

Diversidad funcional del fitoperifiton en dos quebradas de un bosque seco en Honda (Tolima).

Estudiante
Juan Diego Rojas

Director(es)
Hilda María Palacio

Codirector(es)
Magnolia Longo
Esnedy Hernández

Trabajo de Grado
En la modalidad de *Investigación*

Programa de Biología
Universidad CES
Medellín
Mayo 2021

10 de junio de 2021.

Se informa que el estudiante **Juan Diego Rojas** identificado con cédula: No. 1152467348 ha concluido de manera satisfactoria su trabajo de grado titulado “**Diversidad funcional del fitoperifiton en dos quebradas de un bosque seco en Honda (Tolima)**”.

En calidad de **director(es)** del proyecto en mención, y luego de haber revisado con detalle y alto rigor científico y académico el presente documento final, se aprueba este trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de **Biólogo**.

Hilda María Palacio B.

Hilda María Palacio
Cédula: 43256408
Facultad de Ciencias y
Biotecnología,
Universidad CES.

M. Longo

Magnolia Longo
Cédula: 25291376
Grupo Limnología,
Universidad Jorge
Tadeo Lozano.

Esneidy Hdez A.

Esneidy Hernández
Cédula: 43201723
Grupo GeoLimna,
Facultad de Ingeniería,
Universidad de
Antioquia.

Diversidad funcional del fitoperifiton en dos quebradas de un bosque seco en Honda (Tolima).

Juan Diego Rojas

Resumen

Introducción. El bosque seco tropical es uno de los ecosistemas más amenazado y menos estudiado, las quebradas intermitentes, de gran importancia en este, junto las comunidades que las componen, son aún menos estudiadas, este estudio busca encontrar cual es el efecto de la transformación y la pluviosidad del bosque seco tropical sobre las comunidades fitoperifíticas.

Métodos. Se hizo raspado de superficies en dos quebradas, las muestras se almacenaron y se hizo el conteo de individuos para determinar su densidad en un microscopio invertido, también se determinaron caracteres morfológicos importantes de estos como organización celular, estructuras celulares y el tamaño, adicional se tomaron muestras de agua para analizar variables fisicoquímicas.

Resultados. Estos ecosistemas están dominados por diatomeas pequeñas principalmente, sin embargo, también se encontró que fueron el grupo con más variedad de tamaño, en el potrero hay una codominancia de diatomeas junto con algas verdes, tanto filamentosas como coloniales, y tanto mucilaginosas como sin ningún rasgo estructural en ambas épocas, pero su presencia en la reserva fue casi nula, por otro lado, en la reserva, hubo una mayor presencia de cianobacterias, casi todas con aerótopos tanto en la época lluviosa como la seca, pero su densidad siempre fue una fracción de la de las diatomeas.

Discusión y conclusiones. Los resultados concuerdan con la literatura, que dice que, en quebradas alteradas, hay un aumento en la densidad de las algas verdes, aunque se pensaba que serían las cianobacterias las más abundantes, también que en sequía se producen sucesiones ecológicas donde aumenta el número de especies e individuos. Aunque se pensó que en el potrero las quebradas serían eutróficas-mesotróficas, al igual que en la reserva fueron oligotróficas. Finalmente se recomienda hacer muestreo en las transiciones estacionales, diferenciación de sustratos e incluir la biomasa como una variable.

Palabras clave: microhábitat, mesohábitat, densidad.

Nota sobre formato del trabajo de grado

El siguiente trabajo se presenta como un artículo científico, formateado de acuerdo a las instrucciones para autores de la revista ***Caldasia***, las cuales se pueden consultar vía web en: <https://revistas.unal.edu.co/public/journals/67/public/instruccionesautores.pdf> (revisado el 11 de noviembre de 2020).

1 **Diversidad funcional del fitoperifiton en dos quebradas de un bosque seco en Honda**
2 **(Tolima).**

3 **Taxonomic and functional diversity of phytoperiphyton in natural and intervened areas of**
4 **two dry forest streams in contrasting hydric conditions.**

5 **Juan Diego Rojas, Facultad de Ciencias y Biotecnología, Universidad CES, Medellín,**
6 **Colombia.**

7 **Hilda Palacio, autora de correspondencia, Facultad de Ciencias y Biotecnología, Universidad**
8 **CES, Medellín, Colombia.**

9 **Magnolia Longo, Grupo Limnología, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.**

10 **Esnedy Hernández, Grupo GeoLimna, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia,**
11 **Medellín, Colombia.**

12 **Título corto: Fitoperifiton en dos quebradas de Honda (Tolima).**

13 **RESUMEN**

14 A pesar de su gran importancia ecológica y su alto grado de amenaza, el bosque seco tropical y las
15 corrientes de agua asociadas son ecosistemas poco conocidos. Con esta investigación se buscó
16 establecer el efecto de la transformación del bosque seco tropical y de la pluviosidad sobre las
17 comunidades fitoperifíticas de corrientes intermitentes. El estudio de la estructura de la comunidad
18 de algas perifíticas se realizó en dos quebradas ubicadas en el municipio de Honda (Tolima) durante
19 un periodo seco (octubre 2018) y uno de lluvias (marzo 2019) en una zona de reserva y una de
20 potrero. Se determinaron algunos caracteres morfológicos del fitoperifiton como organización
21 celular, estructuras celulares y tamaño. Se registraron 165 morfoespecies de fitoperifiton, las
22 bacilariofitas mostraron la mayor riqueza con 121 morfoespecies, seguidas de las clorofitas con 23

23 y finalmente, las cianofitas con 21 especies. En las zonas de potrero dominaron en general las algas
24 verdes Mientras que, en las zonas de reserva, dominaron las diatomeas y se encontró una mayor
25 densidad de cianobacterias, en su mayoría aquellas que presentaron aerótopos, tanto en las épocas
26 de lluvias y como seca. Este trabajo aporta al conocimiento sobre la ecología del fitoperifiton de
27 las quebradas intermitentes asociadas al bosque seco tropical y sobre la utilidad del uso de
28 fitoperifiton como bioindicador en ecosistemas transformados y cambiantes.

29 **Palabras clave:** microhábitat, mesohábitat, densidad.

