

DIATOMEAS DE UN RÍO TROPICAL, ANTIOQUIA-COLOMBIA

Yimmy Montoya Moreno¹, Karol Vanessa Solorzano Ramírez², Néstor Jaime Aguirre Ramírez³, Fabio de Jesús Vélez Macías⁴.

¹Dr en Ingeniería, Investigador asociado al grupo Geolimna de la Universidad de Antioquia. E-mail: yimmymontoya3@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1054-279X>

²Estudiante de maestría, Universidad Nacional de Colombia. E-mail: karol-19-97@hotmail.com <https://orcid.org/0009-0006-7154-5616>

³Profesor asociado Universidad de Antioquia. E-mail: nestor.aguirre@udea.edu.co <http://orcid.org/0000-0002-0847-7335>

⁴Profesor titular Universidad de Antioquia. E-mail: fabio.velez@udea.edu.co <https://orcid.org/0000-0001-6348-6405>

RESUMEN

Se estudiaron las diatomeas epilíticas y las condiciones fisicoquímicas del agua en el río Tapartó Andes, Colombia. El perifiton se colectó en cuatro campañas de muestreo, en tres estaciones del río: parte alta, media y baja. El material fue tratado con peróxido caliente y se prepararon muestras en Naphrax para observación al microscopio óptico y al microscopio electrónico. Se identificaron 49 especies de diatomeas, se reportan por primera vez para Colombia las especies *Amphipleura chiapasensis*, *Cymbella* cf. *ehrenbergii*, *Encyonema minutiforme*, *Encyonema silesiacum*, *Pseudostaurosira* aff. *americana*, *Pseudostaurosira medliniae*, *Surirella bryophila*, además se registran las condiciones fisicoquímicas en las que se encuentran las diatomeas. Esta información es importante para incorporarla dentro de métodos de monitoreo biológico que emplean las diatomeas y sus valores de bioindicación. Con este trabajo se aumenta el conocimiento en la distribución de las diatomeas en el país y de las condiciones fisicoquímicas a las que se pueden asociar.

Palabras clave: diatomeas, bioindicación, epilíton, lista de chequeo, río de montaña

Recibido: 8 de noviembre de 2024. Aceptado: 30 de marzo de 2025

Received: November 8, 2024. Accepted: March 30, 2025

DIATOMS FROM A TROPICAL RIVER, ANTIOQUIA-COLOMBIA

ABSTRACT

Epilithic diatoms and water physicochemical conditions were studied on the Tapartó river located in the municipality of Andes, Colombia. The periphyton was collected in four sampling campaigns, in three stations of the river: upper, middle and lower sections. The material was treated with hot peroxide samples were prepared in Naphrax for observation under an optical microscope and for observation under a scanning electron microscope. 49 diatoms were identified, of which the species *Amphipleura chiapasensis*, *Cymbella* cf. *ehrenbergii*, *Encyonema minutiforme*, *Encyonema silesiacum*, *Pseudostaurosira* aff. *americana*, *Pseudostaurosira medliniae*, *Surirella bryophila* are reported for the first time in Colombia, besides the physicochemical conditions are recorded in which the predominant diatoms are found. This information is important to incorporate it into biological monitoring methods that use diatoms and their bioindication values. This work increases the knowledge in the distribution of diatoms in the country and the physicochemical conditions to which they can be associated.

Keywords: diatoms, bioindication, epilithon, check list, mountain stream.

Cómo citar este artículo: Y. Montoya, K. Solorzano, N. Aguirre, F. Vélez. "Diatomeas de un río tropical, Antioquia-Colombia", *Revista Politécnica*, vol.21, no.41 pp.128-146, 2025. DOI:10.33571/rpolitec.v21n41a8

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de función vital que cumple el agua en los ecosistemas, se le ha dado un uso equivocado y generalizado como receptora de todas las descargas de las agua servidas y de los desechos sólidos obtenidos de dichas actividades, lo que deteriora la calidad físicoquímica y biológica de las fuentes de agua [1]. No ajeno a esta realidad se encuentra el río Tapartó, ubicado en Andes-Antioquia, cuya presencia es de carácter vital para los poblados aledaños a la cuenca, ya que abastece la actividad económica de la región, la cual depende principalmente de la producción de café y en menor medida, el plátano, banano, caña de azúcar, la ganadería y la extracción de materiales de playa [2]. La mayor fuente de contaminación se puede relacionar con las actividades socioeconómicas, por lo tanto, los efectos de la contaminación en el río se pueden atribuir a las sustancias como agroquímicos (plaguicidas, herbicidas y funguicidas), que son utilizados durante el proceso de producción de los cultivos.

Las diatomeas se han utilizado ampliamente como indicadores de las condiciones de sistemas loticos, destacándose por su respuesta rápida a los cambios ambientales y de igual forma por su capacidad de recuperarse al estrés causado por la contaminación [3]. Debido a su sensibilidad a la química del agua, especialmente contenidos iónicos, pH, materia orgánica disuelta y nutrientes [4], los niveles de polución o cambios en el agua se pueden evidenciar en la variación de la composición de especies y gracias a los niveles de tolerancia que presentan algunas de ellas [3]. Por lo que son utilizadas para estimar las presiones debidas a eutrofización, incrementos de materia orgánica, salinidad y acidificación. A demás tienen como ventaja una fácil recolección, almacenamiento y preservación a largo plazo [5].

Los estudios sobre las diatomeas registradas en Colombia han sido escasos, localizados principalmente en la región amazónica [6-10], sistema cenagoso de Ayapel [11-12], en el piedemonte amazónico [13] y en las zonas de cordillera [14- 21].

Es limitada la información sobre las preferencias ecológicas y la tolerancia de las diatomeas que se desarrollan bajo las condiciones tropicales. Por lo que se hace necesario apoyarse en estudios a nivel mundial, sobre la ecología de las especies con especial referencia a la zona tropical. Por esta razón, trabajos que presenten la flora y los rangos de las condiciones físicoquímicas son una fuente necesaria para futuros trabajos de bioindicación por medio de las diatomeas en Suramérica y en especial en Colombia.

Las algas son uno de los componentes más importantes en los estudios de evaluación de la eutrofización, por lo que es necesario conocer su indicador potencial en relación con las condiciones del agua. Las diatomeas son algas que se utilizan con frecuencia como indicadores de eutrofización en sistemas templados [22], pero se sabe poco sobre su aplicación a los sistemas tropicales sudamericanos impactados y en ambientes naturales, ya que son escasos este tipo de estudios, especialmente en Colombia.

Esta es la primera investigación que se realiza en la región sobre diatomeas. Con el presente trabajo se busca identificar las diatomeas encontradas del río Tapartó, aportar información sobre distribución, rangos de abundancia y condiciones ecológicas en las que se presentan estas especies.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Área de estudio.

El río Tapartó nace en el cerro San Nicolás en los límites del departamento de Antioquia con el departamento del Chocó-Colombia, a una altura de 4000 m.s.n.m. y con una cota mínima de aproximadamente 1150 m.s.n.m. Las estaciones de muestreo se encontraron entre los 1554 m.s.n.m (estación 1 cabecera) hasta los 1198 m.s.n.m (estación 3 antes de su afluencia al río San Juan). El río Tapartó tiene un sentido de flujo de Oeste a Este, marcando un límite natural entre los municipios de Andes (extremo sur de la cuenca) y Betania (extremo norte de la cuenca) y se encuentra en la vertiente occidental del río San Juan, al cual vierte sus aguas (Figura 1 y 2) [23]. La cuenca cuenta un área de 122 Km² y un recorrido de 28.25 Km [24].

A lo largo de la cuenca se desarrollan actividades agrícolas para la producción de café y plátano. Como lo menciona [24] en los meses de septiembre, Octubre y Noviembre se da la mayor recolección del producto. También se presentan pequeños afluentes que en su mayoría contienen cargas residuales de las actividades de preparación del café. En la parte baja de la cuenca se evidencia extracción de materiales de playa para la construcción y la presencia en mínima proporción de ganadería, además de edificaciones cercanas a las riberas del río.

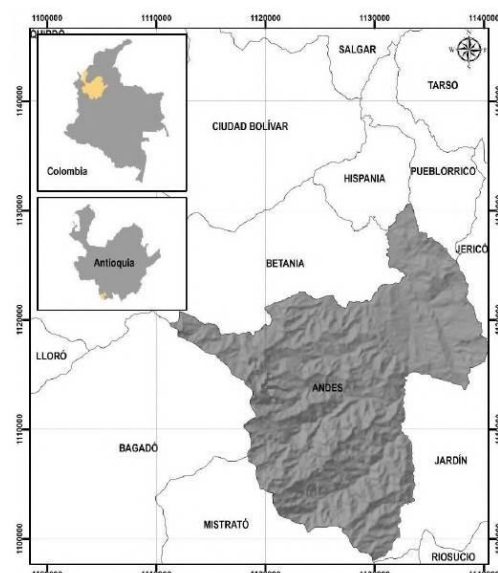


Figura 1. Ubicación del municipio de andes en Antioquia y Colombia. **Gobernación de Antioquia. 2009.**

