salida del lugar, uso del suelo y actividades antrópicas que se realizaron a lo largo del tramo. El estudio se basa en bibliografía investigada y su análisis se lleva a cabo en equipos de laboratorio y softwares estadísticos (3).



2.4. Método de recolección de datos in situ

Para el empleo del estudio, se realizó la determinación de parámetros fisicoquímicos correspondientes, como son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, con ayuda del equipo multiparamétrico y pHmetro.

2.5. Método de recolección de datos exsitu

Se recabó los datos de los parámetros como son turbidez, sólidos totales, coliformes fecales, nitratos, BDO5, fosfatos, mediante el análisis en laboratorio.

2.6. Recolección de muestra, preparación y procesamiento de diatomeas

La recolección de diatomeas epilíticas se realizó de rocas que se encuentran a las orillas del río.

Las rocas tenían un diámetro de 10 a 20 cm sumergidas a una profundidad aproximada de 10 y 30 cm.

Las rocas se encontraban expuestas a los rayos solares y rodeados en su superficie por la formación de biopelículas de color pardusco.

2.7. Procedimiento de retiro de algas diatomeas

Se tomó una bandeja (en la que pueda fácilmente se incorporó una de las rocas)

Con el cepillo (debe ser de cerdas duras) se frotó la superficie de la roca con el fin de remover la biopelícula.

A la biopelícula removida se aplicó pequeñas cantidades de agua destilada con el fin de lavar lo removido y que se deposite en la bandeja.

Al final se obtuvo una cantidad de líquido depositado en la bandeja.

Este líquido se vertió en un frasco de hermético de 100 ml.

Se colocó 10 ml de solución de formol al 4% (v/v) para fijar el material.

El frasco que contenía la muestra fue debidamente etiquetado con una cinta adhesiva, identificando el sitio de muestreo, la hora, cantidad de muestra y nombre del responsable.

Finalmente, las muestras se guardaron en un lugar fresco para su posterior tratamiento.



2.8. Procesamiento de laboratorio para la muestra de diatomeas

De acuerdo con la Técnica de laboratorio manifestada en Lobo et al. (2016,) para el procesamiento de la muestra, se realizó la metodología que se detalla a continuación:

Se tomó 10 ml del fondo de la muestra y se vertió en un tubo de ensayo al cual se añadió agua destilada.

2. Se llevó la muestra al agitador vórtex para lograr una suspensión de las diatomeas.

3. Se centrifugó el material a 3000 rpm por dos minutos y posterior a ello se desechó el sobrenadante.

4. Se añadió 6ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con ayuda de una pipeta tocando la pared del tubo de ensayo.

5. Se colocó la muestra a hervir por aproximadamente por 1 hora en un vaso de precipitación con pequeños fragmentos de porcelana para evitar el riesgo de quebrar los tubos por el burbujeo del agua y se dejó enfriar.

6. Se añadió 0,8 gramos de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y se calentó a 90 grados centígrados por aproximadamente 1 hora.

7. Se dejó reposar por 24 horas para continuar con el tratamiento.

8. Luego de ello se centrifugó de la muestra a 3000 rpm por dos minutos para retirar el dicromato de potasio, se descartó el sobrenadante en un recipiente para desechos tóxicos.

9. De nuevo se añadió agua destilada a la muestra y se realizó esta operación hasta que la muestra quedara transparente.

10. Se colocó la muestra en tubos más pequeños previamente etiquetados.

11. El siguiente paso fue añadir 2 ml de ácido clorhídrico (HCl) para remover toda la materia orgánica.

12. Se puso la muestra a hervir por aproximadamente 1 hora, se deja enfriar y se descarta el sobrenadante en un recipiente de desechos tóxicos.

13. Se añadió agua destilada al sedimento para llevar nuevamente a centrifugación a 3000 rpm durante 2 minutos.

14. Se realizó esta la operación con el objetivo de retirar todo el HCL de las muestras.

2.9. Fijación de muestra en placa permanente

1. Se tomó un cubreobjetos (18mm x 18mm) y se colocó en la plancha de calentamiento.

2. Se añadió unas gotas de la muestra de diatomeas con ayuda de una pipeta Pasteur.

3. Luego se añadió 2 a 3 gotas de agua destilada para homogenizar la muestra



4. Agregar también algunas gotas de etanol al 70 % para que toda la muestra quede esparcida y no se formen acumulaciones de diatomeas.