30 **ABSTRACT**

31 Key words: microhabitat, mesohábitat, density.

32 **INTRODUCCIÓN.**

33 En Colombia, la cordillera de los Andes se divide en tres ramales generando climas secos en los
34 valles interandinos (Pizano *et al.* 2014) y áreas de bosque seco tropical (Bs-T). El bosque seco
35 tropical se localiza a altitudes inferiores a 1000 msnm, la temperatura media anual alcanza 24°C y
36 la precipitación media anual fluctúa entre 1000 y 2000 mm. El Bs-T se caracteriza por fuertes
37 periodos secos con niveles de precipitación mensual inferiores a 100 mm (Holdridge 1987). El Bs-
38 T es el ecosistema más amenazado en Colombia, debido a la expansión de la frontera agrícola y en
39 menor medida a la minería, la urbanización y el turismo y se ha reducido desde nueve millones de
40 hectáreas en la época precolonial a solo 720 000 (el 8%) en la actualidad (Pizano *et al.* 2014).

41 Como resultado del régimen pluvial, en los bosques secos son frecuentes las corrientes
42 intermitentes, que durante los periodos de lluvias se alimentan de la escorrentía superficial e incluso
43 pueden presentar un régimen torrencial. En contraste, en las épocas secas se suele interrumpir el

44 flujo de agua en los cauces y se pueden formar pozas aisladas que actúan como reservorios de la
45 biota (Williamson *et al.* 2015, Hernández 2018). Si el cauce de la corriente no está protegido de la
46 radiación solar directa a través de la cobertura vegetal, estas pequeñas pozas se secan rápidamente.
47 Como consecuencia de las alteraciones del régimen de lluvias asociadas al cambio climático es
48 posible que los periodos secos se vuelvan más prolongados y cálidos y, por tanto, estos micro
49 ecosistemas se pueden afectar severamente (Feng *et al.* 2013, Chadwick *et al.* 2015).
50 Adicionalmente, las actividades antrópicas en las cuencas y las descargas de origen industrial y
51 doméstico pueden deteriorar la calidad del agua.

52 La cantidad y la calidad del agua en las pequeñas corrientes superficiales están afectadas tanto por
53 procesos a gran escala (incendios, tala y crecientes, entre otros) como a microescala en las cuencas
54 hidrográficas. Estos últimos suelen ser subestimados debido a que las comunidades de
55 microorganismos que suelen sobrevivir en los micro ecosistemas que se forman durante los
56 periodos secos desempeñan funciones claves en el ecosistema al actuar como recurso trófico y ser
57 responsables de la descomposición de la materia orgánica y de la remineralización de los nutrientes,
58 especialmente el nitrógeno (Findlay 2010).

59 Entre la microbiota de los ambientes limnéticos de los Bs-T, el fitoperifiton está constituido por
60 diferentes grupos de algas como diatomeas, algas verdes y cianobacterias asociados a diversos
61 sustratos como hojarasca, roca y arena, entre otros (Bouchard *et al.* 2001). Debido a su condición
62 sésil y a los cortos ciclos de vida el fitoperifiton puede responder rápidamente a cambios en las
63 condiciones ambientales (Montoya y Aguirre 2008) y, en consecuencia, actuar como bioindicador
64 de la calidad del agua (Wunsam *et al.* 2002, Hering *et al.* 2006, Roldán y Ramírez 2008, Hauer y
65 Lamberti 2011).

66 En conjunto con la diversidad taxonómica, en las últimas décadas se ha empleado la ecología
67 funcional para establecer la relación entre los cambios en las condiciones ambientales y las
68 comunidades, así como los efectos de la biota sobre los ecosistemas. Con este fin, la ecología
69 funcional propone el análisis de los rasgos morfológicos, fisiológicos o fenológicos que afectan la
70 adaptación y el desempeño de una especie y que pueden potencializar la comprensión de la función
71 de la biodiversidad (Owen *et al.* 2009, Laureto *et al.* 2015, Goswami *et al.* 2017). La disposición
72 y frecuencia de los rasgos funcionales reflejan los mecanismos de los organismos y en particular
73 del perifiton para responder a cambios en las condiciones ambientales, que son detectados por los
74 grupos de especies con características frecuentes en una misma comunidad (Kruk *et al.* 2010).

75 Dado que el B s-T presenta periodos climáticos contrastantes y que además se registran diferencias
76 en la cobertura vegetal como resultado de la deforestación (Pizano *et al.* 2014), es posible explorar
77 a través de rasgos funcionales del fitoperifiton como el nivel organizacional, el tamaño, la forma y
78 la presencia de atributos especiales como sílice, flagelo o mucílago diferencias en las estrategias
79 adaptativas a las condiciones ambientales en corrientes localizadas en el Bs-T.

80 Las investigaciones en el Bs-T enfatiza en la vegetación y en la fauna de vertebrados (Mendoza
81 1999, Sánchez y Pérez 2008, Pizano *et al.* 2014) y prácticamente no se han explorado las
82 comunidades hidrobiológicas y menos aún la microbiota (Montoya y Aguirre 2013). En la presente
83 investigación se busca determinar el patrón funcional de algunos rasgos del perifiton en un sector
84 protegido por la vegetación y en otro localizado en un área descubierta de dos corrientes localizadas
85 en un bosque seco tropical en el Municipio de Honda (Tolima) durante un periodo seco y uno de
86 lluvias. Para esto se planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el efecto de la transformación del hábitat
87 y de las condiciones hídricas sobre la diversidad funcional del fitoperifiton? En la zona
88 desprotegida de vegetación se espera encontrar la mayor densidad de organismos y formas

89 coloniales dotadas con mucílago. Mientras la formación de colonias facilita la supervivencia, los
90 mucilagos protegen los organismos contra las altas temperaturas y la radiación solar. De otro lado,
91 se espera que en las zonas protegidas por la vegetación predominen organismos de mayor talla,
92 unicelulares y ricos sílice, arreglo que puede darse en condiciones oligotróficas y oferta lumínica
93 limitada. Entre períodos climáticos se espera encontrar diferencias entre las estrategias funcionales
94 asociadas más a la densidad y el tamaño de los organismos que a la distribución de atributos
95 especiales.

96 **MATERIALES Y MÉTODOS.**

97 **Área de estudio.**

98 El estudio se desarrolló en la hacienda el Tambor en el municipio de Honda (Tolima) en una reserva
99 natural de la sociedad civil, con código 026-14, y en una zona dedicada a la cría extensiva de
100 ganado. Este Bs-T, se ubica entre los 318 y 425 msnm, la temperatura media anual alcanza 32°C y
101 el régimen de lluvias es bimodal con precipitación media anual de 1608 mm (Climate-Data.org
102 s. f.). La hacienda tiene en total 6,007 Km², de los cuales 4,344 están destinadas a la conservación,
103 1.156 a agroecosistemas, 0,489 a zonas de amortiguación y trabajo especial, y 0.016 a uso intensivo
104 e infraestructura (Resolución 020 del 17 de mayo de 2015).

