

## Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie

## Distribution of *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) in Neotropical rivers (Colombia) and its implication on the species's taxonomy

Amelia Alejandra Vouilloud<sup>1</sup>, Yasmín Plata-Díaz<sup>2</sup>, Edna Pedraza<sup>2</sup>, Astrid Pimienta<sup>3</sup>, Santiago Heguilor<sup>1</sup>, Anabel Lamaro<sup>1</sup> y Silvia Estela Sala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>División Científica Ficología, Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque S/N La Plata, 1900. Argentina

<sup>2</sup>Escuela de Biología. Grupo de Estudios en Biodiversidad. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Santander, A. A 678. Colombia

<sup>3</sup>Instituto Colombiano del Petróleo ICP- Ecopetrol Km7 Vía a Piedecuesta, Santander. Colombia

e-mail: avouilloud@focnym.unlp.edu.ar

Vouilloud A. A., Y. Plata-Díaz, E. Pedraza, A. Pimienta, S. Heguilor, A. Lamaro y S. E. Sala. 2016. Distribución de *Eunotia parasiolii* (Bacillariophyceae) en ríos neotropicales (Colombia) y su implicancia en la taxonomía de la especie. *Hidrobiológica* 26 (2): 241-250.

### RESUMEN

**Antecedentes.** Tradicionalmente se consideraba que los microorganismos eran cosmopolitas; sin embargo, estudios recientes en diversos grupos revelaron que ese concepto es erróneo. La revisión de las diatomeas en el neotrópico ha dejado al descubierto una alta biodiversidad y un gran número de especies endémicas. Por su ubicación latitudinal y relieve en Colombia se observa una gran diversidad de ambientes en un territorio relativamente reducido, por lo que resulta interesante para realizar estudios biogeográficos. Uno de los géneros mejor representados, en los ríos de las tierras bajas es *Eunotia*. *E. parasiolii*, una especie neotropical, ha sido hallada en varios países de la región. **Objetivos.** El objetivo de este trabajo fue analizar la morfología fina y la distribución de los morfotipos hallados en Colombia y establecer si *Eunotia parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica o, por el contrario, si estos morfotipos representan variedades con distribución restringida. **Métodos.** Se analizaron 170 muestras de perifiton colectadas en 83 sistemas lóticos. Las muestras se trataron siguiendo el protocolo CENT/TC 230 (2002) y se observaron con microscopía óptica (MO) y electrónica de barrido (MEB). Se confeccionaron mapas de distribución utilizando técnicas de SIG y se aplicó el índice de autocorrelación espacial I de Moran. **Resultados.** El análisis de numerosos ejemplares colectados en 83 sistemas lóticos permitió diferenciar *a priori* tres morfotipos, con base en el contorno valvar, el desarrollo de costillas subapicales y la densidad de estrías. El taxón presentó amplia distribución en el área de estudio, y se halló en cuencas con características hidrogeomorfológicas y fisicoquímicas diversas. Los caracteres que distinguen estos morfotipos varían gradualmente y su distribución es aleatoria. **Conclusiones.** *Eunotia parasiolii* es una especie con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica. Se propone enmendar su descripción, dado que la diagnosis original no incluye caracteres de la estructura fina de los frústulos y por tanto resulta insuficiente para diferenciarla de taxones afines.

**Palabras clave:** Colombia, diatomeas, distribución geográfica, *Eunotia parasiolii*, neotrópico.

### ABSTRACT

**Background.** Microorganisms have traditionally been considered cosmopolitan. Nevertheless, recent studies of diverse groups demonstrated that this is an erroneous concept. Reviews of diatoms from the Neotropics have shown high biodiversity and numerous endemic species. Colombia has great habitat diversity in relatively small areas due to its latitudinal position and topography, so it is an ideal site for biogeographic studies. One of the better represented genera in lowland rivers, *Eunotia* and *Eunotia parasiolii*, a Neotropical species, was reported in several countries in the region. **Goals.** In order to establish whether the three morphotypes found are discrete taxonomic entities, their morphometric data, fine morphology and geographical distribution were analyzed. **Methods.** 170 periphyton samples corresponding to 83 lotic systems were analyzed. Samples were prepared following the CENT/TC 230 (2002) protocol. They were observed with light (LM) and scanning electronic microscope (SEM). Distribution maps were made using GIS and a Moran's I autocorrelation spatial index was applied. **Results.** The analyses of several specimens collected at 83 lotic systems allowed us to differentiate *a priori* 3 morphotypes based on the valve outline, development of subapical costae, and striae density. The species was extensively distributed in the study area, in basins with different hydrogeomorphology and chemical characteristics. The morphological characteristics that distinguish these morphotypes varied gradually; besides, the morphotypes were randomly distributed. **Conclusions.** We conclude that *Eunotia parasiolii* is a species with a great morphological variability and wide distribution. We propose to amend the description of the species, since the original diagnosis does not include characteristics of the fine structure of the frustules and therefore is insufficient to differentiate it from its allied taxa.

**Key words:** Colombia, diatoms, *Eunotia parasiolii*, geographic distribution, Neotropical.

## INTRODUCCIÓN

La biogeografía ecológica se ocupa de analizar la manera en que los procesos ecológicos, que suceden en escalas cortas de tiempo, actúan sobre los patrones de distribución de los seres vivos (Cox & Moore, 1993); mientras que la biogeografía histórica estudia cómo aquellos procesos que suceden en un periodo prolongado de tiempo, afectan dichos patrones (Crisci *et al.*, 2000). La diversidad y composición taxonómica de las comunidades resultan del balance entre procesos que operan a escala regional, como la especiación y la dispersión geográfica que suman especies a las comunidades, y de los procesos capaces de promover extinciones locales como depredación, exclusión competitiva entre otras (Ricklefs, 1987). Hasta hace poco tiempo, estos conceptos no eran aplicados a los microorganismos, y se consideraba que éstos tenían una distribución cosmopolita; sin embargo, esta idea fue refutada a partir de los resultados obtenidos al estudiar diferentes grupos de organismos. Vanormelingen *et al.* (2007) señalan que los estudios taxonómicos de diatomeas, en los que se utilizan caracteres morfológicos, moleculares y experimentos de entrecruzamiento, han demostrado que su distribución geográfica varía entre el cosmopolitismo y el endemismo. En este nuevo escenario, la incorporación de datos biogeográficos al estudio de la biología y ecología de diatomeas puede brindar información adicional para la definición de los caracteres diagnósticos y límites específicos.