5. Se esperó hasta el secado completo del cubreobjetos en la plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 80 grados centígrados, evitando la ebullición de las muestras.

6. Después del secado el cubreobjetos se invirtió y se colocó en un portaobjetos que contiene una pequeña gota de Naphrax, que es un medio de montaje con un alto índice de refracción.

2.10. Índice de la Calidad del Agua

Para la determinación de la calidad del agua según el ICA NSF se aplica la siguiente tabla para de esta manera con los valores obtenidos interpretar el estado en el que se encuentra el agua.

Tabla 1

Tabla del ICA.

Calificación	Rango
Excelente	91-100
Buena	71-90
Media	51-70
Mala	26-50
Muy mala	0-25

2.11. Obtención de valor del Índice Trófico de la Calidad del Agua

Una vez realizado el conteo de las diatomeas de cada una de las estaciones para calcular el Índice Trófico de la calidad del agua se procede a aplicar la siguiente fórmula:

$$ITCA = \frac{\sum(vt * h)}{\sum h}$$

En donde

Vt: Valor trófico de las especies

H: Cantidad de la especie

Una vez ya obtenido el valor del ITCA usando la ecuación anterior se determina el nivel de contaminación basado en la tabla que se presenta a continuación en la que se indica los valores del ITCA que va de 1,0 a 4,0.



Tabla 2

Relación del ITCA con la calidad del agua.

ITCA	Niveles de contaminación
1,0- 1,5	Oligotrófico (contaminación despreciable)
1,5- 2,5	β- mesotrófico (contaminación moderada)
2,5- 3,5	α- mesotrófico (contaminación fuerte)
3,5- 4,0	Eutrófico (contaminación excesiva)

3. Resultados

3.1. Índice de Calidad del Agua

Rio Jimbitono	Estaciones	Valor del Índice	Clasificación
	PJ-01	60,4	Regular
	PJ-02	54,28	Regular
	PJ-03	49,74	Malo

Figura 2

Valores del Índice de Calidad del Agua de la NSF.

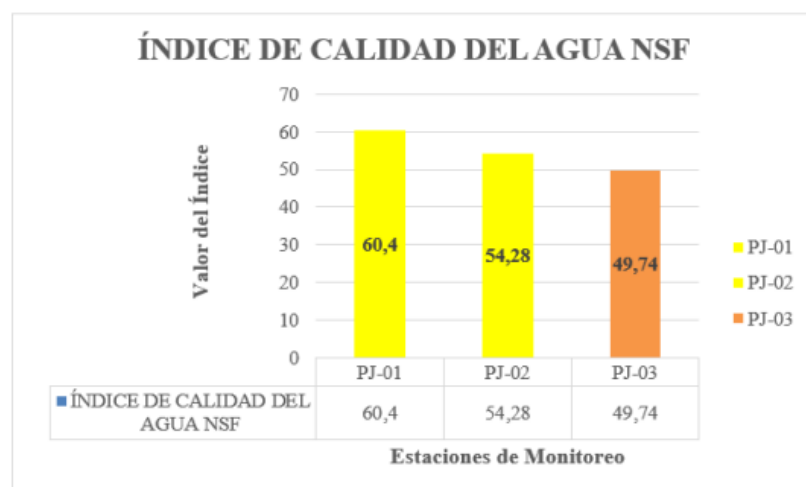


Figura 3

Valores del Índice de Calidad del Agua de la NSF.

Como se indica los resultados obtenidos en la Tabla 4 del monitoreo realizado en el mes de junio, las estaciones PJ-01 Y PJ-02 representan una calidad REGULAR con un



valor del ICA de 60,4 y 54,28 respectivamente, mientras que en la estación PJ-03 con valor del ICA de 49,74 se presentó una calidad MALA esto asumiblemente al incremento marcado de coliformes fecales principalmente seguidos de otros parámetros como nitratos, fosfatos y DBO5 que generó una disminución significativa en los valores del ICA. Las principales causales de la alteración de la calidad del agua en la estación PJ-03 se deben a los asentamientos humanos cerca de las orillas y actividad pecuaria que generan descargas directas de aguas residuales hacia el río lo que produciendo variabilidad en los valores de los parámetros (4).