105 El estudio se realizó en las quebradas El Tambor y Caimital que recorren un bosque conservado en
106 la cuenca alta y una zona de potreros en la cuenca baja (Fig. 1). Los cuatro sectores fueron: Reserva
107 1: Ubicada en la quebrada El Tambor N 74°48'35,3'', O 05°09'57,7'', a 382 msnm. Potrero 1:
108 Ubicada en la quebrada El Tambor N 74°47'25,6'', O 05°10'43,4'', a 295 msnm. Reserva 2:
109 Ubicada en la quebrada Caimital N 74°47'34,2'', O 05°11'03,2'' a 312 msnm. Potrero 2: Ubicado
110 en la quebrada Caimital N 74°47'26,0'', O 05°11'02,6'' a 249 msnm.

111 Los análisis de información geográfica se realizaron con el programa ArcMap versión 10.7.1 del
112 conjunto de programas de ArcGIS 10.7.1. La capa donde se encuentran señalados los sectores de
113 muestreo fue obtenida de Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA,
114 USGS, Aerogrid, IGN y la comunidad de GIS.

115 **Muestreos.**

116 Los muestreos se realizaron en octubre de 2018, el mes más lluvioso ($\approx 280\text{mm}$) y en marzo de
117 2019 ($\approx 115\text{mm}$) debido a la ausencia de agua en enero y febrero, no se tomaron en cuenta estos
118 muestreos. En cada sector se seleccionaron cuatro microhábitats por quebrada con las siguientes
119 características: cause con agua estancada expuesta a la radiación solar (pozo abierto), cause con
120 agua estancada protegida de la radiación solar (pozo cerrado), cause con flujo de agua expuesto a
121 la radiación solar (rápido abierto) y cause con flujo de agua protegido de la radiación solar (rápido
122 cerrado). Estos microhábitats fueron seleccionados combinando el caudal del agua y la radiación,
123 variables determinantes en el crecimiento del fitoperifiton, y buscando evitar comparaciones
124 erróneas entre los diferentes mesohábitats (reserva/bosque y potrero) o periodos climáticos.

125 En cada sitio se midieron la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) y la humedad (%) con un higrómetro, la
126 intensidad lumínica (lm) con luxómetro y el caudal (m^3/s) mediante estimación de velocidad.
127 Mediante celdas multiparamétricas se determinaron *in situ* la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), el pH
128 (unidades), la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el oxígeno disuelto (mg/L) y la saturación (%) y turbidez
129 (FTU). Los sólidos totales disueltos (TDS) y la salinidad (Sal) fueron cuantificados por medio de
130 kits de análisis de aguas monoparamétricos Macherey-Nagel Visocolor HE y *alpha*, y también kits
131 de pruebas y tiras monoparamétricas Hach. Adicionalmente, se tomaron muestras de agua para la
132 determinación de nutrientes y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis en un laboratorio
133 acreditado ante el IDEAM (Tabla 1).

134 En cada microhábitat se tomaron piedras del lecho bajo un cuadrante de 8 cm² y se rasparon con
135 cepillos de dientes, este proceso se repitió 30 veces. Las muestras se fijaron en lugol y se
136 almacenaron a temperatura ambiente en recipientes plásticos de 275 ml, hasta su análisis en el
137 laboratorio de hidrobiología sanitaria de la Universidad de Antioquia.

138 **Análisis de fitoperifiton.**

139 El conteo del fitoperifiton se realizó mediante la observación de 30 campos al azar, en un
140 microscopio invertido, usando una cámara de conteo Sedgewick Rafter de 1mL (Wetzel y Likens
141 1991) y los resultados se reportaron como individuos por centímetro cuadrado (Uehlinger 1964).
142 Para la identificación de las taxa se emplearon las claves taxonómicas de Desikachary (1959),
143 Bourrelly (1966, 1968), Prescott *et al.* (1982) y Ramírez (2000).

144 A cada morfoespecie se le midió tanto el largo como el ancho y a partir del promedio de las dos
145 variables se generaron cuatro categorías: grande (largo y ancho > promedio), angosta (largo >
146 promedio y ancho < promedio), ancha (largo < promedio y ancho > promedio) y pequeña (largo y
147 ancho < promedio). Los morfotipos se agruparon según la organización celular en unicelulares,
148 coloniales y filamentos, así como por la presencia/ausencia de rasgos como pared celular de sílice,
149 mucílago y aerótopos (Kruk *et al.* 2010). El material colectado fue depositado en la Colección
150 biológica de la Universidad CES (CBUCES-K).

151 **Tratamiento de la información.**

152 Para el cálculo de los índices de diversidad se empleó el programa estadístico Past4.01. Con el
153 paquete ggplot2 (Wickham *et al.* 2016) del programa RStudio 3.6.2 se realizaron las figuras
154 distribución de las abundancias.

155 La ordenación de las variables ambientales se hizo mediante un análisis de componentes
156 principales (PCA). Previo a este abordaje las variables fueron estandarizadas (\bar{x} -min/máx-min) y
157 transformadas a su raíz cuadrada ($\sqrt{x + 1}$) (Guisande *et al.* 2006).

158 Los datos se ingresaron en dos matrices, una con las densidades del fitoperifiton y otra explicativa
159 con las variables ambientales estandarizadas (\bar{x} -min/máx-min) y transformadas ($\sqrt{x + 1}$). Este
160 análisis se ejecutó en el programa CANOCO 4.5.

161 Debido a que los análisis preliminares de correspondencia sin tendencia (DCCA) mostraron
162 longitudes superiores a 2,5 en el primer gradiente, se utilizó el análisis de correspondencias
163 canónicas (CCA) como análisis de ordenación definitivo (ter Braak y Smilauer 2012).

164 La inclusión de las variables explicativas estadísticamente significativas en el CCA se determinó
165 mediante selección “forward” e identificación de las variables con $\alpha < 0.05$, según la prueba de
166 Monte Carlo con 499 permutaciones. Para evaluar la multicolinealidad entre las variables
167 explicativas se inspeccionaron los factores de inflación de la varianza (VIF), eliminando del
168 modelo las variables con valores superiores a 20 (ter Braak *et al.* 1995). Los efectos y la
169 contribución relativa de las variables significativas por selección “forward” y por la prueba de
170 Monte Carlo, se estimaron por el procedimiento de partición de la varianza (Borcard *et al.* 1992).
171 Estos análisis fueron ejecutados en el programa CANOCO para Windows versión 4.5.