Por su ubicación latitudinal y relieve, Colombia es un lugar propicio para realizar estudios biogeográficos pues presenta una gran variedad de ambientes y es uno de los países con mayor biodiversidad en diferentes grupos de organismos (Anónimo, 2010). Montoya-Moreno *et al.* (2013) sostienen que los estudios taxonómicos de diatomeas de distintas áreas del país demuestran que más de la mitad de los taxones identificados no pueden atribuirse a especies conocidas, y que entre los sitios investigados hay una baja similitud florística, inferior al 20%. Dichos resultados sugieren un alto grado de biodiversidad y un reducido número de especies cosmopolitas, en especial en las zonas de tierras bajas, factores que implican una dificultad para utilizar a las diatomeas como bioindicadores en el neotrópico. En este contexto, la compañía Ecopetrol desarrolló un estudio extensivo de diatomeas del perifiton a fin de elaborar un índice diatómico de calidad biológica para ser utilizado en ríos colombianos.

*Eunotia* es uno de los géneros más diversamente representado en estos ambientes. Al igual que la mayoría de los géneros de diatomeas, se trata de un taxón cosmopolita, pero muchas de sus especies son exclusivas del neotrópico. Metzeltin y Lange-Bertalot (1998, 2007) describieron 79 especies nuevas de *Eunotia* para el trópico de América del Sur. Entre ellas, *Eunotia parasiolii* Metzeltin y Lange-Bertalot descrita con base en materiales del Río Kukenan, Venezuela; fue también hallada en Brasil (Wetzel 2011, como *E. siolii* Hustedt; en Krammer y Lange-Bertalot, 1991, entre otras citas), Guyana (Metzeltin & Lange-Bertalot, 2007), Uruguay (Metzeltin *et al.*, 2005) y Colombia (Montoya-Moreno *et al.*, 2013) pero hasta el presente nunca fuera de América del Sur.

Según la diagnosis (Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998), *E. parasiolii* posee contorno valvar con margen ventral lineal a levemente cóncavo y margen dorsal convexo; se caracteriza por los extremos en forma de nariz con los ápices curvados hacia el lado ventral de la valva y baja densidad de estrías centrales.

En el área de estudio, el taxón presentó una amplia distribución. Los ejemplares analizados con microscopio óptico (MO) y microscopio electrónico de barrido (MEB), mostraron una gran variabilidad morfológica.

El objetivo de este trabajo fue analizar la morfología fina y la distribución de los morfotipos hallados en Colombia y establecer si *Eunotia parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica o, por el contrario, si estos morfotipos representan variedades con distribución restringida.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de Estudio.** El área de estudio abarcó varias cuencas del territorio colombiano (Fig. 1, Tabla 1), específicamente, las localidades corresponden a las estaciones donde Ecopetrol realiza monitoreos físico-químicos e hidrobiológicos de acuerdo con las disposiciones de las autoridades ambientales de cada región del país. Para la realización de este estudio se utilizó la información contenida en una base de datos con la descripción de algunas variables hidrogeomorfológicas (composición del lecho, aspectos del flujo), fisicoquímicas (pH, conductividad) y aproximadamente 460 morfoespecies de diatomeas. Los datos provinieron de monitoreos realizados entre 2007 y 2011. A cada sitio de muestreo se le asignó una región o unidad hidrológica, según su ubicación en la vertiente y la cuenca a la que pertenece (Tabla 1). En la figura 1 se describe la ubicación de los sitios de muestreo en cada una de las cuencas, de donde se tomó la información para el presente análisis. De manera general, los ríos pertenecientes a las unidades RCO\_VOR, RCO\_VOC, RCC\_VOR son sistemas típicos de piedemonte, que se caracterizan por una alta variación temporal del flujo, con lechos dominados por sustratos duros (bloques principalmente), con presencia de rápidos y flujo turbulento, así como altos valores de pH ( $= 8.0$ ). Los ríos de los valles interandinos (RVINTER), Catatumbo (RCA\_CATA) y de la cuenca baja del río Magdalena (RCA\_RSJM) presentan lechos arcillosos y limosos. En esta última zona son característicos altos valores de dureza, alcalinidad, sulfatos, cloruros y pH. Por otro lado, los ríos de la Altillanura (RALTILL) presentan valores muy bajos de conductividad ( $\bar{x} = 6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ) y pH levemente ácidos ( $\bar{x} = 5.5$ ), en sus lechos también predominan los sustratos duros (principalmente gravas), con presencia de arcillas y predominio de zonas de corriente en su cauce. Los ríos de la región del Putumayo (RAMAZ), se caracterizan por presentar alta cobertura vegetal, con predominio de zonas de corriente con lechos dominados por gravas, pH neutro ( $\bar{x} = 6.7$ ) y baja conductividad ( $\bar{x} = 88.2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}$ ).

**Colecta y análisis del perifiton.** Se consideraron los resultados del análisis de 170 muestras de perifiton recolectadas en 83 sistemas lóticos. Estas se tomaron en un tramo de al menos 100 m y se fijaron con solución Transeau en proporción 1:1. En cada sitio de muestreo se realizaron raspados de un número variable de sustratos (rocas, vegetación, arena, etc.), de acuerdo con su disponibilidad.

Las muestras fueron tratadas con  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 40% para retirar la materia orgánica, se siguió el protocolo CENT/TC 230 (2002) para análisis con microscopía óptica (MO) y microscopía electrónica de barrido (MEB); las mismas se depositaron en el Laboratorio de Biotecnología del Instituto Colombiano del Petróleo, con los números detallados en la tabla 2.