Parámetro	Unidades	PJ-01	PJ-02	PJ-03
		Resultado	Resultado	Resultado
Temperatura	°C	18,34	19,34	19,08
Oxígeno Disuelto	%Sat	8,91	8,75	8,46
pH		7,41	7,04	6,45
Sólidos Totales	mg/L	0,001	1,7	0,09
Nitratos	mg/L	2,3	2,1	3,8
Fosfatos	mg/L	0,7	1,2	1,2
Turbidez	NTU	16,3	18,4	17,6
DBO	mg/L	6,78	6,98	9,63
Coliformes Fecales	NMP/100ml	180	196	687

Figura 4

Valores de los parámetros de la Calidad del Agua.

3.2. Análisis del Índice Trófico de la Calidad del Agua con base a las diatomeas epilíticas

En la presente investigación tras haber obtenido los resultados de la calidad del río Jimbitono en tres diferentes puntos considera que la hipótesis tiene una valoración positiva con los resultados de las diatomeas debido a que en el punto 1 el agua es oligotrófico, y conforme desciende el curso toma valores de β - mesotrófico y α -mesotrófico en los puntos 2 y 3 respectivamente. Esto pone de manifiesto de que las actividades antropogénicas afectan en la diversidad de las comunidades de diatomeas epilíticas.

En los tres puntos de monitoreo se determinó un total de 56 especies de diatomeas en el Río Jimbitono de la parroquia General Proaño del cantón Morona, Provincia



Estaciones de monitoreo	Niveles de contaminación	Valor
PJ-01	Oligotrófico (contaminación despreciable)	1,3
PJ-02	β - mesotrófico (contaminación moderada)	2,1
PJ-03	α - mesotrófico (contaminación fuerte)	2,6

Figura 5

Valores del Índice Trófico de la Calidad del Agua.

Morona Santiago. Cabe aclarar que, aunque las diatomeas se consideran como cosmopolitas (5), su sensibilidad de encontrarse en ciertos lugares y en otros, no puede ser de distancias relativamente pequeñas como lo demuestra presente estudio, esto debido a que algunas especies tiene determinados parámetros fisicoquímicos en el que pueden subsistir (6).

Las especies que se encontraron en todos los puntos fueron la *Cocconeis placentula*, *Achnanthisidium deflexum*, *Achnanthisidium atomus* y *Gogorevia exilis*. Esto indica que son especies que se pueden adaptar a diferentes factores fisicoquímicos del agua, pero que también la proporción en la que se encuentran indica la condición del agua, así por ejemplo para esta investigación la *Achnanthisidium atomus* se encuentra en el PJ-01 con el 53,08%, en el PJ-02 con el 29,63% y en el PJ-03 con el 17,28% de su totalidad, es decir que a medida en que va disminuyendo la calidad del agua, la especie también lo hará.

De igual manera las especies que más abundancia representaron fueron *Craticula molestiformis* (122), *Navicula gregaria* (95), *Cocconeis placentula* (90), *Achnanthisidium deflexum* (84), *Achnanthisidium atomus* (81), *Nitzschia linearis* (81), y *Navicula cryptotenella* (79), *Navicula veneta* (74), *Cymbella tumida* (69).

Las pocas investigaciones realizadas en el Ecuador como es el caso de (7), (8), (9), no concuerda con las especies encontradas en el presente estudio, que puede deberse a que todas las investigaciones mencionadas fueron realizadas en la región andina mientras que esta investigación se realizó en la amazonía del Ecuador, es decir que se asume que el causal de esta variación es el parámetro de la temperatura.

En el caso de la especie de *Nitzschia palea* y *Nitzschia palea* var las cuales mantienen mínimas diferencias entre sí, y genera un cierto grado de duda en no saber si se trata de la misma especie o si son dos diferentes, la justificación está en que el microscopio no fue de lo más eficiente para adecuada focalización de esta especie. Aun así, se logró determinar que estas especies se encontraban en el PJ-02 y PJ-03 con una considerable cantidad de valvas, de esta forma se corrobora con lo que



argumenta (10), en que esta especie está relacionada con los lugares en donde existe escorrentías de suelos pecuarios en los cuales se ve incrementados los parámetros de nitratos y fosfatos. Esto encaja perfectamente en el hecho de que efectivamente en el PJ-02 y PJ-03 se evidencia la presencia de actividades antropogénicas.

La especie *Navicula cryptonella* es otra de las especies que es bien correspondido al lugar en donde se la encontró debido a que abunda en lugares en donde existe considerable contaminación.