172 **RESULTADOS**

173 Durante los muestreos la temperatura del aire varió entre 25 en la zona de reserva de la quebrada
174 El Tambor (quebrada 1) en la época seca y 33 °C en el potrero de esta misma quebrada en el mismo
175 periodo. La intensidad lumínica fluctuó ampliamente entre 26,53 lm en el sector de la reserva de
176 la quebrada El Tambor en época seca (marzo) y 312 en el área de potrero de la quebrada Caimital.

177 La humedad relativa varió drásticamente entre 39,67% en el sector de potrero de la quebrada El
178 Tambor durante el periodo seco y 84 % en la reserva de esta misma quebrada, en general, se
179 evidenció una reducción de la humedad durante la época seca (Anexo 1).

180 Respecto a las variables físicas y químicas del agua, el caudal de las quebradas El Tambor y
181 Caimital fue bajo y alcanzó un valor máximo de 0,25 m³/s. Mientras durante el periodo de lluvias
182 los caudales en el sector de potrero variaron entre 0,13 en El Tambor y 0,19 m³/s en Caimital, en
183 la reserva los valores se movieron desde 0,08 en El Tambor y 0,02 m³/s en Caimital. Durante el
184 periodo seco solo se midió el caudal en la reserva con valores entre 0,1 m³/s en el Caimital y 0,25
185 m³/s en El Tambor. La temperatura del agua varió considerablemente y presento valores entre 20,35
186 °C en el sector potrero de la quebrada Caimital y 29,37 °C en este mismo sector en El Tambor. El
187 pH se mantuvo cerca de la neutralidad y fluctuó entre 6,47 Unidades en la zona de reserva de la
188 quebrada El Tambor y 7,74 Unidades en este mismo microambiente. El oxígeno disuelto supero
189 los 5,0 mg/L y se movió entre 5,08 mg/L en el área de potrero de la quebrada El Tambor y 8,26
190 mg/L en el área de potrero de la quebrada Caimital, los niveles de saturación del oxígeno disuelto
191 superiores en todos los casos a 63% (Anexo 2).

192 Los valores de salinidad fueron muy bajos y no superaron 0,08 ppm, la conductividad osciló desde
193 75,17 µS/cm en la reserva de la quebrada El Tambor en el periodo de lluvias hasta 151,57 µS/cm
194 en la reserva de la quebrada Caimital en la época seca, con una tendencia creciente durante este
195 periodo. En contraste con la conductividad, la turbidez fue mayor en algunos casos en el muestreo
196 de lluvias y vario entre 15,77 FTU en el sector de potrero de la quebrada El tambor en la época de
197 lluvias y 30,09 FTU en la reserva de la quebrada el Caimital durante este mismo periodo.

198 Para las tres formas de nitrógeno (NH₃, NO₂, NO₃), así como para los sólidos suspendidos y
199 volátiles la mayoría de las muestras no superaron los límites de cuantificación de los métodos

200 analíticos. El nitrógeno total se fluctuó entre <0,50 mg/L en el área del potrero de la quebrada El
201 Tambor en el periodo de lluvias y 1,44 mg/L en el sector del potrero de la quebrada Caimital en la
202 época seca. Mientras el fósforo total fluctuó entre 0,65 mg/L en la reserva de la quebrada El Tambor
203 en el muestreo de lluvias y 0,95 mg/L en el sector del potrero en esta misma época, los ortofosfatos
204 variaron entre 0,43 mg/L en el área del potrero de la quebrada El Tambor en la época de lluvias y
205 0,77 en la reserva de la quebrada Caimital en el muestreo de lluvias (Anexo 3).

206 En el periodo de lluvias el SiO₂ no supero el límite de cuantificación del método analítico y alcanzó
207 una concentración máxima de 82,2 mg/L en el sector de la reserva de la quebrada Caimital. Mientas
208 en dos casos la DBO₅ se mantuvo por debajo del límite de cuantificación del método analítico, en
209 las restantes muestras alcanzo un valor máximo de 14,2 mg/L. Por su parte, la DQO se osciló entre
210 21,1 mg/L en el sector de la reserva de la quebrada El tambor en la época seca y 43,77 mg/L en el
211 mismo sector de la quebrada Caimital en el periodo de lluvias. Los sólidos disueltos totales
212 mostraron un incremento marcado en la época seca en los dos sectores y fluctuaron desde 58 mg/L
213 en la reserva de la quebrada Caimital hasta 197,5 mg/L en la reserva de la quebrada El Tambor en
214 la época seca. De otro lado, los resultados de la dureza indican aguas blandas con un valor mínimo
215 de 1,5 mg/L en el área de la reserva de la quebrada Caimital en el periodo seco y un máximo de
216 27,5 mg/L en el sector de potrero de la quebrada El Tambor. Acorde a los valores de salinidad, los
217 cloruros mostraron concentraciones bajas con valores entre 1,2 mg/L en los dos sectores de la
218 quebrada Caimital en la época de lluvias y 7 mg/L en el área de potreros de la quebrada El Tambor.
219 En las dos quebradas se encontraron concentraciones importantes de CO₂ en el periodo de lluvias
220 y valores entre 1,76 mg/L en la reserva de la quebrada el tambor en el periodo seco y 21,12 mg/L
221 en el sector de potrero de esta misma quebrada durante la época seca.

222 En el análisis de componentes principales (PCA) el primer componente explicó el 13,9% de la
223 varianza acumulada y el segundo el 6% (Fig. 2). Mientras en la parte positiva del eje uno se
224 agruparon los muestreos de la época de lluvia, en la negativa se ubican los del periodo seco.
225 Además, se evidenció una fuerte separación de las variables fisicoquímicas hacia la derecha e
226 izquierda de la figura. Aunque el eje dos mostró una dependencia de los mesohábitats, los
227 muestreos de la época de lluvias del sector de los potreros se ubicaron en la parte positiva y los de
228 reserva en la negativa. Por su parte, en el periodo seco la separación de mesohábitats fue
229 relativamente homogénea.

230 En total se registraron 165 morfoespecies de fitoperifiton, las diatomeas con una longitud lineal
231 máxima (LLM) inferior a 25 μm se agruparon como “naviculales con LLM inferior a 25 μm ”. En
232 todos los mesohábitats y periodos climáticos las bacilariofitas mostraron mayor riqueza con 121
233 morfoespecies, también fueron importantes las cianofitas con 21 especies y las clorofitas con 23.