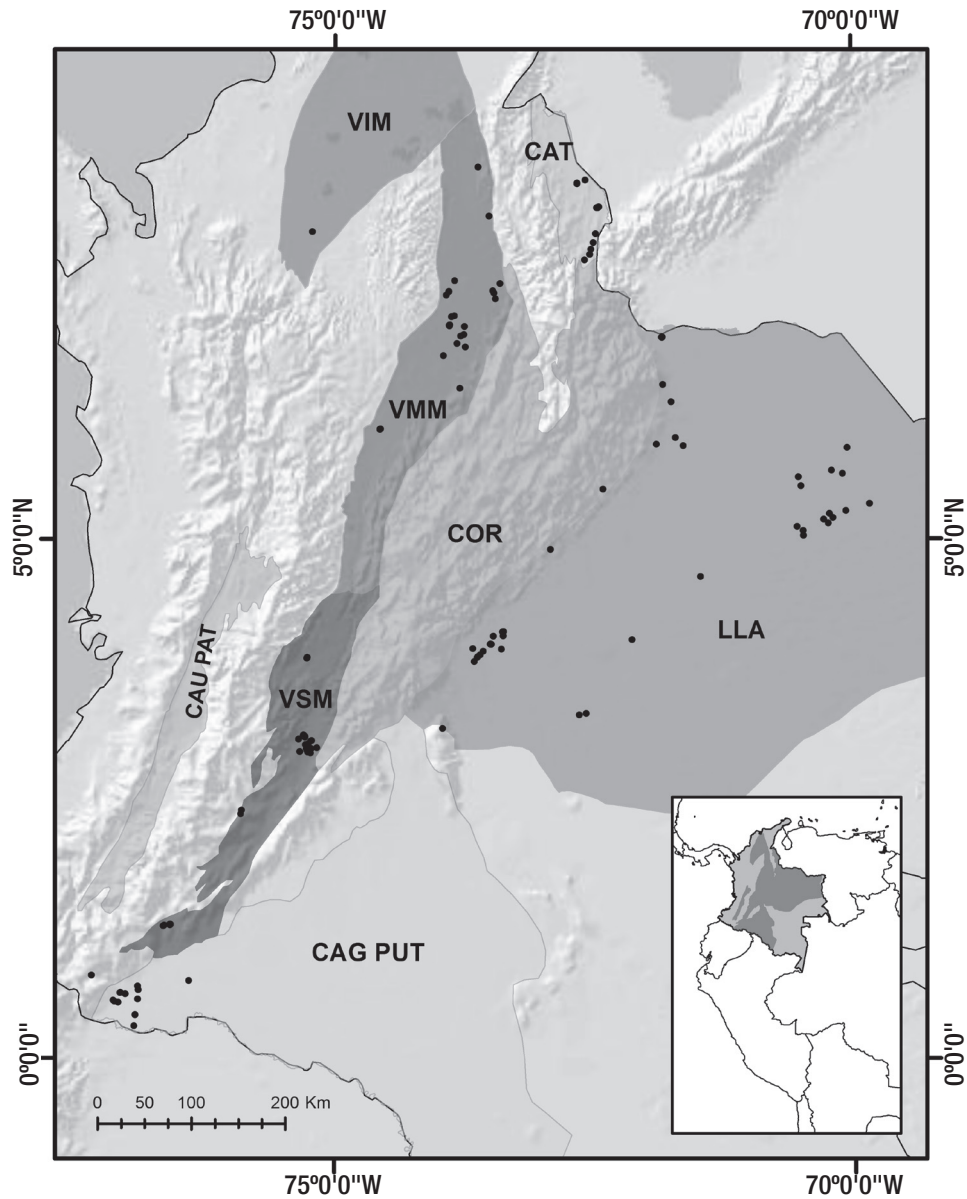


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en las cuencas de ríos estudiados en Colombia. CAG PUT: Caguán-Putumayo. CAT: Catatumbo. CAU PAT: Cauca Patia. COR: Cordillera Oriental. LLA: Llanos Orientales. VIM: Valle Inferior del Magdalena. VMM: Valle Medio del Magdalena. VSM: Valle Superior del Magdalena.

Los preparados fijos fueron observados y fotografiados con microscopios ópticos Leica DM 2509 con contraste de fases y Leica DM 2500 con DIC. El análisis de MEB se realizó en el Servicio de Microscopía Electrónica del Museo de Ciencias Naturales de la Plata con un microscopio Jeol JSM-6360 LV SEM, así como en el Centro de Microscopías Avanzadas (CMA) de la Universidad de Buenos Aires con un microscopio Carl Zeiss NTS SUPRA 40 SEM.

Los mapas de distribución se generaron con el software libre QUANTUM GIS 2.4.0. Mediante el método I de Moran se realizó un análisis de autocorrelación espacial entre los diferentes morfotipos de *Eunotia parasiolii*. Esta técnica se basa en estadística deductiva y los resultados se interpretan dentro del contexto de una hipótesis nula. En este caso,

la hipótesis nula establece que los morfotipos están distribuidos de forma aleatoria entre los sitios del área de estudio, es decir, los procesos espaciales que promueven el patrón de valores observado constituyen una opción aleatoria. El valor de distancia umbral ingresado en el método se calculó con el mismo software, considerando la distancia entre cada entidad y el octavo vecino más cercano. El rango de variación del índice varía entre -1 y 1. En este contexto, el valor de 1 significa una autocorrelación espacial positiva perfecta (todos los valores están más agrupados de lo esperado por azar); mientras que en el otro extremo, el -1 indica una autocorrelación negativa perfecta (todos los valores están más dispersos de lo esperado por azar). La obtención del valor 0 para el I de Moran indica una distribución al azar (Tu & Xia, 2008).

Tabla 1. Ubicación de los sitios de muestreo en las cuencas de ríos de Colombia.

Unidad Hidrológica	Código	Id Cuenca
Ríos de Piedemonte Llanero	RPIELL	LLA
Río de Valles Interandinos	RVINTER	VMM
Ríos de la Amazonía colombiana-Putumayo	RAMAZ	CAG PUT
Ríos del Caribe (Magdalena bajo)	RCA_RCBM	VIM
Ríos del Caribe (Catatumbo)	RCA_CATA	CAT
Ríos de Altilanura	RALTILL	LLA
Ríos de la Cordillera oriental vertiente oriental	RCO_VOR	VSM
Ríos de la Cordillera oriental vertiente occidental	RCO_VOC	VSM
Ríos de la Cordillera central vertiente oriental Sur-Centro	RCC_VOR_SC	VSM

## RESULTADOS

**Análisis morfológico y morfométrico.** *Eunotia parasiolii* posee contorno dorsiventral, con margen ventral linear a levemente cóncavo y margen dorsal convexo; extremos en forma de nariz con los ápices curvados hacia el lado ventral de la valva (Figs. 2-10, 19-29, 34-41). La valva presenta una costilla subapical en cada extremo, muy evidente bajo el MO (Figs. 6, 7, 19, 22, 36, 38); al MEB se observa que consiste en un engrosamiento silíceo transversal interno (Figs. 10-11, 16-17, 28-31, 40, 44-45), visible externamente como un área hialina similar a una interestría muy amplia (Figs. 9, 14-15, 25-27, 32, 41-43). Las estrías son paralelas en el centro de la valva, se hacen radiales hacia los extremos y son circumapicales más allá de la costilla subapical (Figs. 14-15, 32-33, 42-43). Las estrías continúan sin interrupción en el manto dorsal (Fig. 12), las aréolas se distinguen al MO. Las ramas del rafe son cortas, ocupan aproximadamente 1/3 de la longitud de la valva y hasta ¼ en los ejemplares de mayor tamaño. Los extremos proximales externos del rafe, en forma de gancho, se localizan sobre el manto valvar (Fig. 13) e internamente terminan en un engrosamiento silíceo (Figs. 11, 30, 40) visible con MO (Figs. 7, 23, 37). Los extremos distales externos tienen forma de poro, se hallan sobre la superficie valvar y a cierta distancia del ápice (Figs. 14-15, 32, 42-43); internamente terminan en *helictoglossae* prominentes (Figs. 10-11, 16-17, 29-31, 40, 44-45), visibles con MO (Figs. 2, 4, 19, 23, 34, 37). Un *rimoportula* por valva, pequeño y de posición apical (Figs. 10-11, 14, 17, 31, 44). Frústulo rectangular en vista conectival (Fig. 12), eje pervalvar 5-6 µm, manto de 2 µm de altura. Bandas cingulares (4) abiertas con dos líneas de aréolas (32-36 / 10 µm) (Fig. 18).