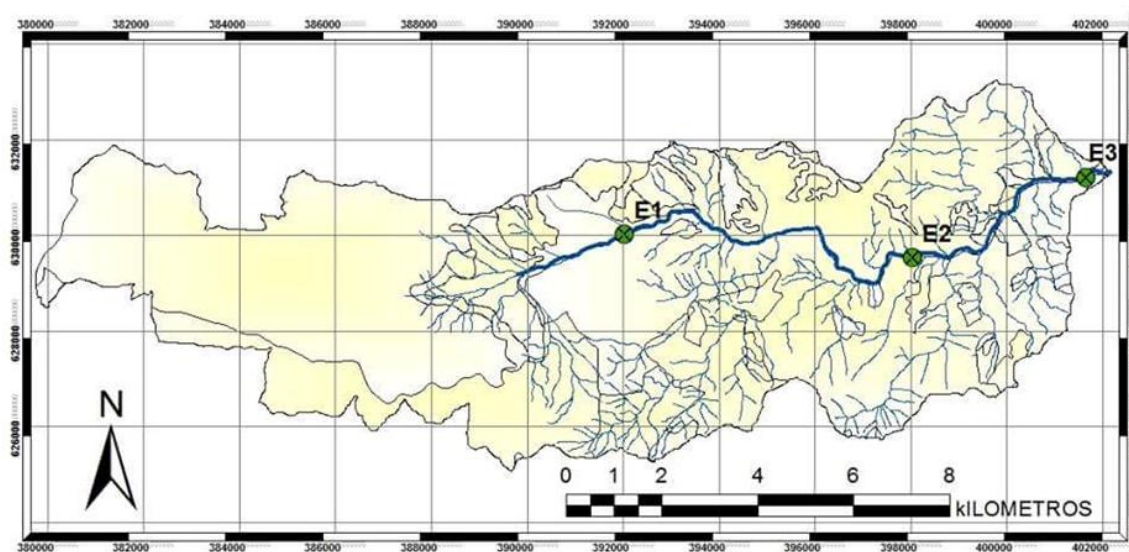


Figura 2. Ubicación de la cuenca del río Tapartó y puntos de muestreo .

Fuente: Preparado por los autores

2.2 Muestreos

Se realizaron cuatro campañas de muestreo en el año 2014, durante los meses de Febrero, Mayo, Agosto y Octubre. Para la recolección de muestras se establecieron tres estaciones que representan un gradiente altitudinal de la cuenca del río Tapartó. En cada estación de muestreo, se realizó la medición del caudal, velocidad del agua, temperatura del agua, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad y pH “in situ”. Los demás parámetros fisicoquímicos como, turbidez, sólidos disueltos, alcalinidad,

nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total, ortofosfatos, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica y demanda química de oxígeno, fueron analizados a partir de muestras de agua extraídas del río y examinadas en el laboratorio de ciencias de la tierra en la seccional de suroeste de la Universidad de Antioquia.

2.3 Muestreo de diatomeas

Las rocas son el sustrato más idóneo para las diatomeas, por lo tanto en cada estación se tomaron tres rocas completamente sumergidas en zonas iluminadas. Para obtener la muestra de diatomeas epilíticas se raspó en cada estación de muestreo con un cepillo una superficie total de 10 cm² en cada estación empleando diferentes rocas. A medida que se obtuvo la muestra, se lavó el cepillo en un recipiente opaco de plástico, previamente rotulado con las condiciones de lugar y fecha, el cual contenía una pequeña cantidad de agua del mismo río y 3ml de Lugol, con el fin de preservar la muestra; finalmente las muestras se conservan en un lugar frío hasta su análisis; las muestras se transportaron al laboratorio de hidrobiología sanitaria de la Universidad de Antioquia, donde se procedió con la limpieza e identificación taxonómica de las diatomeas, la cual está basada en la norma [25].

2.4 Tratamiento del material

En el laboratorio se procedió con la remoción del fijador, eliminación de la materia orgánica y elaboración de placas permanentes en Naphrax y placas para observación en el microscopio electrónico de barrido, estrategias que favorecen la identificación taxonómica de las diatomeas, de acuerdo al protocolo Europeo [22]. Los pasos detallados fueron:

2.4.1. Remoción del fijador de la muestra (Lugol): Se tomó medio mililitro de muestra del fondo del recipiente, se depositó en un tubo de ensayo y se completó con 10 ml de agua destilada, se centrifugó a 1200 rpm durante tres minutos y se retiró el sobrenadante con una pipeta Pasteur. Este procedimiento se repitió tres veces.

2.4.2. Remoción de materia orgánica: Para la identificación de las muestras es necesario eliminar todo el contenido de materia orgánica celular o extracelular mediante agentes oxidantes. Por lo tanto una vez se llevó a cabo el paso anterior, se retiró el agua destilada y se adicionó 10 ml de peróxido de hidrógeno (H₂O₂). La muestra se llevó a una mufla con una temperatura entre 60 a 70°C, con el fin de acelerar el proceso de reacción. La muestra se retiró cuando el sedimento torna un color blanco.

2.4.3. Remoción del peróxido de hidrógeno: se extrajo el peróxido de hidrogeno que está por encima de la muestra con una pipeta Pasteur, se adicionó agua destilada y se centrifugó a 1200 rpm. No fue necesario emplear ácido clorhídrico para eliminar inclusiones de carbonato de calcio ácido.

2.4.4. Fijación de las muestras: se tomaron dos gotas que contenían el sedimento que fue limpiado en los pasos anteriores y se depositaron en un cubre objetos, luego se dejó evaporar el líquido en un lugar cálido y/o con la ayuda de una placa de calefacción. Cuando la muestra del cubre objeto se evaporó completamente, se procedió a depositar una pequeña cantidad del fijador Naphrax en un portaobjetos previamente rotulado, el cual se colocó sobre una plancha de calefacción para esparcir la sustancia homogéneamente, luego se colocó el cubreobjetos con el lado de la muestra sobre el Naphrax del portaobjetos. Se presionó levemente entre las dos placas, para fijar y prevenir burbujas en la muestra.

2.5 Identificación de las diatomeas

La identificación taxonómica de las especies depende del contorno valva, la longitud, el ancho y características propias del género, las cuales se identifican visualmente. Esta actividad se realizó con un microscopio óptico marca BOECO, con un aumento de 100X. Para hacer la identificación de especie se emplearon diferentes fuentes de información, tales como [26-36] y las páginas Diatoms of United States (<https://diatoms.org/>) y algaebase (<https://www.algaebase.org/>) para chequear el estatus de las especies y la lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia para identificar si la especie ha sido registrada en el país y en que regiones [37].

2.6 Microscopia electrónica de Barrido (MEB)

Con el fin de conocer en detalle las características taxonómicas de las diatomeas, para su posterior clasificación en especies, se realizó un análisis por medio de microscopia electrónica de barrido (MEB) en el servicio de microscopía electrónica de la Sede de Investigación Universitaria (SIU) de la Universidad de Antioquia. El procedimiento consistió en disponer el material a analizar en tacos de vidrio los cuales se

metalizaron con un baño de oro-paladio en un metalizador Jeol FINE COAT ION SPUTTER JFC-1100. Luego se realizaron las observaciones con un microscopio electrónico de barrido Jeol JSM-T100.

3. RESULTADOS

3.1 Componente fisicoquímico

El análisis de las variables fisicoquímicas evidencia que la estación E1 tiene menor calidad que las estaciones subsecuentes (niveles de pH más bajos, concentración de nitratos y DQO mayores que las otras estaciones) es decir el gradiente de contaminación es inverso, por lo que se puede afirmar que el río posee una rápida capacidad de reponerse del estrés generado por la contaminación, ya que en la estación 2 las variables fisicoquímicas se estabilizan y evidencian mejoría en sus valores (Tabla 1).

No es común que la estación ubicada en la parte alta sea la que presente condiciones regulares desde el punto de vista fisicoquímico, lo cual se debió a que la vegetación de esta estación son cultivos de café, los cuales reemplazaron completamente la vegetación nativa.

El valor más alto de la DQO corresponde a la estación E1 con 22,5 mgO₂/l, seguido por la estación E3 con 20 mgO₂/L y E2 con 19,5 mgO₂/L. En relación a la concentración de Nitrógeno Total, Nitritos, Nitratos, Fósforo total y Orto fosfatos los valores obtenidos para estos parámetros están por debajo de los límites de detección del método. Solo se obtuvieron valores detectables para el fósforo total en las estaciones E2 en agosto y E2 y E3 en Octubre. En cuanto al nitrógeno total solo se logró obtener los valores para la estación E2 y E3 en Mayo (1mg/l en las dos estaciones) y E3 en Agosto (0,5 mg/l) y para los ortofosfatos solo se obtuvo 0.30 mg PO₄ en la estación E2 en mayo

Tabla 1. Rango de los parámetros fisicoquímicos evaluados por estación.

Variables/Estaciones	E1		E2		E3	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Temperatura del agua	19,8	21,3	19,9	24,3	18,3	23,1
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,3	7,93	7,1	7,84	7,48	8,2
% Saturacion	99,3	102,8	99,3	100,5	98,4	101,6
Conductividad (µs/cm)	15,4	20,1	21,82	30,9	20,7	28,8
pH	5,55	7,91	6,99	8,01	6,86	8,3
Turbidez (NTU)	0,99	4,44	2,91	7,02	5,93	41,1
Alcalinidad (mmol/L)	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4
Nitrito (mg NO ₂ -/L)	0	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Nitratos (mg NO ₃ -/L)	2	5	1,3	4	1,3	5
N-amoniaco (mgNH ₄ ⁺ /L)	0,2	0,05	0,2	0,5	0,05	0,2
Nitrógeno total (mg N/L)	0,4	0,5	0,4	1,1	0,5	1,1
Fósforo total (mg P/L)	0,05	0,2	0,05	0,06	0,04	0,05
Ortofosfato (mg PO ₄ ³⁻ /L)	0,2	0,5	0,2	0,3	0,1	0,2
Dureza total (mmol/L)	0,2	0,3	0,1	0,2	0,15	0,2
Dureza total (mgCaCO ₃ /L)	18	20	18	36	18	18
Demanda química de oxígeno (mgO ₂ /L)	6	23	8	20	7	20

Fuente: Preparado por los autores

3.2 Componente biológico

Una vez analizadas las muestras de cada estación Se identificaron un total de 49 especies de diatomeas, las cuales se identifican con su respectiva abundancia relativa y se representan por estación y mes de muestreo en la figura 3-5 Se grafican las especies sin importar su abundancia, para ayudar a identificar la riqueza de especies y su aporte a la diversidad global de cada estación y del río.