La especie *Navicula veneta* se caracteriza por ser tolerante a concentraciones polisapróbicas de elevado contenido de nitrógeno según comenta (11), lo cual si corresponde con los resultados que se han obtenidos ya que se encuentran tanto en PJ-02 y PJ-03.

Tabla 6 Total de especies y diatomeas epilíticas registradas en el barrido microscópico

Diatomeas Epilíticas	Código	PJ-01	PJ-02	PJ-03	Total
<i>Achnanthes Subhudsonis</i>	ASHD	0	26	13	39
<i>Achnantheidium atomus</i>	AATM	43	24	14	81
<i>Achnantheidium deflexum</i>	AFLX	77	3	4	84
<i>Achnantheidium exiguum</i>	AXGM	0	0	14	14
<i>Achnantheidium latecephalum</i>	ALPH	9	0	0	9
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	AMTS	0	12	0	12
<i>Adlafia suchlandtii</i>	ADCH	4	0	0	4
<i>Caloneis silicula</i>	CSLC	0	0	16	16
<i>Cocconeis euglypta</i>	CGLY	0	9	0	9
<i>Cocconeis placentula</i>	CPLT	13	29	48	90
<i>Coconeis cascadenis</i>	CCSD	0	23	0	23
<i>Craticula molestiformis</i>	CMSF	0	0	122	122
<i>Cymbella tumida</i>	CTMD	53	16	0	69
<i>Encyonema minutissimum</i>	EMTS	17	0	0	17
<i>Encyonema minutum var</i>	EMTM	0	39	21	60
<i>Encyonema silesiacum</i>	ESLM	8	42	0	50
<i>Epithemia turgida</i>	ETRG	0	11	0	11
<i>Fragilaria arcus</i>	FARC	0	0	12	12
<i>Fragilaria leptostauron var dubia</i>	FLPT	21	0	0	21
<i>Fragilaria recapitellata</i>	FRPT	0	0	5	5
<i>Fragilaria social</i>	FSCL	7	0	0	7
<i>Fragilaria vaucheriae</i>	FVHE	0	5	0	5



<i>Fragilariforma bicapitata</i>	FBCP	0	0	4	4
<i>Geissleria punctifera</i>	GPCF	0	0	16	16
<i>Gogorevia exilis</i>	GXLS	18	16	14	48
<i>Gomphoneis pseudo-okunoi</i>	GPSD	38	0	0	38
<i>Gomphonema apuncto</i>	GPCT	0	6	0	6
<i>Gomphonema kobayasii</i>	GKBY	0	5	10	15
<i>Gomphonema variostriatum</i>	GVST	14	0	0	14
<i>Gomphosinica geitleri</i>	GGTL	9	0	0	9
<i>Gomphonema conector</i>	GCNT	0	9	0	9
<i>Humidophilia perpusilla</i>	HPRS	51	0	0	51
<i>Hygropetra balfouriana</i>	HBLF	0	23	0	23
<i>Luticola goeppertiana</i>	LGPT	26	0	0	26
<i>Mayamea permitis</i>	MPMT	8	0	0	8
<i>Meridion lineare</i>	MLNR	0	0	2	2
<i>Navicula cryptocephala</i>	NCRH	0	0	18	18
<i>Navicula cryptotenella</i>	NCRL	0	79	0	79
<i>Navicula eileeniae</i>	NELN	30	0	0	30
<i>Navicula gregaria</i>	NGGR	0	74	21	95
<i>Navicula lanceolata</i>	NLCT	58	0	0	58
<i>Navicula veneta</i>	NVNT	0	42	32	74
<i>Nitzschia incógnita</i>	NTZI	0	0	5	5
<i>Nitzschia linearis</i>	NTZL	0	0	81	81
<i>Nitzschia palea var</i>	NTZP	0	56	0	56
<i>Nitzschia palea</i>	NTZA	0	0	49	49
<i>Planothidium frequentissimum</i>	PFQT	29	0	0	29
<i>Planothidium incuriatum</i>	PNCT	9	0	8	17
<i>Planothidium lanceolatum</i>	PLCT	0	10	0	10
<i>Rhoicosphenia abbreviada</i>	RBVD	33	0	0	33
<i>Rhopalodia gebberula</i>	RGBR	0	13	0	13
<i>Sellaphora wallacei</i>	SWLC	0	14	0	14
<i>Surirella angusta</i>	SGST	0	0	29	29
<i>Tabellaria flocculosa</i>	TFLC	13	0	23	36
<i>Tabularia fasciculata</i>	TFST	5	17	0	22
<i>Ulnaria Ulna</i>	UULN	0	0	23	23
Total de Diatomeas Epilíticas					1800