**Diferenciación de morfotipos.** La comparación de la morfología de 108 ejemplares analizados permitió diferenciar tres morfotipos distinguibles principalmente por el contorno valvar y el desarrollo de las costillas subapicales; también se diferencian en la densidad de estrías en el centro de la valva. A continuación se describe cada uno de los morfotipos encontrados:

**Morfotipo 1** (Figs. 2-18). Contorno valvar variable, algunos ejemplares levemente heteropolares, con los extremos prolongados en forma de nariz. Costillas subapicales muy marcadas, que llegan al borde dorsal, densidad de estrías baja en el centro y más del doble hacia los extremos.

**Morfotipo 2** (Figs. 19-33). Contorno valvar variable, margen ventral recto. Ápices redondeados, simétricos a levemente asimétricos, frecuentemente una costilla subapical bien desarrollada y la otra poco conspicua. Densidad de estrías más baja en el centro pero menos del doble hacia los extremos.

**Morfotipo 3** (Figs. 34-45). Contorno valvar linear, con el margen ventral recto o levemente cóncavo. Ápices en forma de nariz simétricos muy marcados. Densidad de estrías más baja en el centro pero menos del doble hacia los extremos.

Desde el punto de vista morfométrico (Tabla 3) los tres morfotipos presentan rangos superpuestos o solapados. El único carácter diferente es la densidad de estrías en el centro respecto de los extremos en el morfotipo 1. Los ejemplares analizados tienen una densidad de areolas superior a la indicada en la diagnosis de la especie, sin embargo el conteo de las aréolas de la fotografía presentada en el protologo, mostró un valor de 36-38/ 10 µm.

En cuanto a la morfología, los caracteres hallados que distinguen los morfotipos al MO varían gradualmente. Sin embargo, la estructura de la superficie valvar y manto, del rafe y de los *rimoportulae* no muestra diferencias entre morfós.

**Distribución de la especie.** *Eunotia parasiolii* estuvo presente en 41 de las 170 muestras analizadas. Estos sitios están localizados en las cuencas de los ríos del Catatumbo, Putumayo, ríos de Altilanura, Piedemonte y Valles Interandinos. Los resultados del análisis con MO y MEB son presentados en la Tabla 2, y con base en esta información se elaboró un mapa con la distribución de cada uno de los morfotipos (Fig. 46).

La Fig. 46 muestra que el morfotipo 1 estuvo presente en ríos de los Llanos Orientales (RPIELL), Putumayo (RAMAZ), Catatumbo (CATA) y Magdalena Medio (RVINTER). Si bien los sitios en que fue hallado el morfotipo 2 son diferentes, éstos pertenecen a las mismas cuencas. El morfotipo 3 presentó una distribución más restringida, presente sólo en ríos de la Altilanura (RALTILL).

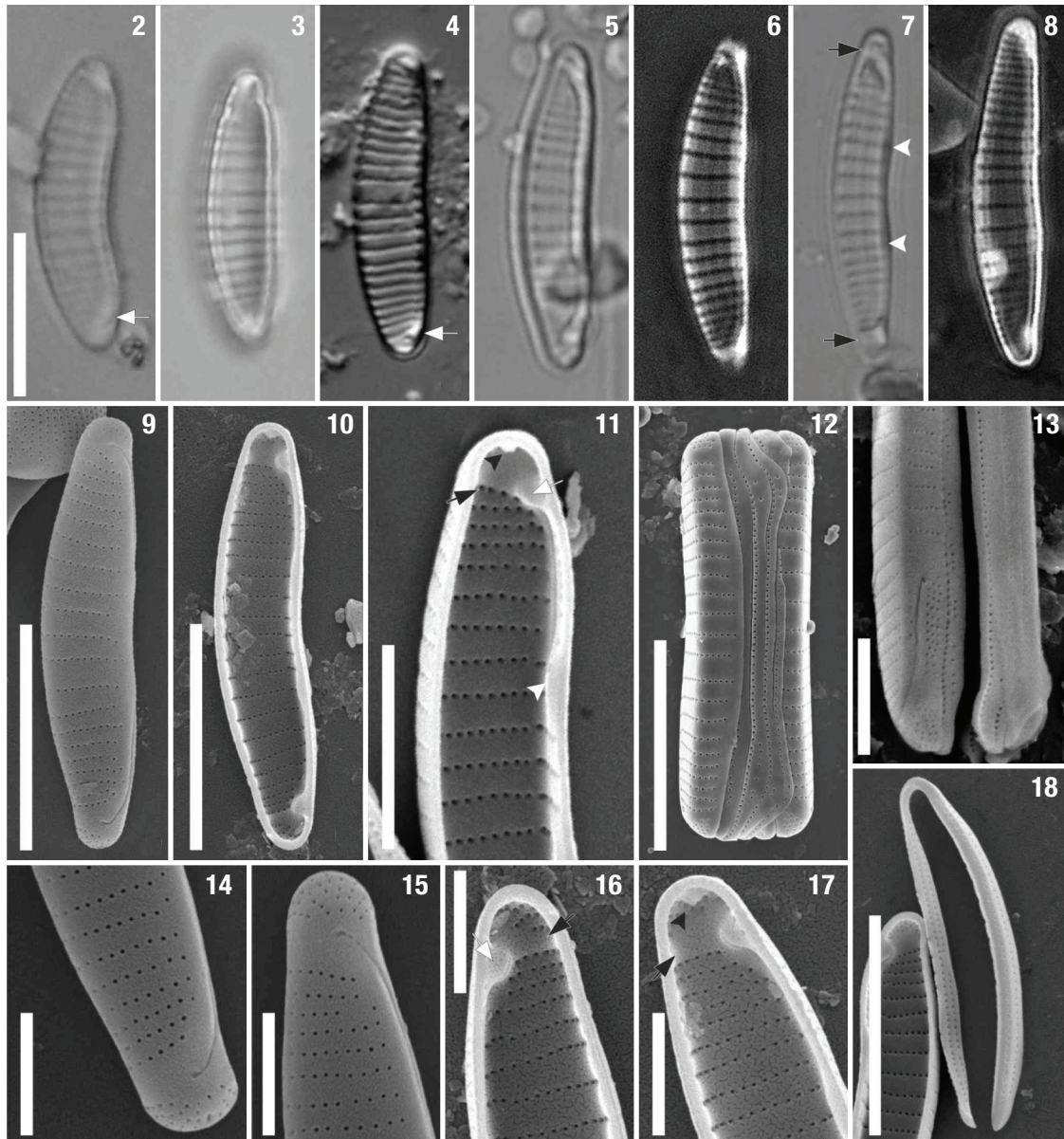
El resultado de la aplicación del coeficiente I de Moran fue =0,091820 con valores de Z= 1,211738 y de p= 0,225613. Estos valores no son estadísticamente significativos por lo tanto la distribución de los morfotipos en el área de estudio es resultado de procesos espaciales aleatorios.