En la estación 1 (Figura 3) el 53% de la abundancia total de las diatomeas estuvo representado por cinco especies pertenecientes a géneros diferentes (*Achnanthes minutissimum* (Kützinger) Czarnecki, *Gomphonema parvulum* (Kützinger) Kützinger, *Humidophila contenta* (Grunow) R.Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová, *Encyonema minutum* (Hilse) DGMann y *Stenoptero-*

bia krammeri Metzeltin & Lange-Bertalot). En esta estación se identificaron 34 especies, de las cuales hay cinco especies que se encuentran en todas las campañas de muestreo (14,6%) y 15 especies que tienen una presencia en sólo una fecha de muestreo-especies raras (43,4%).

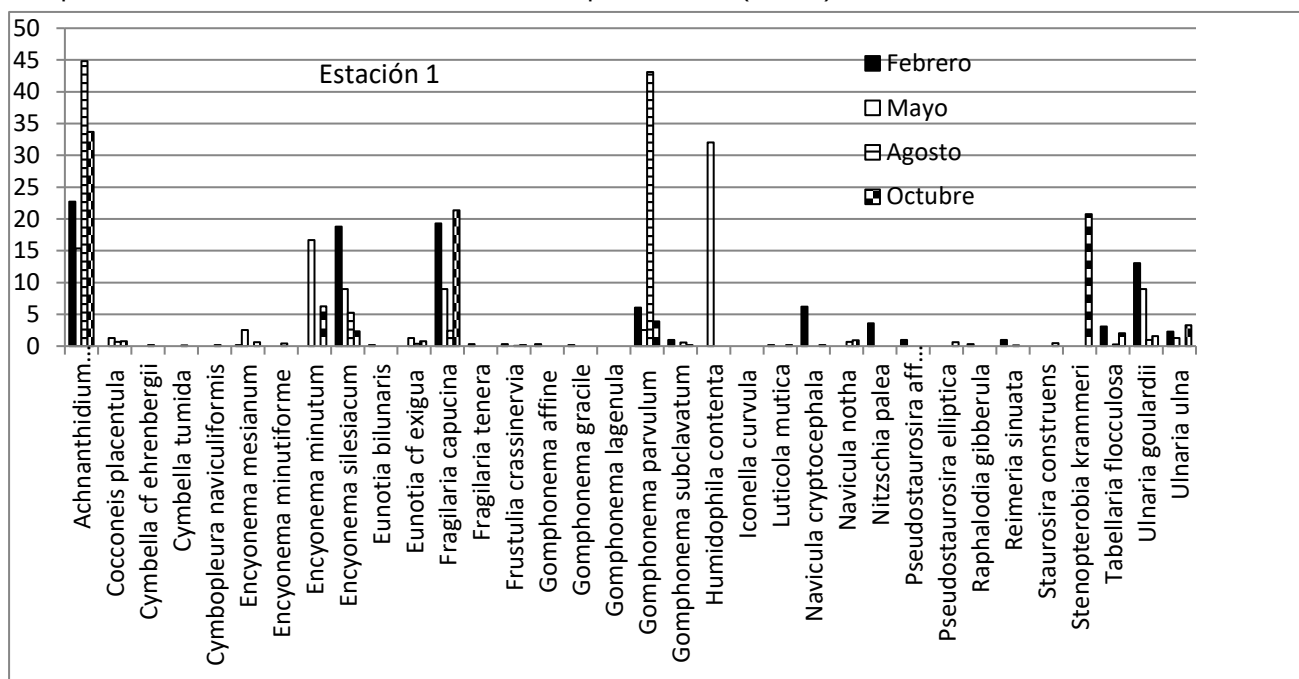


Figura 3. Porcentaje de abundancia relativa de las especies de diatomeas para la estación 1 durante los cuatro muestreos. El eje de la ordenada representa el % abundancia relativa y en abscisa se encuentra el nombre de cada especie. Fuente: Preparado por los autores

En la estación 2 (Figura 4) el 82% de la abundancia total de las diatomeas estuvo representado por cuatro especies pertenecientes a géneros diferentes (*Achnanthidium minutissimum*, *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) DGMann y *Reimeria sinuata* (W.Gregory) Kociolek & Stoermer). En esta estación se identificaron 29 especies, de las cuales hay siete especies que se encuentran en todas las campañas de muestreo (24,1%) y 9 especies que tienen una presencia en sólo una fecha de muestreo-especies raras (31%). Se evidenció en esta estación una mayor dominancia (una especie dominante menos que en la estación 1 y cinco especies raras menos respecto a la anterior estación), lo cual puede ser indicador de un aumento en la presión ambiental sobre el ensamble de diatomeas.

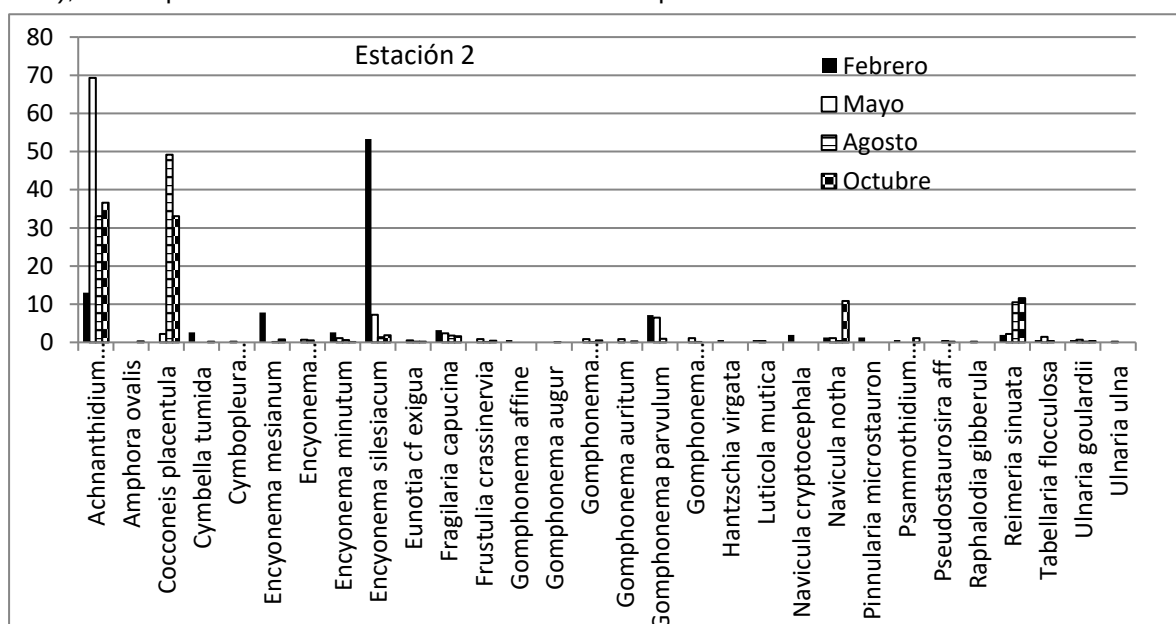


Figura 4. Porcentaje de abundancia relativa de las especies de diatomeas para la estación 2 durante los cuatro muestreos. El eje de la ordenada representa el % abundancia relativa y en abscisa se encuentra el nombre de cada especie. Fuente: Preparado por los autores

En la estación 3 (Figura 5) el 81.3% de la abundancia total de las diatomeas estuvo representado por cinco especies pertenecientes a géneros diferentes (*Achnantheidium minutissimum*, *Encyonema silesiacum*, *Cocconeis placentula*, *Encyonema silesiacum*, *Reimeria sinuata* y *Fragilaria capucina* Desmazières). En esta estación se identificaron 39 especies, de las cuales hay ocho que se encuentran en todas las campañas de muestreo (20.5%) y 15 especies que tienen una presencia en sólo una fecha de muestreo-especies raras (35.8%). Se evidenció en esta estación una menor dominancia y la mayor riqueza de especies, lo cual puede ser indicador de una disminución en la presión ambiental sobre el ensamble de diatomeas.