3.3. Análisis multivariados (Análisis de Correspondencia Canónica (ACC))

Para el análisis multivariado se hizo uso del análisis de correspondencia canónica, para lograr la identificación de la relación existente entre los factores fisicoquímicos y biológicos aunado a esto las diatomeas obtenidas, de esta manera se determinó como las especies son influenciadas por los diferentes parámetros, es decir, la relación que guardan los factores bióticos y abióticos.

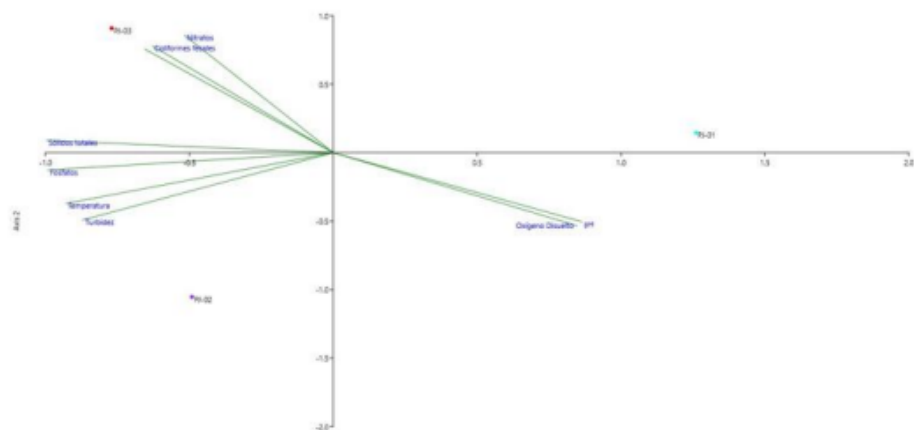


Figura 6

Diagrama de dispersión basado en la CCA de las muestras de Diatomeas de tres estaciones de muestreo correlacionadas con las variables ambientales de los ejes 1 y 2.

Tal como se puede apreciar en la figura 3 el análisis de correspondencia canónica indica que el nivel de eutrofización se torna desde los cuadrantes derechos hacia los izquierdos mostrando que el PJ-01 se mantiene una calidad de agua aceptable debido a los valores óptimos de oxígeno disuelto y pH, mientras que en los otros dos puntos se encuentran influenciados por el resto de parámetros con concentraciones elevadas como es fosfatos, temperatura y turbidez en el PJ-02 y nitratos, DBO y coliformes totales para el PJ-03, estos últimos parámetros son los que mayor importancia tienen al momento de evaluar aguas con contaminación antropogénica.

Con la figura 3 se muestra la correlación de las variables ambientales con los diferentes tipos de especies, demostrando así que hay especies que se solo se encuentran presentes en lugares acuáticas en donde estos factores son los idóneos para su permanencia, es decir que al mínimo cambio ambiental tienen a desaparecer. También se puede evidenciar que existen otras especies (las que están más al centro de la gráfica) que se pueden encontrar en los dos o tres puntos debido a que son tolerantes a las variaciones de los factores abióticos.



Los nombres de las diatomeas han sido cambiados por un código, mismo que se encuentra en la Tabla 4-4, esto debido a que las especies mantienen un nombre largo y dificultaría la buena interpretación y análisis de los resultados.