## DISCUSIÓN

Metzeltin y Lange-Bertalot (1998), al realizar la descripción original de *Eunotia parasiolii* señalan que la especie posee un contorno valvar con una marcada dorsiventralidad, con el margen ventral lineal a levemente cóncavo y el margen dorsal convexo; con los extremos en forma de nariz y baja densidad de estrías centrales. Esta descripción es incompleta, ya que los autores no hacen mención del aspecto de los frústulos en

vista conectival, ni dan detalles de la estructura fina de la valva; incluyeron en las ilustraciones 13 ejemplares fotografiados al MO pero una sola fotografía al MEB de la vista externa. Esta información no muestra el rango completo de variación de la especie y resulta insuficiente para diferenciarla de otras similares, dificultad señalada por Canani y Torgan (2013) al describir *Eunotia saltoensis* Canani et Torgan y *E. ibi-tipocaensis* Canani et Torgan, dos nuevas especies de Brasil, afines a *E. parasiolii*.

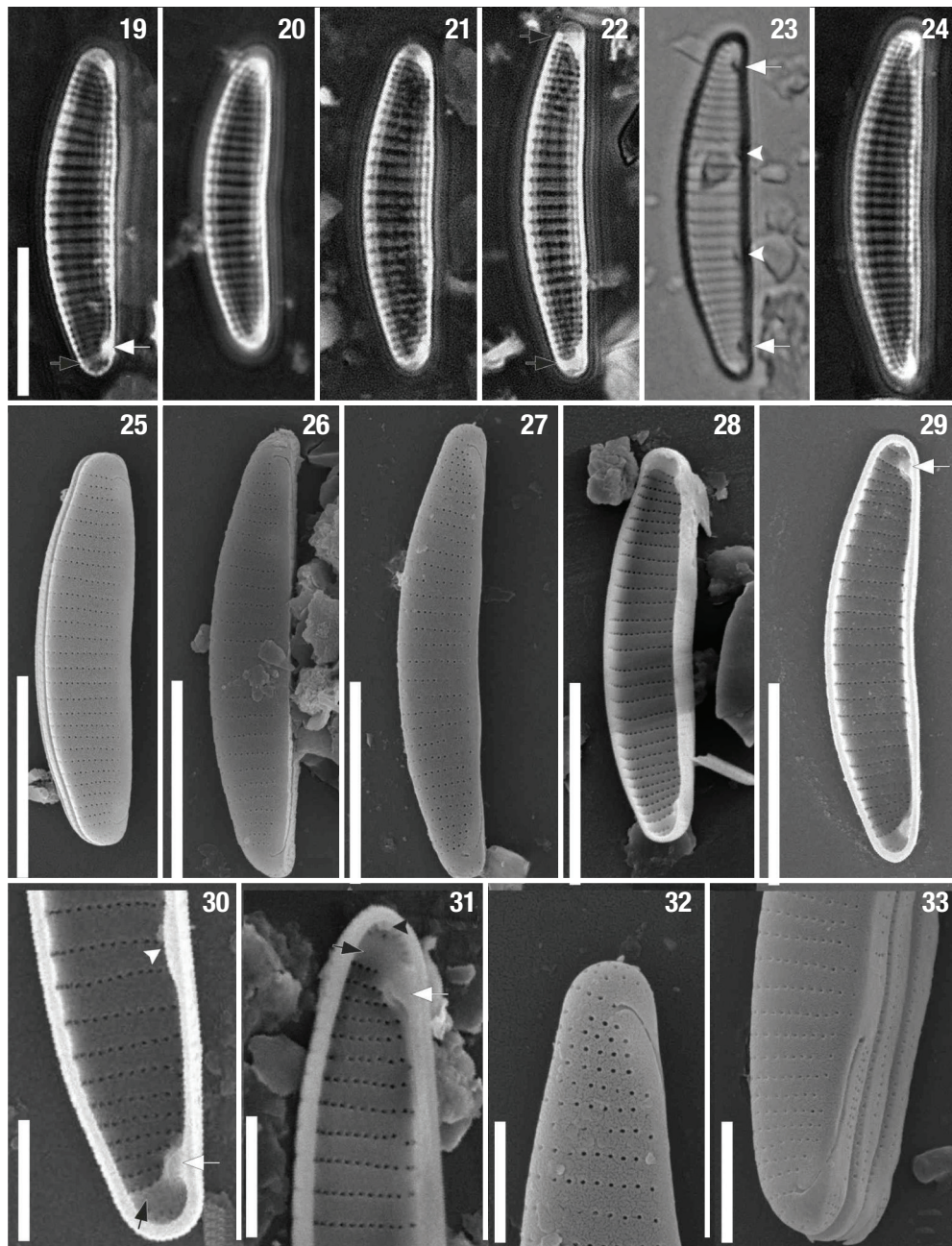


Figuras 2-18. *E. parasiolii* morfotipo 1, reconocido en ríos de Colombia. 2-8) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 9-18) MEB. 9) Vista valvar externa. 10) Vista valvar interna. 11) Detalle de la valva en vista interna mostrando costilla subapical (flecha negra), *rimoportula* (punta de flecha negra), *helictoglossa* (flecha blanca) y engrosamiento en el extremo proximal del rafe (punta de flecha blanca). 12) Vista conectival dorsal. 13) Vista conectival ventral, mostrando el rafe. 14-15) Detalle del extremo en vista externa, note la terminación distal del rafe poroide. 16-17) Detalles de los extremos de la valva en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), *helictoglossa* (flecha blanca) y *rimoportula* (punta de flecha negra). 18) Banda conectival, note la doble hilera de poroides. Barra-escalas = 10 µm (Figs. 2-13), 3 µm (Figs. 14-18).

Tabla 2. Distribución de los 3 morfotipos de *Eunotia parasolii* en las cuencas de ríos en Colombia.