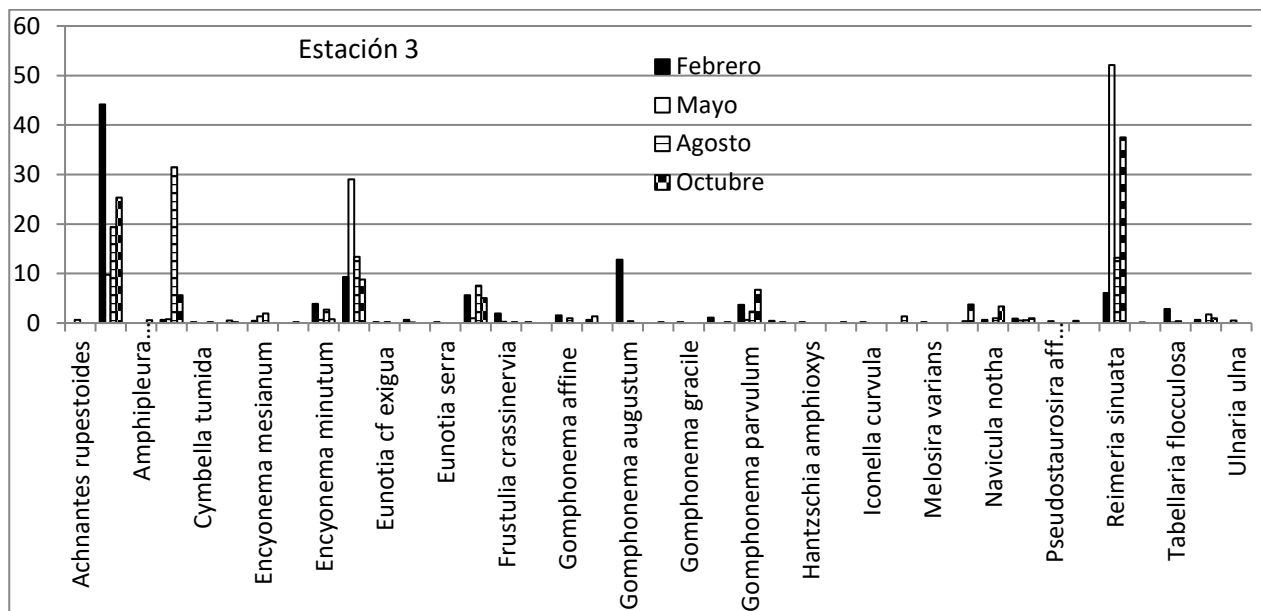


Figura 5. Porcentaje de abundancia relativa de las especies de diatomeas para la estación 3 durante los cuatro muestreos. El eje de la ordenada representa el % abundancia relativa y en abscisa se encuentra el nombre de cada especie. Fuente: Preparado por los autores

Se observa que las especies más persistentes en el espacio y tiempo y por lo general con mayor abundancia relativa fueron: *Achnantheidium minutissimum*, *Encyonema silesiacum* y *Fragilaria capucina*, presentes en las 12 muestras analizadas, *Ulnaria gouldarii* y *Gomphonema parvulum*, presentes en 11 muestras y *Cocconeis placentula*, *Encyonema minutum* y *Reimeira sinuata*, presentes en 10 muestras. Es importante la presencia de la especie *Humidophila contenta* (Grunow) RLLowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová en la estación E1 en mayo, ya que es el único caso donde esta especie aparece como dominante.

Achnantheidium minutissimum tiende a permanecer dominante en la estación E1, a lo largo del tiempo, no obstante en el mes de mayo es superada por las especies *Humidophila contenta* y *Encyonema minutum*. *A. minutissimum* también se posiciona como la más dominante en las estaciones E2 en mayo (69.31%), E2 en Octubre (36.61%) y E3 en febrero (44.16%).

Se evidencian cambios en las dominancia de especies entre las estaciones y las fechas de muestreo. En la estación E2 febrero la especie dominante es *Encyonema silesiacum*, con una abundancia relativa de 53.25%, seguida por *A. minutissimum* con 12.99%. Para las estaciones E2 y E3 en agosto la especie *Cocconeis placentula* es la más dominante con una abundancia de 49.21% y 31.41% respectivamente, seguida por *A. minutissimum* con 33.08% y 19.42%. Finalmente para la estación E3 en mayo la especie dominante es *Reimeira sinuata*, con una abundancia relativa de 52.14%, de igual manera en E3 octubre, con 37.52% de abundancia relativa.

Al comparar las especies registradas en esta investigación (Tabla 2), con la lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia [23] se establece que algunas de las especies de diatomeas encontra-

das en el presente estudio aún no han sido reportadas en el departamento de Antioquia, estas especies son: *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing, *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck, *Humidophila contenta*, *Encyonema mesianum* (Cholnoky) DGMann, *Fragilaria cf tenera* (W.Smith) Lange-Bertalot, *Gomphonema affine* Kützing, *Gomphonema auritum* A.Braun ex Kützing, *Gomphonema subclavatum* (Grunow) Grunow, *Hantzschia virgata* (Roper) Grunow, *Navicula notha* JHWallace, *Reimeira sinuata*, *Stenopterobia krammeri* Metzeltin & Lange-Bertalot y *Ulnaria ulna*.

Se reportan por primera vez para Colombia las especies *Amphipleura chiapasensis* Metzeltin & Lange-Bertalot, *Cymbella cf ehrenbergii* Kützing, *Encyonema minutiforme* Krammer, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) DGMann, *Pseudostaurosira cf americana* EAMorales, *Pseudostaurosira elliptica* (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding y *Surirella bryophila* Lange-Bertalot, Wydrzycka y Metzeltin.

La Tabla 2 presenta la lista de diatomeas registradas en el río Tapartó y el apéndice 1, las fotografías al microscopio óptico y electrónico.

Especies	
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	<i>Gomphonema auritum</i> A.Braun ex Kützing
<i>Achnanthes rupestoides</i> MHHohn	<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing
<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing
<i>Amphipleura chiapasensis</i> Metzeltin & Lange-Bertalot	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow
<i>Cymbella cf ehrenbergii</i> Kützing	<i>Hantzschia virgata</i> (Roper) Grunow
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) RLLowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová
<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Auerswald ex Heiberg) Krammer	<i>Iconella curvula</i> (W.Smith) Ruck & Nakov
<i>Encyonema minutum</i> (Hilse) DGMann	<i>Luticola mutica</i> (Kützing) DGMann
<i>Encyonema mesianum</i> (Cholnoky) DGMann	<i>Melosira varians</i> C.Agardh
<i>Encyonema minutiforme</i> Krammer	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) DGMann	<i>Navicula notha</i> JHWallace
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith
<i>Eunotia serra</i> Ehrenberg	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt	<i>Psammothidium helveticum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova & Round
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst	<i>Pseudostaurosira cf americana</i> EAMorales
<i>Fragilaria cf tenera</i> (W.Smith) Lange-Bertalot	<i>Pseudostaurosira elliptica</i> (Schumann) Edlund, Morales & Spaulding
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	<i>Reimeria sinuata</i> (W.Gregory) Kociolek & Stoermer
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O.Müller
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg	<i>Staurosira construens</i> Ehrenberg
<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg	<i>Stenopterobia krammeri</i> Metzeltin & Lange B
<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow	<i>Surirella bryophila</i> Lange-Bertalot, Wydrzycka y Metzeltin

<i>Gomphonema affine</i> Kützing	<i>Ulnaria gouldarii</i> (Brébisson ex Cleve & Grunow) DMWilliams, Potapova & CEWetzel
<i>Gomphonema angustum</i> C.Agardh	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compèr

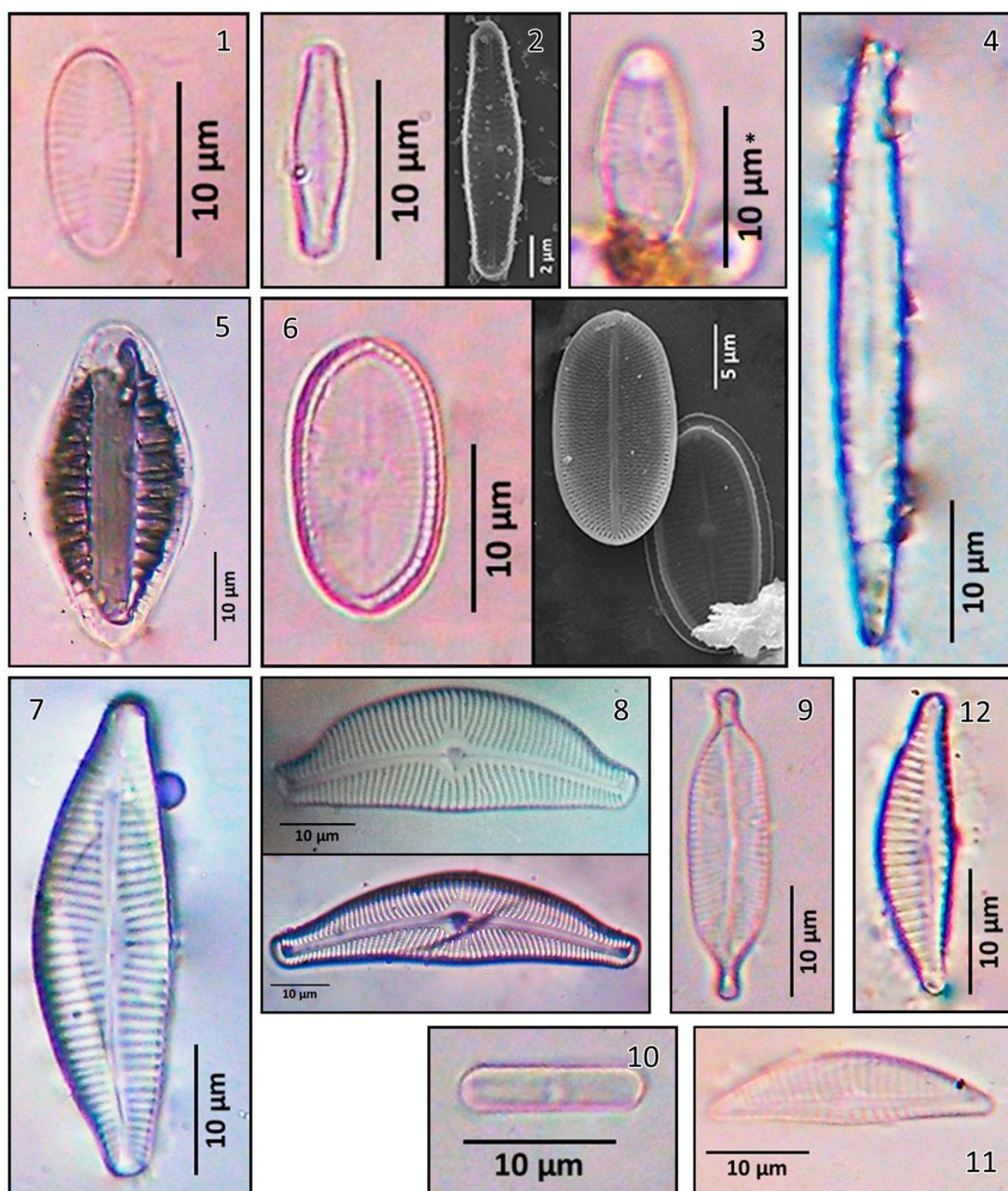
Fuente: Preparado por los autores

La tabla 3 presenta los rangos de las variables fisicoquímicas en que las diatomeas más abundantes predominaron. Al analizar los rangos de las variables fisicoquímicas en los que se registraron las diatomeas se puede plantear que *A. minutisimum*, *Fragilaria capucina*, *Encyonema silesiacum*, *Stenopterobia krammeri* y *Encyonema mesianum* exhiben unas condiciones de tipo eurioicas, con mayores rangos de variación y tolerancia a las condiciones fisicoquímicas. En contraste, *Ulnaria gouldarii*, *Gomphonema angustum*, *Humidofila contenta*, *Reimeira sinuata*, *Encyonema minutum* y *Gomphonema parvulum* presentan una condición de tipo estenoico, con rangos de variación estrechos. Las planchas 1-4 presentan las fotografías al microscopio óptico y electrónico de las diatomeas registradas en esta investigación.