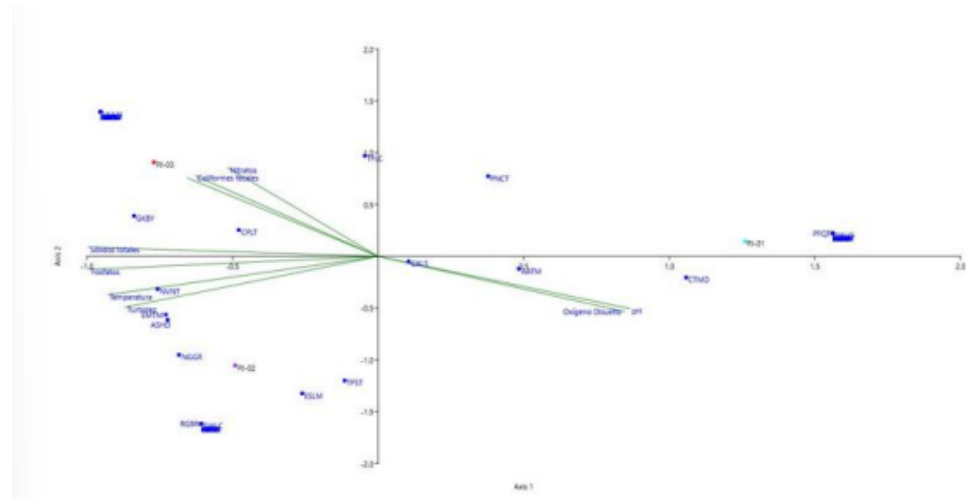


Figura 7

Diagrama de dispersión de análisis de correspondencia canónica de las 56 especies de diatomeas epilíticas del Río Jimbitono.

El análisis de correspondencia canónico indica que existe una correlación de variación del 55,37 % para el primer eje y un 44,63 % para el segundo eje de la de la matriz ambiental con la matriz de especies biológicas, dando un grado de abióticos que tienen para determinar la composición de las comunidades confiabilidad alto por lo que la correlación de matrices está casi a partes iguales, así Prentice et al. (1988, p. 265) relata acerca de la complejidad de los componentes.

	Axis 1	Axis 2
Eigenvalues (λ)	0,80762	0,65101
Percentage of explained variance (%)	55,37	44,63
Cumulative variance (%)	0,0834	0,335
Monte Carlo test (p) eigenvalues	0,8076	0,651

Figura 8

Análisis de Correspondencia Canónica de la matriz de propiedades fisicoquímicas y diatomeas epilíticas.



	Axis 1	Axis 2
T (°C)	-0,928518	-0,371288
Oxígeno disuelto (mg/L)	0,846337	-0,532648
pH	0,863815	-0,503809
Demanda Biológica de Oxígeno (mg/L)	-0,65459	0,755984
Nitratos (mg/L)	-0,516627	0,856211
Fosfatos (mg/L)	-0,991928	-0,126799
Coliformes fecales (UFC/mL)	-0,627627	0,778514
Sólidos totales (mg)	-0,99607	0,0885746
Turbidez (UTN)	-0,87072	-0,491779

Figura 9

Coefficientes canónicos y correlaciones de interés de los parámetros fisicoquímicos con los axis 1 y 2 empleando 56 variables bióticas.

4. Discusión

De acuerdo con Holguín y León (12) manifiesta que la Temperatura juega un papel importante sobre otros parámetros como el Oxígeno Disuelto debido a que a mayor temperatura se afecta considerablemente la concentración del oxígeno y esto hace que organismos acuáticos como las diatomeas tengan problemas de subsistencia (13). Además, la temperatura influye en la velocidad de fotosíntesis de las algas por ello es necesario estudiar la temperatura y las especies de diatomeas que existen en dicha condición (14).

Según Cuenca (15) las aguas que se encuentran con un pH ligeramente ácido son debido a las sales que se encuentran en disolución; sumado a esto, *Beita* y *barahona* (16) indica que cuando existen estos estándares de pH en el agua se debe a las actividades humanas especialmente las agrícolas lo que produce una severa disminución del pH. Relacionando las teorías descritas con el estudio realizado, es de considerar que la disminución del pH se debe a las actividades agrícolas y las descargas de aguas residuales especialmente en el trayecto de las estaciones PJ-02 y PJ-03.

En la investigación realizada por Moreno, Quintero y Lopez (17) sostienen que los Sólidos Totales Disueltos en el agua no representan una grave contaminación, pero indican presencia de algún tipo de actividad antropogénica. En este contexto cabe indicar que según la gráfica el valor más elevado es en el PJ-02 debido a que en este lugar se encuentra el balneario turístico del Río Jimbitono, de esta manera se justifica el crecimiento elevado en esta estación de monitoreo.



Con base a lo que sostiene Bolaños y cordero (18) las grandes cantidades de Nitratos en el agua se debe a las intervenciones humanas por agricultura lo que es evidenciado en la estación PJ03 en la que puede observarse un ligero incremento de Nitratos pero que puede ser controlado y asimilado por las condiciones naturales del Rio Jimbitono ya que se encuentra dentro del límite permisible descrito en el AM 097 (19).