234 Aunque para la quebrada el Tambor la riqueza de bacilariofitas no se diferenció significativamente
235 entre mesohábitats y entre épocas, fue levemente superior en el periodo de lluvias. En el sector del
236 potrero la riqueza de clorofitas fue mayor en la época seca y durante el periodo de lluvias no se
237 encontraron en la reserva. En contraste, en la reserva se observó una mayor riqueza de cianofitas y
238 en los dos mesohábitats la riqueza de especies fue mayor en la época seca (**Fig. 3a**).

239 Mientras en el periodo seco la densidad de bacilariofitas fue mayor en las estaciones de la reserva,
240 durante la época de lluvias la densidad fue ligeramente superior en el sector de los poteros. En el
241 sector de los potreros las clorofitas fueron un poco menos abundantes que las bacilariofitas en la
242 época de lluvia e igual de abundantes en la sequía. Por su parte, en la reserva las clorofitas fueron
243 muy raras, en la época de lluvias no se encontraron y durante la sequía presentaron una baja

244 densidad. Las cianofitas mostraron una densidad baja y durante las lluvias fueron más frecuentes
245 en el potrero, en la sequía la densidad fue mayor en la reserva (**Fig. 3b**).

246 Aunque se esperaba una riqueza similar en los dos mesohábitats en cada época climática, la
247 diversidad de los órdenes cero, uno y dos para el fitoperifiton fue mayor en las zonas de potrero
248 para ambas quebradas. Por otro lado, el periodo pareció no afectar el valor de la diversidad (Fig.
249 4). Mientras la diversidad de orden cero se mantuvo alrededor de 60 especies equivalentes, la
250 diversidad de orden uno y dos mostraron valores por debajo de las diez especies equivalentes,
251 mostrando una distribución de las abundancias poco homogénea y, por tanto, una fuerte
252 dominancia. Mientras el número de especies fue similar en los dos muestreos y en las cuatro
253 estaciones, la densidad experimentó drásticos cambios en los mesohábitats.

254 Durante el periodo seco se presentó la mayor densidad de algas en los dos sectores y también en
255 las zonas desprovistas de vegetación en las dos quebradas (**Anexo 4 y Anexo 5c**) y en El Caimital
256 aparentemente se presentó una mayor densidad asociada a los pozos y a la mayor radiación
257 (abierto) (**Anexo 5d-e**). Finalmente, la densidad no mostró ningún patrón ni entre las quebradas ni
258 en el mesohábitat (**Anexo 5a-b**).

259 Para el rasgo organización, tanto entre mesohábitats como entre los regímenes pluviales los
260 organismos unicelulares fueron el atributo dominante, seguido de los filamentos. No se encontró
261 ningún patrón asociado al mesohábitat, debido a que mientras en la quebrada El Tambor los
262 filamentos fueron considerablemente más comunes en la reserva, en El caimital fueron más
263 abundantes en el sector de potrero. Tampoco se encontró un patrón asociado a la pluviosidad. En
264 la quebrada El Tambor los filamentos fueron más comunes en el periodo seco, en la quebrada El
265 caimital dominaron durante las lluvias. El atributo colonial presentó una relación leve con el

266 mesohábitat y con la pluviosidad, ya que en las dos quebradas se encontró la mayor densidad en
267 los potreros y en la época seca (**Anexo 6**).

268 Para el rasgo estructura, tanto entre mesohábitats como entre los periodos climáticos, el atributo
269 sílice fue dominante en las dos quebradas. El atributo mucílago no se relacionó con el mesohábitat,
270 pero si con la pluviosidad ya que en las dos quebradas los valores de densidad fueron superiores
271 en la época de sequía. El atributo aerótopos no se relacionó con el mesohábitat y mientras en la
272 quebrada El tambor los grupos del fitoperifiton con aerótopos fueron más abundantes en la reserva,
273 en la quebrada El caimital dominaron en el potrero. Con la pluviosidad los grupos con aerótopos
274 presentaron una relación muy débil y en las dos quebradas la densidad fue ligeramente mayor en
275 la época seca. La ausencia de atributos se relacionó con el mesohábitat y con la pluviosidad pues
276 en las dos quebradas la densidad fue mayor en el potrero y en el periodo de lluvias (**Anexo 6**).

277 Al considerar el rasgo tamaño, los organismos pequeños dominaron en los dos mesohábitats y en
278 los dos periodos climáticos y los demás atributos (robusto, angosto y grandes) no variaron en forma
279 importante en el espacio y en el tiempo, presentando casi siempre morfoespecies raras (**Anexo 6**).

280 Los resultados del CCA mostraron que el primer eje puede explicar el 24,4% y el segundo el 0,8%
281 de la variancia total (31.4%, $p=0.002$), lo que sugiere una correlación entre la densidad de las algas
282 perifíticas y las variables ambientales medidas. A diferencia del PCA, el CCA no mostró
283 agrupaciones por mesohábitat o por época. Para los atributos colonia y mucílago se observó una
284 fuerte correlación positiva y a su vez, se correlacionaron positiva y débilmente con los organismos
285 robustos y negativa y fuertemente con los organismos angostos. Según los resultados del CCA, los
286 atributos colonia, mucílago y angostos se correlacionaron de forma positiva con variables como
287 COT, ortofosfatos y turbidez principalmente, junto con humedad, iluminación, DQO, nitrógeno
288 total y oxígeno disuelto.

289 El atributo robusto se correlacionó positivamente con la temperatura del aire, la dureza cálcica, los
290 cloruros, la acidez de CO₂, el silicio total y el fósforo total. Los atributos unicelular y filamentoso
291 se correlacionaron en forma positiva y fuerte con el sílice y con “ninguno” y un poco más débil
292 con aerótopos. Todos estos cinco atributos se correlacionaron con los organismos pequeños, el
293 sílice y filamentos también se correlacionaron con los organismos grandes. (**Figura 6**).

294 **DISCUSIÓN**

295 Es claro que hay una separación de las variables ambientales tanto por pluviosidad como por
296 mesohábitat principalmente y que estas influyen en la presencia de morfoespecies y rasgos del
297 fitoperifiton del lugar, por lo que su uso como bio-indicador del agua resultó apropiado en este
298 trabajo.

299 El PCA reveló una distribución de las variables fisicoquímicas asociada principalmente a la
300 pluviosidad y el mesohábitat. En los microhábitats no se encontraron diferencias entre las variables,
301 debido a la corta distancia que los separa y a las pequeñas diferencias entre las quebradas, por tanto,
302 se justifica plenamente su uso como repeticiones.