Tabla 3. Rango de variación de los parámetros fisicoquímicos en los que las especies de diatomeas fueron más abundantes.

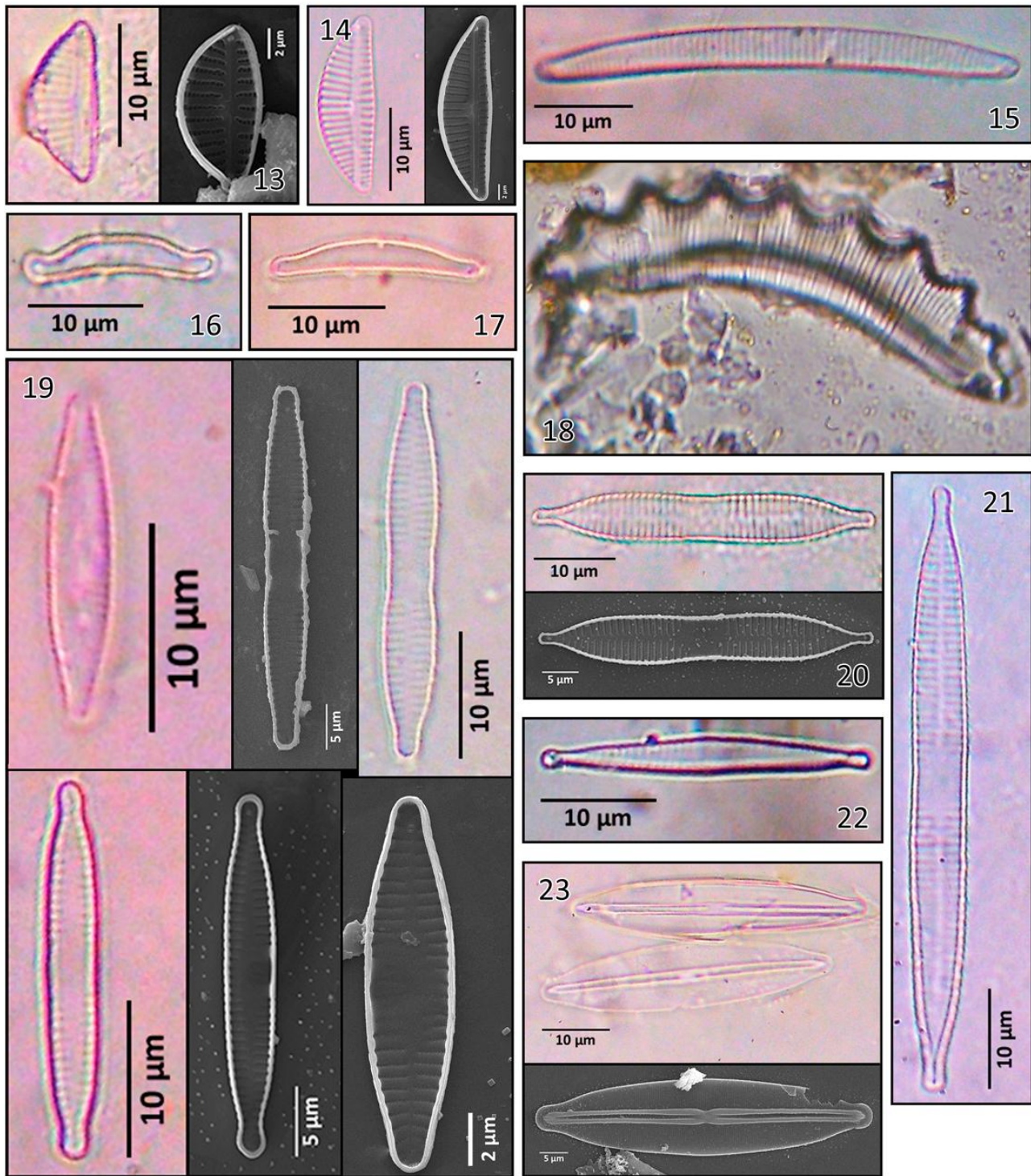
Especie	Variable/ Rango	T. Agua	O.D (mg/L)	% Sat.	C.E (μ S/cm)	pH	Turbidez (NTU)	Alcalin (mmol/L)	Nitrato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	N-NH4 (mg/L)	N. total (mg N/L)	F. total (mg P/L)	PO4 (mg/L)	Dureza (mmol/L)	DQO (mgO2/L)
<i>A. minutisimum</i>	Mín	18,3	7,1	98,4	15,4	5,55	0,99	0,2	0	1,3	0,05	0,4	0,04	0,1	0,1	6
	Máx	24,3	8,2	102,8	30,9	8,3	41,1	0,4	0,3	5	0,5	1,1	0,2	0,5	0,3	23
<i>Fragilaria capucina</i>	Mín	19,8	7,3	99,3	15,4	5,55	0,99	0,2	0	2	0,2	0,4	0,05	0,2	0,2	6
	Máx	21,3	7,93	102,8	20,1	7,91	4,44	0,4	0,3	5	0,05	0,5	0,2	0,5	0,3	23
<i>Encyonema silesiacum</i>	Mín	18	7	98	15	5,5	0,9	0,15	0	1,3	0,05	0,4	0,04	0,1	0,1	6
	Máx	24,3	8,2	102,8	30,9	8,3	41,1	0,4	0,3	5	0,5	1,1	0,2	0,5	0,3	23
<i>Ulnaria gouldarii</i>	Mín	20,7	7	99	19,4	7	0,99	0,15	0,2	1,6	0,20	0,40	0,20	0,50	0,3	6
	Máx	21	7,4	99,7	20	7,2	1,55	0,2	0,30	2,00	0,40	0,50	0,20	0,50	0,5	8
<i>Gomphonema angustum</i>	Mín	20	7,8	98,4	20	7,5	18,85	0,3	0,30	2,00	0,20	0,50	ND	ND	0,20	8
	Máx	21	7,9	100	20,7	8,3	20,35	0,3	0,30	2,00	1	0,50	ND	ND	0,20	8
<i>Humidofila contenta</i>	Mín	20,6	7,3	99,3	15,4	6,69	1,26	0,3	0,30	5	0,05	0,50	0,05	0,20	0,2	9
	Máx	21,2	7,45	99,6	16,06	6,8	1,44	0,4	0,30	5	0,05	0,50	0,05	0,20	0,2	9
<i>Reimeira sinuata</i>	Mín	19	8,09	99	26,6	6,86	5,93	0,3	0,30	5	0,05	0,9	0,05	0,20	0,15	7
	Máx	18,3	8,2	100	26,8	6,95	5,95	0,3	0,30	5	0,05	1,1	0,05	0,20	0,15	7
<i>Encyonema minutum</i>	Mín	20	7,3	99,3	15,4	6,69	1,26	0,3	0,30	5	0,05	0,50	0,05	0,20	0,2	9
	Máx	21,6	7,45	99,6	16,06	6,8	1,44	0,4	0,30	5	0,05	0,50	0,05	0,20	0,2	9
<i>Gomphonema parvulum</i>	Mín	24	20,5	7,4	99	17,23	7,31	4,4	0,2	4	1,30	0,05	0,50	0,05	0,20	18
	Máx	24	20,5	7,95	99,6	19,49	7,91	4,44	0,2	4	1,30	0,05	0,50	0,05	0,20	18
<i>Stenopterobia krammeri</i>	Mín	19,8	7,53	102,3	17,8	5,55	1,78	0,2	0	1,30	0,05	0,50	0,05	ND	---	12
	Máx	21,3	7,81	102,8	17,8	6,3	2,6	0,2	0,3	1,30	0,05	0,50	0,05	ND	---	12
<i>Encyonema mesianum</i>	Mín	20,7	7,1	99,4	19,4	7,2	0,99	0,2	0	0,3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	6
	Máx	24,3	7,88	100,5	30,9	8,01	7,02	0,4	0	1,3	2	0,5	0,05	0,2	0,5	20

Simbología: T. agua= Temperatura del agua; O.D= Oxígeno disuelto; % sat= % de saturación de oxígeno; C.E= Conductividad eléctrica; Alcalin =alcalinidad; N-NH4= Nitrógeno amoniacal; N Total= Nitrógeno total; F total= fósforo total; PO4= ortofosfatos, Min= valor mínimo de la variable; Max= valor máximo de la variable Fuente: Preparado por los autores