Generalmente, el fósforo puede encontrarse en el agua como producto de la descomposición de materia orgánica y de las rocas por lo que es común encontrarse con valores altos en ciertos ríos en los cuales no hayan sido contaminados antrópicamente (20). De acuerdo con el estudio de este parámetro realizado en el Rio Jimbitono se establece que los valores medidos son bajos y no afectan significativamente en la calidad del agua ni en la presencia de las diatomeas epilíticas (21).

De esta manera en la estación PJ-03 existe un crecimiento en el valor de la DBO5 lo que indica un alto consumo de oxígeno por lo que la vida acuática corre peligro en dicha estación. Corpoamazonía (22) sostiene que el incremento en el DBO5 se debe a la contaminación antrópica y a la presencia de bacterias nitrificantes, gérmenes y protozoos que provienen de descargas de aguas residuales.

En la opinión de Barcelo y López (23) y la de Ospina, Cobas y Rivera (24) relaciona la turbidez con la descarga de efluentes, crecimiento de algas y escorrentía humana acciones que pueden ser evidenciadas durante el trayecto de la estación PJ-02 hacia la estación PJ-03. La turbidez influye en la temperatura del agua (25) lo que se evidenció en la medición in situ de la temperatura en las estaciones PJ-02 y PJ-03.

LekshmiPrasad y Mophin (26) indican que la presencia de coliformes fecales se debe a las actividades antropogénicas, por tal razón en el trayecto del Rio Jimbitono hasta la estación PJ-03 se obtuvo un gran incremento de coliformes fecales lo que incide significativamente en la calidad del agua haciendo que estas presenten riesgos a la salud humana al momento de ingerirlas (27).

De acuerdo con Trach et al. (28) el oxígeno disuelto puede disminuir cuando la temperatura aumenta lo que se pudo observar con los resultados obtenidos del OD en las estaciones PJ-02 Y PJ-03. Así se puede argumentar que los niveles de oxígeno disuelto menores de 5 mg/L se consideran como un problema para los organismos que habitan en el agua (29), por el contrario, en el análisis realizado en las 3 estaciones de monitoreo se determinó que la cantidad de oxígeno disuelto se encuentra en condición estable en la que los organismos acuáticos pueden sobrevivir (30).



5. Conclusiones

Las especies de diatomeas epilíticas que fueron encontradas fueron clasificadas taxonómicamente con sus nombres científicos, dimensiones y número total de valvas, encontrándose una gran variedad de especies en el río de estudio. Además, se necesitó bibliografía extranjera como base de datos y otros libros.

Se determinó que la calidad del agua del Río Jimbitono tiende a disminuir conforme el torrente comienza a descender, esto se debe a la contaminación que recibe el río desde el PJ-02 hasta PJ-03, esta determinación se logró con los valores de los parámetros y en conjunto con la aplicación del programa estadístico IQData, se obtuvo que los puntos PJ-01, PJ-02 y PJ-03 la clasificación fue de regular, regular y mala respectivamente.

El uso de las diatomeas como bioindicadoras de la calidad del agua tuvo resultados positivos en la presente investigación, debido a que luego de la contabilización de las mismas y junto a la fórmula del Índice Trófico de la Calidad del Agua se obtuvieron resultados similares a los valores obtenidos en el programa estadístico IQData, es decir, se demuestra que la calidad del agua del Río Jimbitono se ve afectada por la presencia de actividades antropogénicas del lugar.

Con el programa estadístico Past se relacionó los parámetros ambientales del agua con la diversidad biológica de las diatomeas mediante el Análisis de Correspondencia Canónica. Así en cada uno de los puntos de monitoreo varía la presencia de las especies, esto porque hay especies de diatomeas que son susceptibles a la variabilidad de las concentraciones de ciertos factores ambientales y otras por el contrario toleran dichos cambios ambientales.

Conflicto de Intereses

Todos los investigadores declaran no tener conflicto de intereses al momento de presentar o reproducir la información generada en el proceso de investigación.

References

- [1] Griffith J, Hill B, Kaufman A. Multivariate Analysis of periphyton assemblages in relación to environmental gradients in Colorado rocky Mountain streams. 2022; p. 83-95.
- [2] Hernandez S. Diatomeas como indicadoras de Calidad de Agua en la Laguna Acahualinca. Revista Agua y Conocimiento. 2016; 1: p. 10-18.