303 A pesar de que se esperaba una mayor diferencia de riqueza de cianobacterias entre las zonas de
304 bosque y potrero, así como entre los periodos de lluvia y sequía, este patrón no fue observado.
305 Aunque los máximos valores de temperatura y la radiación solar se cuantificaron en las estaciones
306 localizadas en el potrero, la mayor riqueza de cianobacterias se encontró en la reserva debido
307 posiblemente a que por su localización en la ladera de la montaña presenta en parte una
308 geomorfología “step and pool” (Buffington y Montgomery 2013) en pozas de hasta 60 cm de
309 profundidad y de agua turbia que favorecieron a las cianobacterias (Bonilla *et al.* 2009). Como se

310 previó, la riqueza de cianobacterias en el periodo seco fue mayor debido a la formación de pozas
311 en el cauce y al aumento de la temperatura.

312 Dado que las diatomeas son frecuentes en quebradas de orden bajo y dominan en ambientes con
313 períodos prolongados de perturbación (Lowe 1979, Biggs *et al.* 1998, Roldán y Ramírez 2008,
314 Hauer y Lamberti 2011) la dominancia de este grupo tanto en riqueza como en abundancia, es
315 común en este tipo de ambientes, como puede observarse en la **Figura 3**.

316 Se esperaba una mayor densidad de cianobacterias que de clorofitas en las estaciones localizadas
317 en el potrero y en el periodo seco, debido a que las condiciones de mayor temperatura y
318 concentración de nutrientes eran más favorables para las cianobacterias. No obstante, las clorofitas
319 también proliferan a temperaturas altas entre 25 y 30°C (Lurling *et al.* 2013, Paerl y Otten 2013)
320 como se registraron en las dos quebradas en el sector del potrero. Mientras la disponibilidad de luz
321 roja es un factor muy importante para las clorofitas, las diatomeas y las cianobacterias funcionan
322 mejor en condiciones de luz verde o tenue (Masojídek *et al.* 2004, Roldán y Ramírez 2008). Esta
323 podría ser la razón de la baja densidad de clorofitas en la reserva, pues la cobertura vegetal ejerce
324 un fuerte efecto de sombra.

325 Si bien la diferencia de la densidad de las diatomeas en la reserva entre los periodos de lluvia y
326 sequía podría asociarse a la disponibilidad de sílice, no es claro por qué en el potrero la densidad
327 se mantuvo constante. Dado que las concentraciones de nutrientes fueron mayores en la reserva,
328 no es posible atribuirles a estos la menor densidad de diatomeas en este sector en la época de lluvia
329 y de esta forma, estos resultados se podrían relacionar con una mayor velocidad y turbidez del agua
330 en la reserva en especial en el periodo de lluvias.

331 La mayoría de los morfotipos de cianobacterias encontradas presentaron aerótopos (estuvieron
332 presentes en todos los géneros), estructuras típicas de hábitos planctónicos. Mientras en el sector
333 de potreros el lecho arenoso facilita la formación de posas en el periodo seco, en la reserva las
334 pozas son permanentes y este hecho podría estar relacionado con el patrón inverso en la densidad
335 de cianobacterias. Finalmente, las desmídales, altamente sensibles a los nutrientes, tal vez deban
336 su aparición en la sequía a la menor concentración de fósforo (Bailey 1867, Št'astný 2008,
337 Štěpánková *et al.* 2012).

338 Es posible que el aumento del fitoperifiton en la época seca se deba principalmente al
339 empozamiento del agua y el avance en la sucesión hacia una mayor riqueza y densidad, pues
340 durante la época de lluvias las crecientes causan el desprendimiento de la microbiota desde el
341 sustrato (Luttenton y Radal 1986, Robinson y Minshall 1986, Robinson y Rushforth 1987, Biggs
342 *et al.* 1998).

343 Debido a la dominancia de las Naviculales con LLM inferior a 25 micras en los dos mesohábitats
344 y épocas climáticas, se encontró que el atributo unicelular fue siempre dominante. Mientras entre
345 los mesohábitats no se pudo encontrar un patrón para el atributo “filamentoso”, el atributo colonial
346 fue más común en el potrero. De otro lado, entre las dos épocas climáticas el atributo filamentoso
347 no fue concluyente y el atributo colonial se relacionó posiblemente con la sequía. Las formas
348 coloniales pueden competir más eficientemente que las formas unicelulares por la captación de
349 recursos y, por tanto, son menos vulnerables a la depredación. Adicionalmente, la muerte de
350 algunos individuos no significa la desaparición de la colonia, que por el contrario puede recuperarse
351 rápidamente (Oleskin *et al.* 2000, Winston 2010). Como se señaló anteriormente, durante el
352 periodo seco se generó un proceso de sucesión ecológica y algunas diatomeas coloniales de

353 morfología simple (como las *Fragilaria* encontradas) son producto de una sucesión tardía
354 independientemente del grado trófico del sistema (Passy 2002).

355 Para el rasgo “estructura” se encontró una dominancia del atributo “sílice”, debido a la dominancia
356 de las naviculares con LLM de 25 micras y a la presencia de otras diatomeas en los dos
357 mesohábitats y en las dos épocas climáticas. Contrario a lo esperado, para el atributo “mucílago”
358 no se encontró ningún patrón entre los mesohábitats, pero sí entre las épocas climáticas debido a
359 mayor densidad en la época seca como resultado posiblemente de la mayor presión de herbivoría
360 sobre otras algas (Brunberg 1999, Sartoni *et al.* 2008). Además, es posible que el aumento del COT
361 en la época seca, principalmente en el potrero, favoreció la aparición de organismos mucilaginosos
362 (Decho y Herndl 1995). El atributo “aerótopos” no presentó un patrón definido por mesohábitat o
363 época climática y aparentemente, como se señaló anteriormente, se relacionó con la presencia de
364 pozas. Mientras el atributo “ninguno” fue superior en el sector de potrero y se relacionó con la
365 presencia de algas verdes, en el periodo de lluvias se relacionó principalmente con cianobacterias
366 desprovistas de aerótopos, por lo que aparentemente no hay influencia sobre este atributo por parte
367 de las variables fisicoquímicas.

368 Para el rasgo de “tamaño” observamos que independientemente de la época y del mesohábitat
369 dominaron los organismos pequeños, ya que estos proliferan en ambientes sometidos a
370 perturbaciones y oligotróficos, condiciones que se dan en ambos mesohábitats (Biggs *et al.* 1998).

371 El CCA mostró una clara relación entre algunos atributos de los diferentes rasgos y estos a su vez
372 con las variables fisicoquímicas. De esta forma, podemos afirmar que las variables fisicoquímicas
373 influenciadas por las condiciones del lugar y la época son las responsables de la presencia y
374 abundancia de diferentes organismos y sus rasgos.