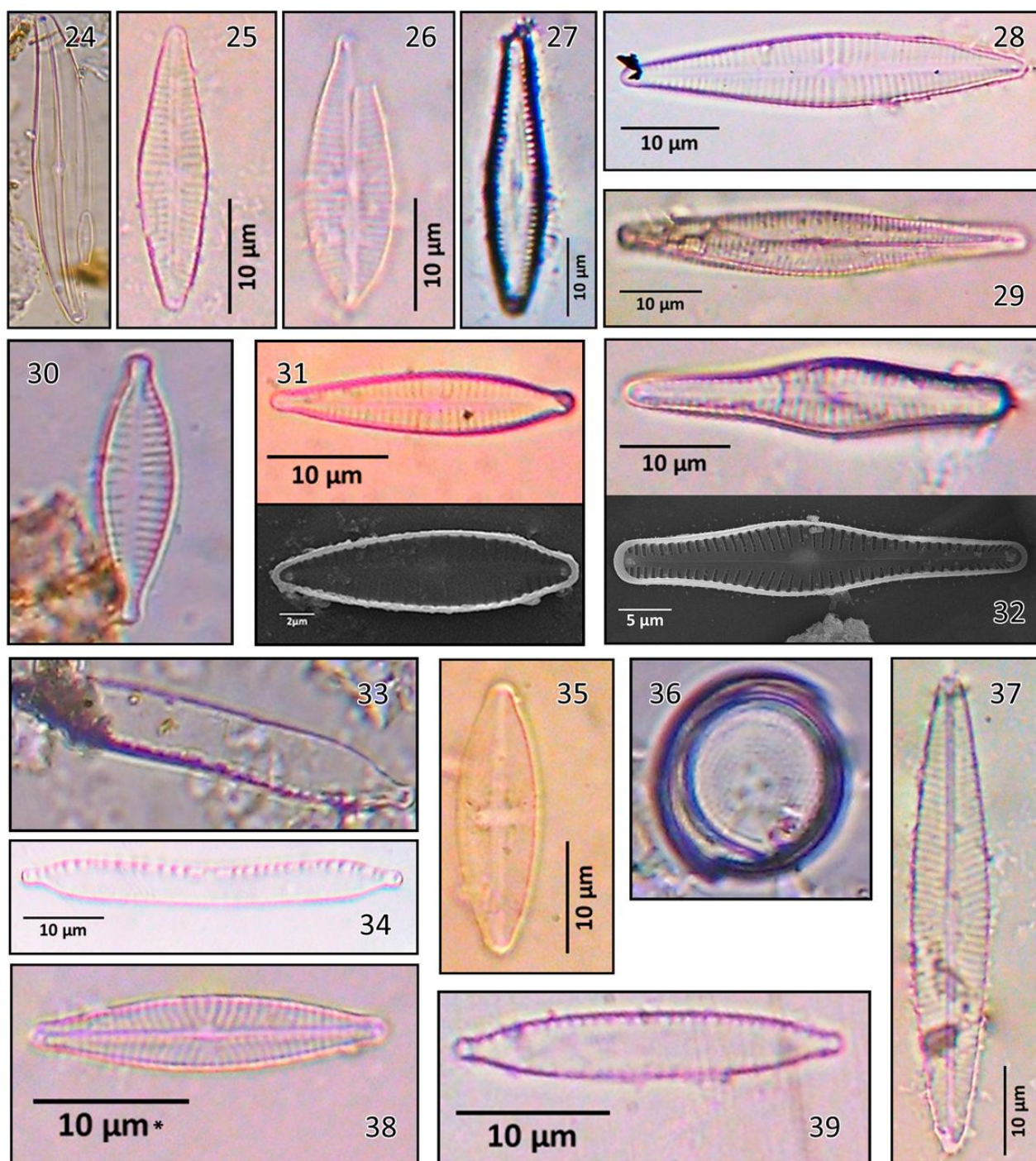
Plancha 1: (1) *Achnanthes rupestoides*, (2) *Achnanthidium minutissimum*, (3) *Psammothidium helveticum*, (4) *Amphipleura chiapasensis*, (5) *Amphora ovalis*, (6) *Cocconeis placentula*, (7) *Cymbella* cf. *ehrenbergii*, (8) *Cymbella tumida*, (9) *Cymbopleura naviculiformis*, (10) *Humidofila contenta*, (11) *Encyonema mesianum*, (12) *Encyonema minutiforme*.

Fuente: Preparado por los autores



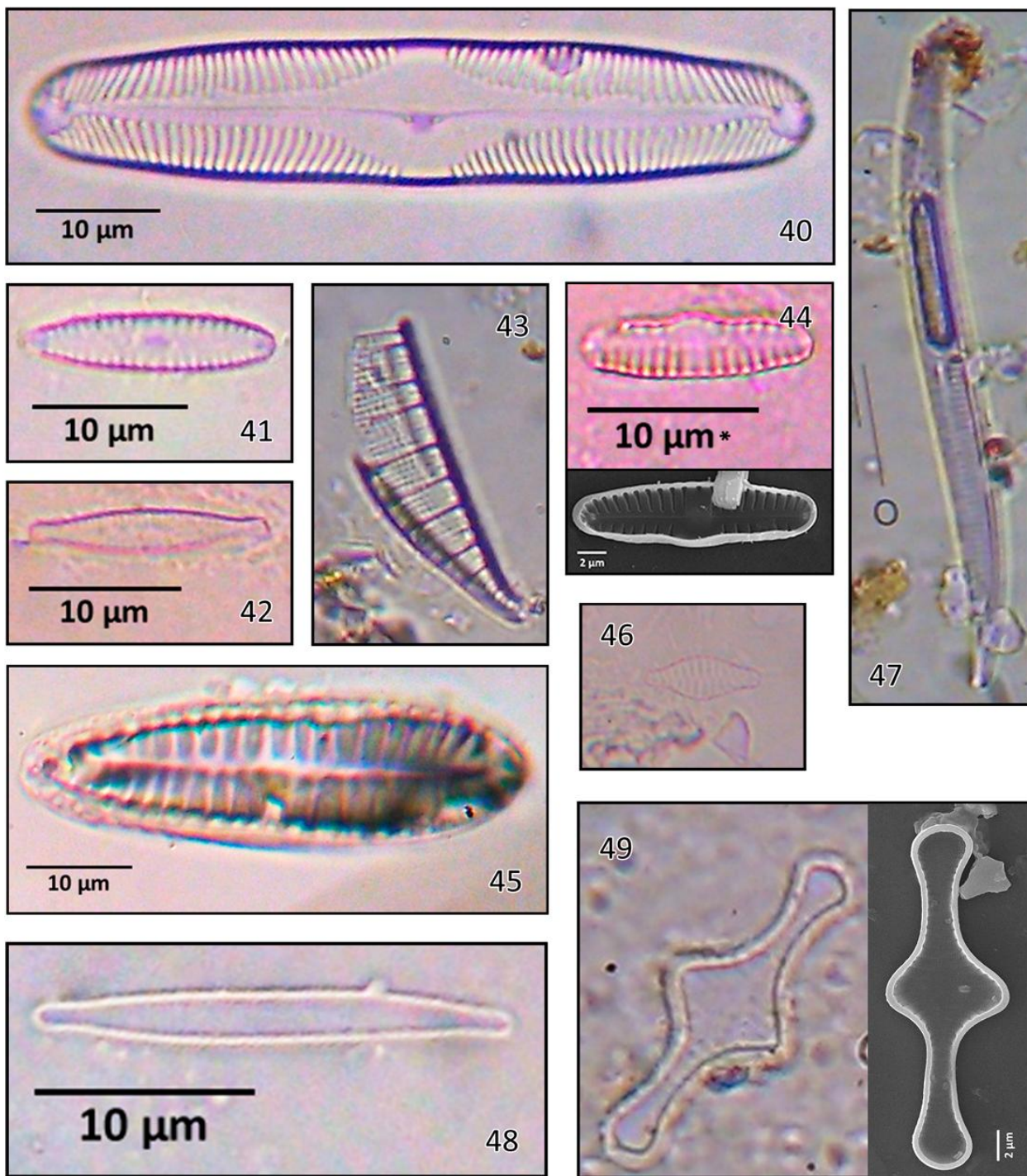
Plancha 2: (13) *Encyonema minutum*, (14) *Encyonema silesiacum*, (15) *Eunotia bilunaris*, (16) *Eunotia* cf. *exigua*, (17) *Eunotia* cf. *minor*, (18) *Eunotia serra*, (19) *Fragilaria capucina*, (20) *Ulnaria gouldarii*, (21) *Ulnaria ulna*, (22) *Fragilaria* cf. *tenera*, (23) *Frustulia crassinervia*.

Fuente: Preparado por los autores



Plancha 3. (24) *Gyrosigma acuminatum*, (25) *Gomphonema affine*, (26) *Gomphonema augur* (27) *Gomphonema angustum*, (28) *Gomphonema auritum*, (29) *Gomphonema gracille*, (30) *Gomphonema lagenula*, (31) *Gomphonema parvulum*, (32) *Gomphonema subclavatum*, (33) *Hantzschia amphioxys*, (34) *Hantzschia virgata*, (35) *Luticola mutica*, (36) *Melosira varians*, (37) *Navicula cryptocephala*, (38) *Navicula notha*, (39) *Nitzschia palea*.

Fuente: Preparado por los autores



Plancha 4: (40) *Pinnularia microstauron*, (41) *Pseudostaurosira* aff. *americana*, (42) *Pseudostaurosira elliptica*, (43) *Rhopalodia gibberula*, (44) *Reimeira sinuata*, (45) *Surirella bryophila*, (46) *Staurosira construens*, (47) *Iconella curvula*, (48) *Stenopterobia krammeri*, (49) *Tabellaria flocculosa*.