Muestra	Sitio	lat dec	long dec	Unidad Hidrológica	Morfotipo
200296324	Caño NN km 15	3.94704722	-73.3927139	RPIELL	3
200296328	Caño LegiaT	3.89156667	-73.5972472	RPIELL	1,2
200336654	Caño Caribe 50m aguas arriba	0.62166667	-76.9980278	RAMAZ	2,3
200407479	Caño Quenane	4.07468889	-73.3763583	RPIELL	1,3
200424905	Quebrada La Hormiga	0.4175	-76.9034167	RAMAZ	3
200429659	Quebrada El Carbón	0.57002778	-76.8794444	RAMAZ	2
200438022	Quebrada Azul	0.54005556	-77.0681667	RAMAZ	1
200439231	Caño Negro	5.51463889	-70.5134722	RALTILL	2
200440779	Río Agua Clara	5.88191667	-70.0683056	RALTILL	3
200450642	Afluente de la Quebrada Rondoyaquito	1.2820333	-76.6264889	RALTILL	2
200451221	Caño Verde	6.95097222	-71.843	RPIELL	3
200455413	Caño Los Aceites	5.90798889	-71.6415556	RPIELL	2
200461793	Caño Doradas	6.78158333	-73.9493111	RVINTER	1
200463222	Quebrada La Pita	8.59977778	-73.6135278	RVINTER	2
200473162	Caño Sisipia	4.642875	-71.4811222	RALTILL	3
200473749	Caño Negro	5.19191667	-70.2980222	RALTILL	1,3
200473752	Caño El Boral	5.15517778	-70.2540667	RALTILL	3
200473753	Caño El Boral	5.20862778	-70.2077444	RALTILL	1,2,3
200473754	Caño Gavilán	5.24531944	-70.2417083	RALTILL	1
200474194	Caño Quenanito	4.07268333	-73.4716944	RPIELL	1,2
200474745	Río Gavilán	5.27281944	-70.0837694	RALTILL	1, 2, 3
200474747	Río Meta	5.63290278	-70.1131667	RALTILL	2
200476086	Caño Zancudo	8.21311111	-72.4473333	RCA_CATA	3
200479902	Quebrada El Sábalo	0.66125	-76.8752222	RAMAZ	1,2
200479916	Río Picudo	0.74880556	-76.3910278	RAMAZ	1, 2
200482060	Río Manacacias	3.31136111	-72.6456861	RALTILL	1
200507123	Quebrada Santos Gutiérrez	7.40608333	-73.4740278	RVINTER	2
200507678	Caño Quemadero	6.9520278	-71.8445278	RPIELL	2
200507681	Caño Verde	6.9562222	-71.8386389	RPIELL	2,3
200510933	Río Ocoa	4.11338889	-73.3814444	RPIELL	2
200524376	Caño Caribe	0.62166667	-76.9980278	RAMAZ	2,3
200527482	Caño Quemadero	6.95202778	-71.8445278	RPIELL	1
200544449	Caño Quemadero	6.95202778	-71.8445278	RPIELL	2
200553721	Río Ocoa	4.1138333	-73.3763611	RPIELL	1
200569970	Caño Verde	6.9558333	-71.8411111	RPIELL	1, 2, 3
200577706	Quebrada NN	0.6360000	-77.0459444	RAMAZ	1, 2
200583195	Caño Zancudo	8.21325	-72.4474167	RCA_CATA	1,2
200640901	Quebrada Blanca-Meta. Bioindicación	3.1825	-73.958806	RPIELL	1, 2, 3
200642952	Quebrada Jarama	3.1825	-73.958806	RPIELL	1,2
200648511	Quebrada La Negra 100 m aguas arriba. Bioindicación	5.489583	-72.415722	RPIELL	1, 2
200648538	Quebrada Torcoroma Bioindicación Aguachica	8.127111	-73.508528	RCBM	2



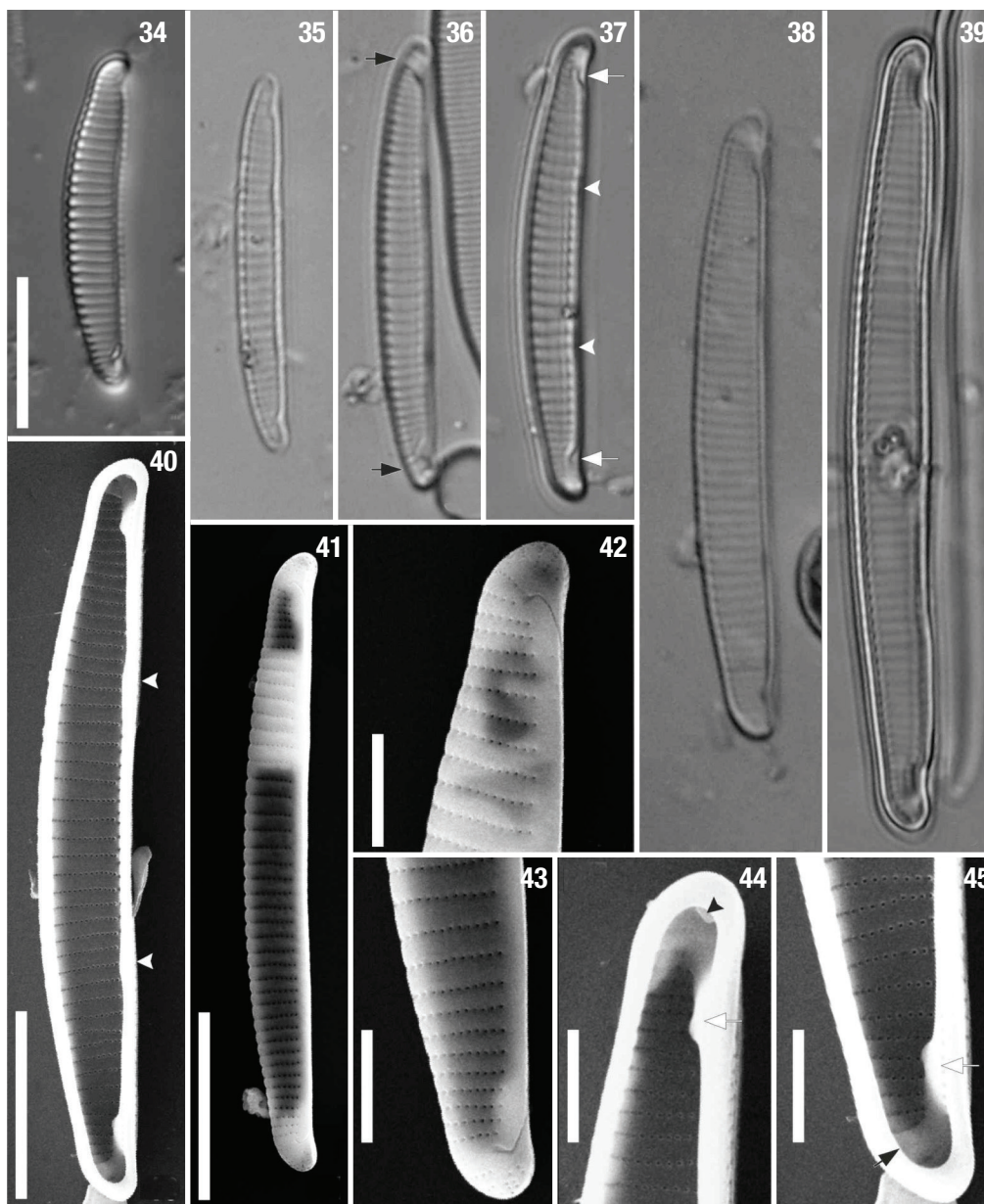


Figuras 19-33. *E. parasiolii* morfotipo 2, reconocido en ríos de Colombia. 19-24) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 25-33) MEB; 25-27) Vistas valvares externas; 28-29) Vistas valvares internas. 30-31) Detalles de los extremos en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (punta de flecha blanca), *helictoglossae* (flechas blancas) y *rimoportula* (punta de flecha negra). 32) Detalle de un extremo en vista externa, notar la terminación distal del rafe poroide. 33) Detalle del extremo del frústulo en vista oblicua mostrando el rafe en toda su extensión. Barra-escalas = 10 µm (Figs. 19-29), 3 µm (Figs. 30-33). La barra de medida indicada en la Fig. 19 corresponde también a la de las Figs. 20-24.