375 Si bien tanto el PCA como el CCA representaron entre el primer y segundo componente una
376 variación inferior al 50%, en estudios de ecología existen muchas variables que no son medidas o
377 qué no pueden ser controladas, incluyendo el alto número de variables fisicoquímicas que no
378 superaron el límite de cuantificación de los métodos de análisis.

379 **CONCLUSIONES.**

380 Si bien el uso del suelo y la pluviosidad determinan la presencia de ciertos taxones y rasgos, no
381 puede afirmarse que se aceptan completamente la hipótesis propuesta, pues la mayor variabilidad
382 en la estructura de las comunidades se asoció a la composición y abundancia de las algas verdes y
383 no a las cianobacterias como esperábamos.

384 No se cumplió la hipótesis de que las quebradas en el sector de potreros presentaban un mayor
385 nivel eutrófico. Debido a que este es uno de los primeros acercamientos a la estructura y diversidad
386 taxonómica y funcional del fitoperifiton en quebradas intermitentes asociadas a cambios en la
387 cobertura boscosa, recomendamos que es necesario hacer un seguimiento más detallado a este tipo
388 de ambientes, incluyendo tanto las transiciones entre las épocas, como el clímax de estas.
389 Sugerimos tener en cuenta la diferencia entre los sustratos en los cuales puede encontrarse el
390 fitoperifiton ya que pueden servir como filtro de que especies pueden encontrarse. También
391 consideramos importante incluir el análisis de biomasa de las especies, pues esta refleja la
392 distribución de la materia orgánica mejor que la densidad, y hacer una diferenciación entre los
393 distintos sustratos, ya que estos pueden influenciar la biota que crezca en ese lugar.

394 **PARTICIPACIÓN DE AUTORES**

395 JDR fue responsable de la colecta e identificación de las morfoespecies, análisis de resultados y
396 escritura del documento, HMP fue responsable de la colecta, análisis de resultados y la revisión del

397 documento, ML fue responsable de la colecta, concepción, diseño y coordinación del proyecto, EH
398 fue responsable de la colecta, concepción y diseño del proyecto, la identificación de morfoespecies
399 y análisis estadísticos.

400 **CONFLICTOS DE INTERÉS**

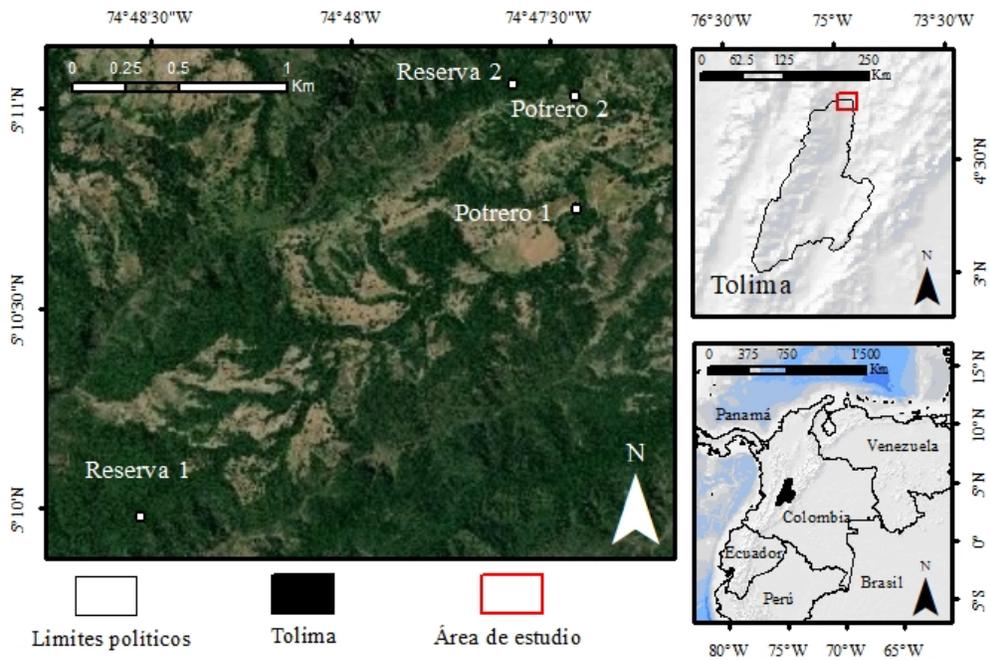
401 Los autores declararon no tener ningún conflicto de interés.

402 **AGRADECIMIENTOS**

403 Los autores agradecen a las personas vinculadas a la reserva El Tambor-Honda. Este trabajo hace
404 parte del proyecto “Relaciones entre diversidad taxonómica y funcional de comunidades bióticas
405 con condiciones hídricas contrastantes entre dos períodos hidrológicos en algunos ecosistemas
406 lóticos intermitentes de los Andes”, financiado la Dirección de Investigación, Creatividad e
407 Innovación de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Gracias al Laboratorio de hidrobiología
408 sanitaria de la Universidad de Antioquia, por su ayuda con el equipo necesario para la identificación
409 de morfoespecies y conteo de organismos, la asesoría de este. Gracias a José Andrés Deosa de la
410 Universidad de Antioquia y a Laura Castañeda de la universidad Jorge Tadeo Lozano, por su ayuda
411 en el trabajo de campo. Gracias al profesor Pablo Andrés Guzmán y la profesora Estela María
412 Quintero de la Universidad CES, por su ayuda con los análisis estadísticos. Gracias al profesor
413 Andrés Arias, por su ayuda con los análisis cartográficos.

414

415 **Figura 1.** Área de estudio, los puntos representan los sectores muestreados.