Fuente: Preparado por los autores

4. DISCUSIÓN

En un estudio realizado por [38] se encontró que para el río Tota (Río de alta montaña tropical), se da mayor diversidad de especies en temporadas de flujo medio, mientras que se presenta una disminución en temporadas de altos y bajos flujos (condiciones que se relacionan a eventos de lluvia y sequía respectivamente). Por lo tanto se esperaría que la variación de diversidad en las estaciones entre los meses muestreados, se deba en parte a un aumento o disminución en el flujo, dado por las condiciones hidrológicas propias de cada mes de muestreo. En el río Tapartó, el desarrollo del perifiton puede ser restringido por las altas velocidades en la corriente, factor que puede influir en la baja diversidad de especies. Aunque no se pudo evaluar el caudal, en el trabajo de campo se observó que el río responde rápidamente al inicio de las lluvias, lo cual permite formular la hipótesis anterior.

La descripción del estatus ecológico de las especies más dominantes en el río Tapartó sería:

Achnantidium minutissimum, es la especie que sobresale y aunque en algunos meses no fue la más dominante, mantuvo porcentajes muy altos de abundancia relativa durante la investigación. Se puede decir que las condiciones naturales del río favorecen en todo momento su presencia, como por ejemplo las altas velocidades, baja conductividad y aguas muy oxigenadas, las cuales contribuyen a que las concentraciones de nitrito sean bajas. Incluso el estrés ejercido por la contaminación, ayuda que haya un aumento en su abundancia relativa, esto se puede observar en la estación E1, en la cual *A. minutissimum* es la especie dominante en condiciones que sugieren contaminación por compuestos tóxicos, los cuales pueden ser generados en el cultivo y beneficio del café, el cual es muy abundante en toda la región de estudio.

A. minutissimum se extiende en un rango amplio de condiciones ecológicas y se desarrollan mejor en aguas limpias de baja conductividad [39]. Sin embargo, se ha encontrado que una alta abundancia relativa se relaciona con bajos contenidos de nutrientes, como nitrógeno total [40], nitritos y nitratos [41]; y con la capacidad para resistir a elevadas perturbaciones [42]. [43] la clasifica dentro de un grupo llamado de "bajo perfil", en el cual se clasifican organismos de corta estatura que se adhieren directamente al sustrato, donde se encontró que la abundancia de las especies que conforman el grupo, tienen una fuerte relación lineal con altas velocidades de corriente.

[44] plantea que los estados iniciales de sucesión y colonización se caracterizan por que las especies presentan tamaños pequeños y morfología sencilla, además de una baja diversidad de especies y abundancia. Estas condiciones se dan en la estación E1 en mayo, donde se evidenció escases en el número de algas y donde las especies más dominantes (*Humidofila contenta*, *Encyonema minutum* y *Achnantidium minutissimum*) se caracterizan por ser de proporciones pequeñas, esto es resultado de eventos de precipitación que producen crecientes y lavan el sustrato en el que se desarrolla el perifiton.

Encyonema silesiacum es una de las diatomeas más comunes en aguas corrientes, con concentraciones moderadas de oxígeno y pH neutro, es decir es una especie neutrófila [45]. Según [41] *E. silesiacum* es oligo a mesosaprobica, también se da en condiciones eutróficas sin contaminación saprobica, en ambientes con bajas perturbaciones antrópicas y bajo o moderado contenido de electrolitos.

Fragilaria capucina es una especie tolerante a altas concentraciones de metales pesados, como el cobre [45] y se caracteriza por presentar modificaciones morfológicas como forma de adaptación. Según [46] esta especie se desarrolla en niveles intermedios de turbiedad y transparencia reducida, con temperaturas de 31°C, saturación de oxígeno entre 40 a 60 mg/L, pH de 6.6, conductividad de 60 µS/cm, concentraciones de nitritos y nitrógeno amoniacal de 0.18 mg/L y concentraciones de sulfatos menores a 3 mg/L.

Ulnaria gouldarii se reconoce también como *Synedra gouldarii*. Es una especie indicadora de ambientes oligotróficos que se desarrolla óptimamente en aguas con alta transparencia [45], pH neutro (pH=7), bajos valores de sólidos disueltos totales (30 – 120 mg /L), concentraciones de nitratos menores a 0.2 mg/L, concentraciones de nitritos y nitrógeno amoniacal menores a 2 mg/L y concentraciones de sulfatos menores a 12 mg/L [46].

Gomphonema parvulum es una especie tolerante a concentraciones altas y moderadas de nutrientes [48], si esta se encuentra dominante en una muestra indica que hay enriquecimiento orgánico en el agua [39,43]. Se ha reportado como abundante en ríos con efluentes de aguas residuales urbanas [48]. Se aso-

cia con ambientes eutróficos y perturbados físicamente, con tasas de crecimiento bajas a moderadas, además son fuertes competidores por la dominancia en ambientes perturbados [49].

[50] encontraron que *G. parvulum* es una especie capaz de adaptarse genéticamente a un amplio estrés físico y químico en ríos y es tolerante a metales pesados.

Cocconeis placentula presenta en una amplia gama de condiciones, desde aguas con moderado a alto enriquecimiento de nutrientes. Es dominante en el perifiton en condiciones de alto flujo, ya que su forma aplanada le permite tolerar turbulencia [39].

Encyonema minutum se considera a esta especie como característica de ambientes oligosapróbicos con altas concentraciones de oxígeno [41]. Es descrita como una taxa tolerante a la contaminación por metales pesados [51], sin embargo [28] encontró que *E. minutum* mostraba preferencias por bajas concentraciones de metales pesados como Ag, Mn, Cd y Ni.

Reimeria sinuata es considerada Neutrofila, B- mesosaprobica, favorecida por altas velocidades [43] Oligotérmica-mesotérmica, indiferente al pH [45].

CONCLUSIONES

Se reportan por primera vez para Colombia las especies *Amphipleura chiapasensis*, *Cymbella* cf *ehrenbergii*, *Encyonema minutiforme*, *Encyonema silesiacum*, *Pseudostaurosira* aff *americana*, *Pseudostaurosira medliniae*, *Surirella bryophila*.

Se identificaron diatomeas de tipo estenoicas y eurioicas, las cuales dominan en diferentes estaciones y momentos en el río Tapartó, el cual por la torrencialidad de su cuenca, tiende a favorecer las diatomeas que soportan flujos altos y variables.

Los rangos óptimos registrados para las especies indicadoras están asociados al ambiente en que se encuentran y son datos muy relevantes para los inicios de la Bioindicación con algas en Colombia y en América tropical.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad de Antioquia y su programa de regionalización que por medio de la convocatoria de investigación Regionalización financió este trabajo. También agradecen al grupo de evaluadores anónimos que con sus comentarios ayudaron a enriquecer este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Restrepo, A. y Jaramillo, J. (1990). Resumen del Plan de Acción y recuperación y saneamiento de la micro-cuenca del Río Tapartó. Departamento administrativo de planeación. Dirección planeación del desarrollo. División Territorial. Gobernación de Antioquia.
- [2] GRUPOS GIGA y GAIA, (2002). Universidad de Antioquia; Posgrado en aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional-sede Medellín. *Caracterización cualitativa y cuantitativa de la calidad y cantidad del recurso hídrico superficial en la Cuenca del Río San Juan*. Medellín
- [3] Lowe, R.L. y Pan, Y. (1996). Benthic Algal Communities as Biological Monitors. *Algal Ecology*. 705 -738.
- [4] Patapova, M. y Charles, DF. (2007). Diatom metrics for monitoring eutrophication in rivers of United States. *Ecological Indicators*. 7: 48-70. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.10.001>
- [5] Díaz, C. y Rivera, C. (2004). Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Limnología*. 26(2): 381-394. <https://bit.ly/3UrZzhL>
- [6] Sala S. Duque S., Núñez-Avellaneda M. y Lamaro A. (1999). Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la Amazonia Colombiana. *Caldasia*, 21: 26–37.
- [7] Sala S., Duque S., Núñez-Avellaneda M. y Lamaro A. (2002a). Diatoms from the Colombian Amazonia. *Cryptogamie, Algologie* 23: 75–99.
- [8] Sala S., Duque S., Núñez-Avellaneda M. y Lamaro A. (2002b). Diatoms from the Colombian Amazon: some species of the genus Eunotia (Bacillariophyceae). *Acta Amazonica*, 32: 589–603.
- [9] Sala S., Duque S., Núñez-Avellaneda M. y Vouilloud A. (2008a). Ultrastructure of the frustule of Urosolenia species from the Colombian and Peruvian amazon: *U. delicatissima* nov. spec., *U. amazonica* nov. spec. and *U. braunii* (Hustedt). *Diatom Research*, 23: 159–169.
- [10] Vouilloud A., Sala S., Núñez-Avellaneda M. y Duque S. (2010). Diatoms from the Colombian and Peruvian Amazon: the genera Encyonema, Encyonopsis and Gomphonema (Cymbellales, Bacillariophyceae). *Revista de Biología Tropical/International Journal of Tropical Biology*, 58: 45–62.
- [11] Montoya-Moreno, Y., Sala, S., Vouilloud A. y Aguirre, N. (2011). *Capartogramma crucicula* (Grunow ex Cleve) Ross, primer registro del género para Colombia. *Universitas scientiarum*. Vol. 16 N° 1: 70-76.
10.11144/javeriana.SC16-1.ccge
- [12] Montoya-Moreno, Y., Sala, S.E., Vouilloud, A. y Aguirre, N. (2012). Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. I. *Caldasia* 34: 457–474.
- [13] Simonato J., Kociolek J.P., Sala S.E., Díaz Y.P. y Núñez-Avellaneda M. (2020). Three new Luticola species from the Andean-Amazonian transition in Colombia: taxonomy, morphology and preliminary considerations of the biogeography of the genus. *Diatom Research*, 1–17. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2020.1813205>
- [14] Vouilloud, A., Sala, S., Núñez-Avellaneda, M., Montoya-Moreno, Y. y Duque, S. (2014). Brachysira (Naviculales, Bacillariophyceae) in lowland waters from Colombia. *Diatom research*, 29(2), 147-163
<https://doi.org/10.1080/0269249X.2013.866909>
- [15] Sala S., Ramírez J., y Plata-Díaz Y. (2008b). Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander Departments in Colombia. *Revista de Biología Tropical/ International Journal of Tropical Biology*, 56: 1159–1178. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i3.5701>
- [16] Sala S. y Ramírez J. (2008). Cyclotella katiana nov. sp. (Bacillariophyceae) from La Reina Swamp, Parque Nacional los Katíos, Colombia. *Diatom Research*, 23: 147–157. DOI: 10.1080/0269249X.2008.9705743