Tabla 3. Datos morfométricos de los tres morfotipos de *E. parasiolii* reconocidos en Colombia y de la especie en la descripción original.

Morfotipo	Largo (µm)	Ancho (µm)	Estrías/10 µm (centro)	Estrías/10 µm (extremos)	Areolas/10 µm
1	13-23	3-6	6-10	18-24	33-38
2	18-38	3-6	10-13	18-24	34-42
3	21,5-38	3,5-5	9-12	20-22	33-38
<i>E. parasiolii</i> Metzeltin et Lange-Bertalot	10-37	3.5	5-11	20-25	30 (36-38)*

\* Valor medido en la fotografía del tipo (Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998, Lám. 60, fig. 17).



Figuras 34-45. *E. parasiolii* morfotipo 3, reconocido en ríos de Colombia. 34-39) MO. Vistas generales de las valvas mostrando el rango de variación; se indican las costillas subapicales (flechas negras), el engrosamiento en el extremo proximal del rafe (puntas de flecha blancas) y las *helictoglossae* (flechas blancas). 40-45) MEB. 40) Vista valvar interna, las puntas de flecha blancas marcan el engrosamiento silíceo en el extremo proximal del rafe. 41) Vista valvar externa. 42-43) Detalles de los extremos en vista externa, note la terminación distal del rafe poroide. 44-45) Detalles de los extremos en vista interna, señalando costillas subapicales (flechas negras), *helictoglossae* (flechas blancas) y *rimoportula* (punta de flecha negra). Barra-escalas = 10 µm (Figs. 34-40), 3 µm (Figs. 41-45). La barra de medida, marcada en la Fig. 34 corresponde también a la de las Figs. 35-39.

Los resultados obtenidos a partir del análisis con microscopía óptica y electrónica de más de 100 ejemplares provenientes de diferentes regiones de Colombia, permitieron conocer nuevos detalles de la ultraestructura del frústulo, incluyendo características de la vista conectival y de las valvas en vista interna. Los tres morfotipos hallados comparten caracteres considerados diagnósticos, así como el tipo de estrías y aréolas, mientras que las variaciones entre los mismos son

graduales, por ejemplo el desarrollo de la costilla subapical, la densidad de estrías y el contorno valvar.

El análisis comparativo de la distribución de estos tres morfotipos, a partir de la aplicación del Coeficiente I de Moran (1950), demostró que en tierras bajas colombianas éstos presentan una distribución amplia, sin un patrón definido, es decir, al azar. Si bien, en muchas circunstan-



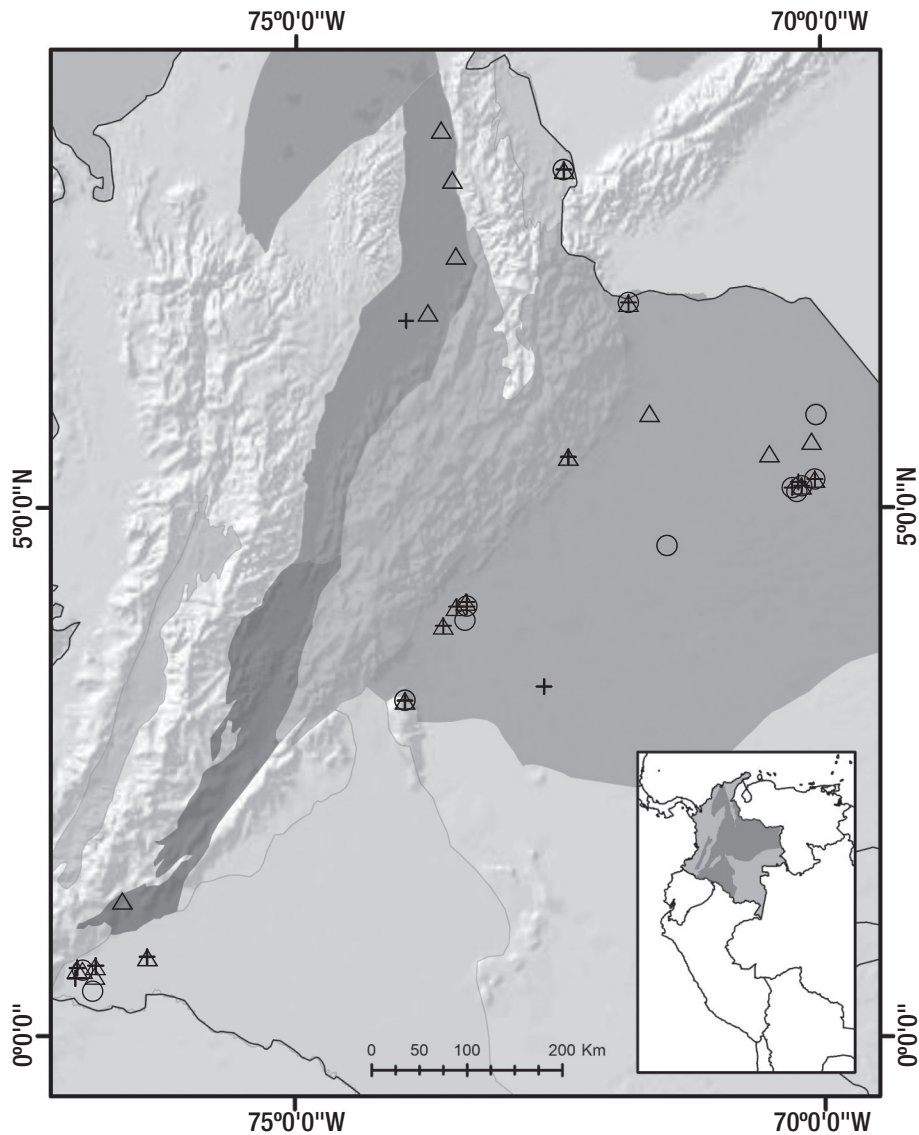


Figura 46. Mapa de distribución de los morfotipos 1, 2 y 3 de *E. parasiolii* en cuencas de ríos de Colombia. + = morfotipo 1;  $\Delta$  = morfotipo 2;  $\circ$  = morfotipo 3.

cias, las técnicas de SIG son útiles para identificar visualmente patrones espaciales, es necesario comprobar estadísticamente la presencia de dichos patrones (Zhang *et al.*, 2008). En esta instancia, se aplicó el coeficiente I de Moran, que es un indicador de autocorrelación espacial (definida de manera simple como la concentración o dispersión de los valores de una variable en un mapa) y un identificador de patrones espaciales locales o “outliers” espaciales (Anselin, 1995). Este resultado es concordante con lo observado en el análisis de la morfología fina del frústulo. Los morfotipos no representan unidades discretas, por el contrario este estudio mostró que *E. parasiolii* es un taxón con gran variabilidad morfológica y amplia distribución geográfica.