- [3] Lobo E, Heinrich C, Shuch M, Dupont A, Costa D, Wetzel C, et al. Índice Trófico de Qualidade da Água. 2016.
- [4] Escobar J. La Contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. 2002.
- [5] Blanco S, Cejudo-Figueiras C, Álvarez-Blanco I, Bécares E. Atlas de las diatomeas de la cuenca de Duero. 2010.
- [6] Arevalo P. Diatomeas Epilíticas como Bioindicadoras Eutrofización de la microcuenca del Río Guano, Provincia de Chimborazo. 2018.
- [7] Molina Espinoza JI. Caracterización de Comunidades Diatomeas Epilíticas del río Carihuaycu para la identificación de especies bioindicadoras de Eutrofización. 2019.
- [8] Uvillus S. Caracterización de la Composición florística de Diatomeas epilíticas asociadas al grado de Eutrofización en el río la compa nia.
- [9] Determinación del índice trófico de la calidad de Agua a Partir de la Presencia de Diatomeas Epilíticas en el río Cutuchi sector parque Nacional Cotopaxi, Cantón Latacunga.
- [10] Segura-Garcia V, Enrique A, Israde I, Maidana N. Diatomeas epilíticas como indicadores de la calidad del agua en la cuenca alta del río Lerma, México. 2012.
- [11] Arevalo P. Diatomeas epilíticas como Bioindicadoras de Eutrofización en la microcuenca del río Guano, provincia de Chimborazo. 2018.
- [12] Holguin Cruz DI, León Salazar SP. Calidad del oxígeno disuelto del agua del Estero Sado-La Chala y su incidencia en la Fauna Acuática. 2021.
- [13] Posada E, Mojica D, Pino N, Bustamante C, Monzon Pineda A. Establecimiento de índice de calidad ambiental de ríos con bases en el comportamiento del oxígeno disuelto y de la temperatura. Aplicación al caso del río Medellín, en el valle de Aburrá en Colombia. 2013.
- [14] Navarrete Muñoz A. Estudio de la sensibilidad del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en aguas tropicales del pacífico. 2017.
- [15] Cuenca Mendoza M, Espinoza Aguilar Y, Mayorga Cardenas M, Calle Villacres JJ. Aguas residuales mineras en la inocuidad de la naranja cultivada a cercanías del río amarillo. 2019; 1.
- [16] Beita-Sandi W, Barhona Palomo M. Físico-química de las aguas superficiales de la cuenca del río Ricón, Península de Osa Costa Rica. UNED Research Journal. 2011.
- [17] Moreno Franco DP, Manzano Quintero J, López Cuevas. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. 2010.



- [18] Bola nos Alfaro JD, Cordero Castro G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). 2017.
- [19] MAE. Reforma texto unificado Legislación secundaria, medio ambiente LIBRO VI, decreto ejecutivo 3516.
- [20] Menéndez Gutiérrez C, Dueñas Moreno J. Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. 2018; 3: p. 97-107.
- [21] Lora Vilchis MC, López Fuerte F, Pérez Rojas CA. Algas de Cristal; Diatomeas. 2020; 1: p. 1-6.
- [22] CORPOAMAZONIA. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas superficiales en fuentes hídricas amazónicas, en los municipios de Leticia y Puerto Nariño, Departamento del Amazonas. 2020; p. 33-56.
- [23] Barcelo D, López MJ. Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. 2021; 3: p. 15-24.
- [24] Ospina O, Cobas G, Rivera J. Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el río Combeina. 2015; 12: p. 19-36.
- [25] Escobar J. La Contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. 2003.
- [26] Lekshmi Prasad S, Kani M. Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake. Usig. 2017;(7): p. 130-135.
- [27] Enriquez E, Margez J, Alamillo M, Mejía E, Olivas J, Sosa E. Indicadores fecales y patógenos en agua descargada al río Bravo. 2011; 5: p. 449-459.
- [28] Trach R, Kiersnowska A, Markiewickz A, Lendo Siwicka M, Rusakov K. A study of Assessment and Prediction of water Quality Index Using Fuzzy Logic and ANN models. 2022; 5: p. 135-145.
- [29] Carrillo D, Carvajal S, Campos J, Herrera J, Rojas D, Benavidez C. Variación del Oxígeno disuelto en el río Burio-Quebrada. 2013; p. 25-66.
- [30] Muñoz H, Orozco S, Vera A, Suarez J, García E, Neria M, et al. Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala. 2015; 6: p. 59-74.