- [17] Medina-Tombé, M., Sala, S., Vouilloud A. y Ramírez-Restrepo, J. (2016). *Surirella tayronarum spec. nov.* (Surirellaceae, Bacillariophyta) from Colombia. *Phytotaxa* 278 (1): 039–047.
<http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.278.1.4>.
- [18] Medina-Tombé, M., Sala, S., Vouilloud A. y Ramírez-Restrepo, J. (2017). Comparación morfológica y distribución geográfica de las especies *Tabellaria fenestrata* y *Tabellaria flocculosa* (Bacillariophyceae) en sistemas lóticos y lénticos de Colombia. *Actual Biol* 39 (107): 43-50. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v39n107a05>
- [19] Vouilloud, A., Plata-Díaz, Y., Pedraza, E., Pimienta, A., Heguilor, S., Lamaro, A. y Sala, S. (2016). Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie. *HIDROBIOLÓGICA*, 26(2), 241–250.
<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbshidro/2016v26n2/Vouilloud>
- [20] Medina-Tombé, M., Vouilloud A y Sala, S. (2019). *Terpsinoë* música Ehrenberg (Bacillariophyceae), primer registro del género para Colombia. *Actual Biol* 41 (110): 5-13, 2019 |
<https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n110a01>
- [21] Sala, S., Vouilloud, 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.
 DOI: 10.15446/caldasia.v37n1.50814
- [22] BJ Bellinger, C. Cocquyt y O'Reilly, CM. (2006). Diatomeas bentónicas como indicadores de eutrofización en corrientes tropicales”, *Hydrobiologia*, vol. 1, núm. 573, págs. 75-87.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-006-0262-5>
- [23] ALCALDÍA DE BETANIA. (2006). *Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento municipio de Betania*. Alcaldía municipal de Betania. <https://es.calameo.com/books/0048451017da8b8ae2127>.
- [24] Olmos, C. A., Molina, R.D., Vélez, F. y Aguirre, N. (2015). Efectos de la descarga de materia orgánica proveniente de subproductos de la agroindustria del café sobre el oxígeno disuelto del río Tapartó en el suroeste Antioqueño. Trabajo de grado en ingeniería Ambiental. Grupo Geolimna. Escuela Ambiental. Facultad de ingeniería. Universidad de Antioquia.
- [25] CEN/TC 230. (2002). *Water quality-Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers*. European Standard. CEN/TC 230 prEN 13946: Committee on European Normalization 14 p. Recuperado de (www.techind.fi/standard/uutiset/tilaajat/sfs_en_12952-6.pdf).
- [26] Patrick R. y Reimer, WC. (1966). The diatoms of United States. Philadelphia, vol 1. Monogr. Acad. Nat. Sci., Philadelphia. 688p.
- [27] Patrick R. y Reimer, WC. (1975). The diatoms of United States. Philadelphia, vol 2. Monogr. Acad. Nat. Sci., Philadelphia. 212p.
- [28] Germain, H. (1981). Flore des diatomées. Diatomophycées. Societé Nouvelle des Editions Boubée, France.
- [29] Gasse, F. (1986). East Africans Diatoms: Taxonomy, ecological distribution. *Bibliotheca Diatomologica*, Band 11. J. Cramer, Berlin-Stuttgart. 295p.
- [30] Round, F., Crawford, Y. y Mann, DG. (1990). The diatoms. Biology y morphology of the genera. Cambridge: Cambridge University Press. 776p.
- [31] Lange-Bertalot, H. (1993). 85 New Taxa and much more the 100 taxonomic clarifications supplementary to Süßwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 2/1-4. *Bibliotheca Diatomologica*, 27. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- [32] Lange-Bertalot, H. (2001). Diatoms of Europe. Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats. *Navicula sensu stricto 10 Genera separated from Navicula sensu lato Frustulia*. A.R.G. Gantner K.G., Ruggel, Germany.

- [33] Lange-Bertalot, H., K. Külbs, T. Lauser, M. Nörpel- Schempp. y Willman, M. (1996). Diatom taxa introduced by Georg Krasske Documentation and Revision. *Iconographia Diatomologica*. Annotated Diatom Micrographs. Volume 3. Koeltz Scientific Books, Königstein, Germany.
- [34] Metzeltin, D. y Lange-Bertalot, H. (1998). Tropical diatoms of South America I. In: Lange-Bertalot, H. (Ed.). *Iconographia Diatomologica* 5. Koeltz Scientific Books. Germany. 695p.
- [35] Metzeltin, D. y Lange-Bertalot, H. (2007). Tropical diatoms of the South America II. *Iconographia Diatomologica* 18: A.R.G. Gantner Verlag K.G. Koenigstein. Germany. 877p.
- [36] Metzeltin, D., H. Lange-Bertalot, y García-Rodríguez, F. (2005). Diatoms of Uruguay. *Iconographia Diatomologica* 15: A.R.G. Gantner Verlag K.G. Koenigstein. Germany. 695p.
- [37] Montoya-Moreno Y, Sala S, Vouilloud A, Aguirre N, Plata Y. (2013). Lista de las diatomeas de ambientes continentales de Colombia. *Biota Colombiana* 14 (2): 13-78. Recuperado de <https://revistas.humboldt.org.co/index.php/biota/article/view/282>
- [38] Biggs, B. y Kilroy, C. (2000). Stream Periphyton Monitoring Manual. NIWA, Christchurch. The New Zealand Ministry for the Environment. New Zeland.
- [39] Martínez, L.F. y Donato, J. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Limnología*. 25(2): 337-354. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39386>
- [40] Acs, É., Szabó, K., Kiss, Á. K., Tóth, B., Záray, G. y Kiss, K. (2006). Investigation of epilithic algae on the River Danube from Germany to Hungary and the effect of a very dry year on the algae of the River Danube. *Archiv für Hydrobiologie* 158:389–417. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/286726367_Benthic_algal_investigations_in_the_Danube_river_and_some_of_its_main_tributaries_from_Germany_to_Hungary
- [41] De Fabricius, A., Maidana, N., Gómez, N. y Sabater, S. (2003). Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*, 12: 2443–2454. <https://doi.org/10.1023/A:1025857715437>
- [42] Béres, V., Török, P., Kókai, Z., Krasznai, E.T, Tóthmérész, B. y Bácsi, I. (2014). Ecological diatom guilds are useful but not sensitive enough as indicators of extremely changing water regimes. *Hydrobiologia*. 738:191–204. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1929-y>
- [43] Passy, S. I. (2007). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*. 86:171–178 <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>
- [44] Margalef, R. (1983). *Limnología*. Ediciones. Omega. Barcelona.
- [45] Moro, R.S. y Fürstenberger, CB. (1997). *Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas*. Universidad Estadual de Ponta Grossa. Paraná. 282p.
- [46] Pandey, L. K., Kumar, D., Yadav, A., Rai, J. y Gaur, J. P. (2014). Morphological abnormalities in periphytic diatoms as a tool for biomonitoring of heavy metal pollution in a river. *Ecological indicators*, 36: 272-279. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.002>
- [47] Montoya-Moreno, Y. y AGUIRRE, N. (2013). Knowledge to Ecological Preferences in a Tropical Epiphytic Algae to Use with Eutrophication Indicators. *Journal of Environmental Protection*, 4: 27-35 <https://doi.org/10.4236/jep.2013.411A1004>
- [48] Weillhoefer, C. L. y Pan, Y. (2007). Relationships between diatoms and environmental variables in wetlands in the Willamette valley, Oregon, USA. *Wetlands*, 27, No. 3. pp. 668–682. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2007\)27\[668:RBDAEV\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[668:RBDAEV]2.0.CO;2)

- [49] Biggs, B.J.F., Stevenson, R.J. y LOWE, R. (1998). A habitat matrix conceptual model for stream periphyton. *Archives of Hydrobiology*. 143: 21–56. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/240311199A_habitat_matrix_conceptual_model_for_stream_periphyton
- [50] Ivorra, N., Barranguet, C., Jonker, M., Kraak, M. y Admiraal, W. (2002). Metal-induced tolerance in the freshwater microbenthic diatom *Gomphonema parvulum*. *Environmental Pollution*, 116. 147–157. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00152-X)
- [51] Falasco, E., Bona, F., Badino, G., Hoffmann, L. y Ector, L. (2009). Diatom teratological forms and environmental alterations: a review. *Hydrobiologia*. 623:1–35. [https://doi.org/ 10.1007/s10750-021-04540-x](https://doi.org/10.1007/s10750-021-04540-x)