Establecer los límites específicos de las diatomeas basándose exclusivamente en la morfología es insuficiente, aún en las regiones donde hay un extenso conocimiento del grupo (Trobajo *et al.*, 2004, 2009;

Kelly *et al.*, 2015, entre otros). En las regiones tropicales el problema se agudiza porque se suma la escasa información local. Los resultados de esta investigación evidencian las dificultades a la hora de utilizar a las diatomeas como bioindicadores en el neotrópico y ponen de manifiesto la necesidad de realizar estudios taxonómicos y florísticos a nivel local y regional que permitan definir los límites específicos considerando la variabilidad morfológica de los taxones y su distribución antes de establecer las preferencias ecológicas de las especies.

Con base en la nueva información morfológica de *E. parasiolii* y a su distribución en las tierras bajas colombianas, se realiza la siguiente enmienda de la especie:

*Eunotia parasiolii* Metzeltin *et* Lange-Bertalot emend. Vouilloud, Sala *et* Plata-Díaz:

Diagnosis. Frústulo rectangular en vista conectival, eje pervalvar 5-6  $\mu\text{m}$ . Valva asimétrica respecto del eje apical; margen ventral linear a levemente cóncavo y dorsal convexo; 10-38  $\mu\text{m}$  de largo, 3-6  $\mu\text{m}$  de ancho, extremos en forma de nariz con los ápices ventralmente curvados. Valva con costillas subapicales en ambos extremos, distinguible al MO; es-trías paralelas en el centro de la valva (6-13/10  $\mu\text{m}$ ), radiales hacia los extremos (18-25/10  $\mu\text{m}$ ); aréolas distinguibles al MO, 33-42/10  $\mu\text{m}$ . Ramas del rafe cortas, 1/3 a 1/4 de la longitud de la valva, extremos proximales terminan internamente en un engrosamiento silíceo visible en MO, extremos distales externos con forma de poro, sobre la superficie valvar y a cierta distancia del ápice; internamente terminados en *helictoglossae* prominentes. Un *rimoportula* por valva, pequeño y de posición apical. Bandas cingulares abiertas con 2 líneas de areolas (32-36/ 10  $\mu\text{m}$ ).

## REFERENCIAS

- ANÓNIMO. 2010. Instituto de Investigación Alexander Von Humboldt. En español: disponible en línea en: <http://www.humboldt.org.co/chm-colombia/biodiversidad.htm> (consultado el 15 septiembre 2009).
- ANSELIN, L. 1995. Local indicators of spatial association - LISA. *Geographical Analysis* 27 (1): 93-115. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.
- APHA, AWWA & WEF. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>st</sup> ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- CANANI L. G. C. & L. C. TORGAN. 2013. Two new *Eunotia* species with subapical costae, an uncommon structure for the genus. *Diatom Research* 28 (4): 395-406. DOI: 10.1080/0269249X.2013.821425
- CEN/TC 230. 2002. Water quality-Guidance standard for the routine sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. European Standard. Standard reference 13946.
- COX, C. V. & P. D. MOORE. 1993. *Biogeography: an ecological and evolutionary approach*. 5<sup>th</sup>. Ed. Blackwell, Oxford. 244 p.
- CRISCI, J. V., L. KATINAS & P. POSADAS. 2000. *Introducción a la teoría y práctica de a biogeografía histórica*. Sociedad Argentina de Botánica. Buenos Aires. 169 p.
- KELLY, M., R. TROBAJO, L. ROVIRA & D. G. MANN. 2015. Characterizing the niches of two very similar *Nitzschia* species and implications for ecological assessment. *Diatom Research* 30 (1): 27-33. DOI: 10.1080/0269249X.2014.951398
- KRAMMER, K. & H. LANGE-BERTALOT. 1991. *Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae*. In H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, & D. Mollenhauer (eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/3 (p. 576). Stuttgart, Germany, 576 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 1998. *Tropische Diatomeen in Südamerika I*. In H. Lange-Bertalot (ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 5. Königstein: Koeltz Scientific Books. 695 p.
- METZELTIN, D. & H. LANGE-BERTALOT. 2007. *Tropical diatoms of South America II*. In: Lange-Bertalot H (ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 18. Königstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G. 877 p.
- METZELTIN, D., H. LANGE-BERTALOT & F. GARCÍA-RODRÍGUEZ. 2005. *Diatoms of Uruguay*. In: H. Lange-Bertalot (Ed.). *Iconographia Diatomologica*. Vol. 15. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K.G. 736 p.
- MONTÓYA-MORENO, Y., S. E. SALA, A. A. VOUILLOUD & N. AGUIRRE. 2013. Diatomeas (Bacillariophyta) perifíticas del complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. I. *Caldasia* 34 (2): 457-474. DOI: 10.15472/rddjgp.
- MORAN, P. A. P. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37 (1/2): 17-23.
- RICKLEFS, R. E. 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science* 235: 167-171.
- TROBAJO, R., E. CLAVERO, V.A. CHEPURNOV, K. SABBE, D. G. MANN & S. ISHIHARA. 2009. Morphological, genetic and mating diversity within the widespread bioindicator *Nitzschia palea* (Bacillariophyceae). *Phycologia* 48 (6): 443-459. DOI: 10.2216/08-69.1
- TROBAJO, R., E. J. COX & X. D. QUINTANA. 2004. The effects of some environmental variables on the morphology of *Nitzschia frustulum* (Bacillariophyta), in relation its use as a bioindicator. *Nova Hedwigia* 79 (3-4): 433-445. DOI: 10.2216/08-69.1
- VANORMELINGEN, P., E. VERLEYEN & W. VYVERMAN. 2007. The diversity and distribution of diatoms: from cosmopolitanism to narrow endemism. *Biodiversity and Conservation* 17 (2): 393-405. DOI: 10.1007/s10531-007-9257-4
- TU, J. & Z. G. XIA. 2008. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. *Science of the Total Environment* 407: 358-378. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.09.031
- WETZEL, C. E. 2011. Biodiversidade e distribuição de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio negro, Amazonas, Brasil. Tesis de Doctorado en Ciencias (Biología), Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, San Pablo, Brasil. 1911 p.
- ZHANG, C. S., LUO, L., XU, W. & V. LEDWITH. 2008. Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland. *Science of the Total Environment* 398: 212-221. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.03.011

**Recibido:** 11 de marzo de 2015.

**Aceptado:** 07 de marzo de 2016.