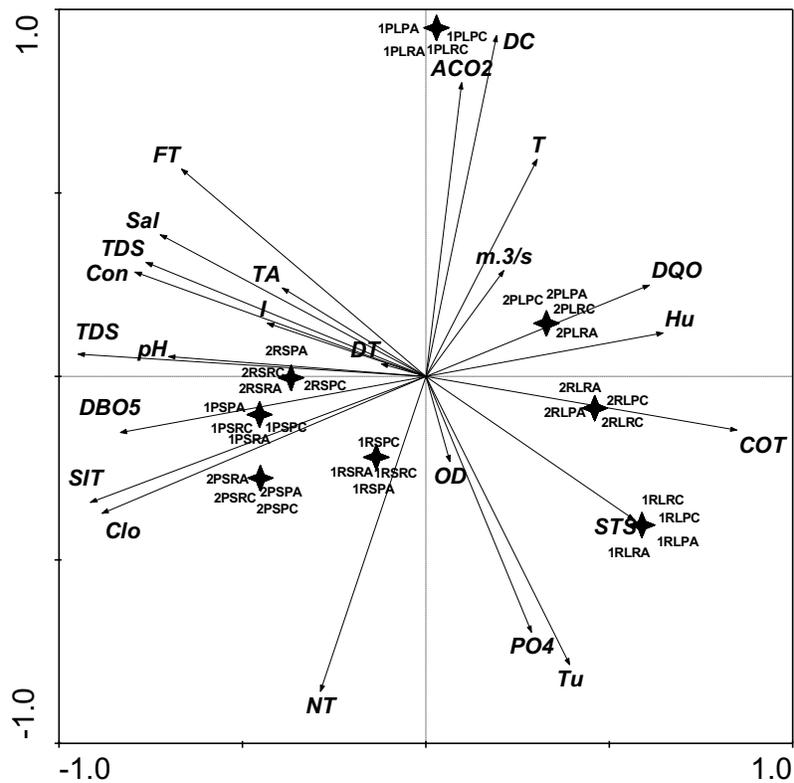


418 **Tabla 1.** Variables determinadas en laboratorio.

Variable	Unidad	Referencia	Método	Límite de cuantificación
Carbono orgánico total	mg/L	SM 5310 B	Anal. Elemental.	0,50
DBO ₅	mg/L	SM 5210 B/ASTM D888	Electrofotometría.	2,10
DQO	mg/L	SM 5220 D	Espectrofotometría UV-VIS	10,00
Sólidos totales disueltos	mg/L	SM 2540 C / 180°C	Gravimetría	10,00
Sólidos totales en suspensión	mg/L	SM 2540 D /103-105°C	Gravimetría	10,00
Sólidos volátiles	mg/L	SM 2540 E / 550°C	Gravimetría	10,00
Fosforo total	mg/L	EPA 200.7	ICP-OES	0,10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	ASTM D6919 modificado	Cromatografía iónica	0,30
Nitrógeno total	mg/L	DIN EN 12260	Espectrofotometría UV-VIS	0,50
Fosfatos	mg/L	SM4110 modificado	Cromatografía iónica	0,10
Nitratos	mg/L	SM4110 modificado	Cromatografía iónica	0,30
Nitritos	mg/L	SM4110 modificado	Cromatografía iónica	0,03
Silicio total	mg/L	EPA 200.7	ICP-OES	0,40
Clorofila <i>a</i>	mg/L	SM10200 H	Espectrofotometría UV-VIS	0,013

419

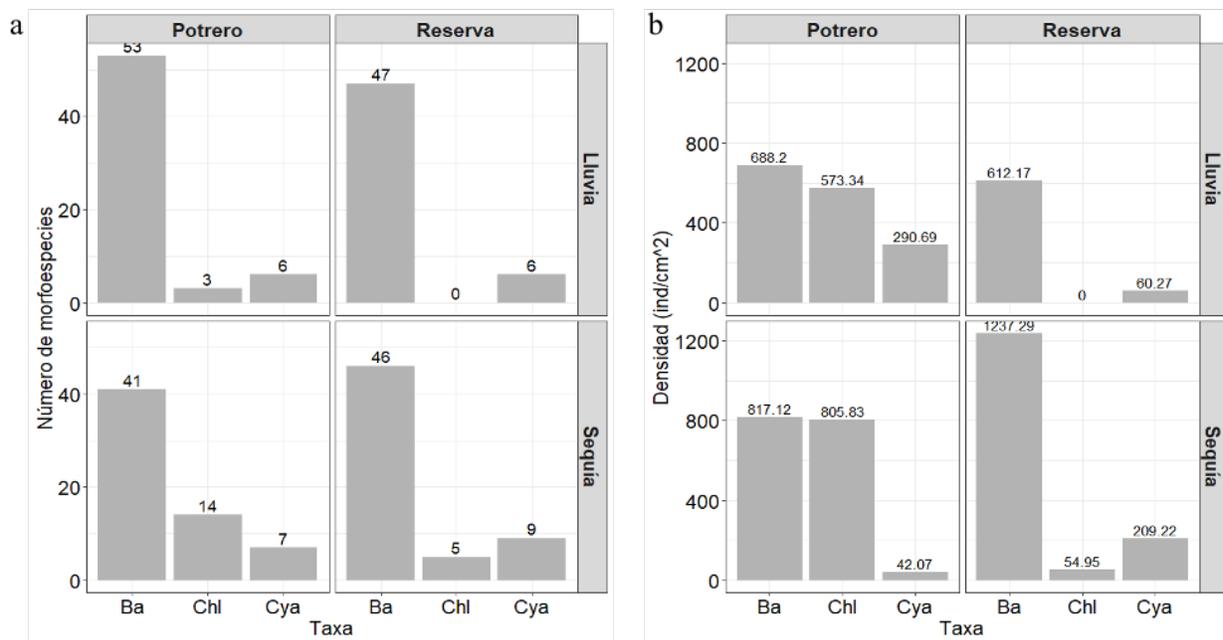
420 **Figura 2.** Análisis de componentes principales (PCA) de las variables ambientales.



421

422

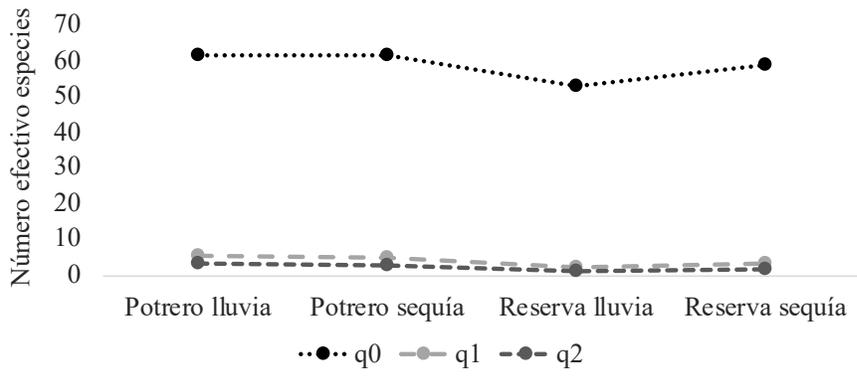
423 **Figura 3.** Riqueza (a) y distribución abundancias (b) del fitoperifiton de la época seca y de lluvias
 424 en la zona de potrero y reserva. Bacillariophyta (Ba), Chlorophyta (Chl), Cyanobacteria (Cya).



425

426

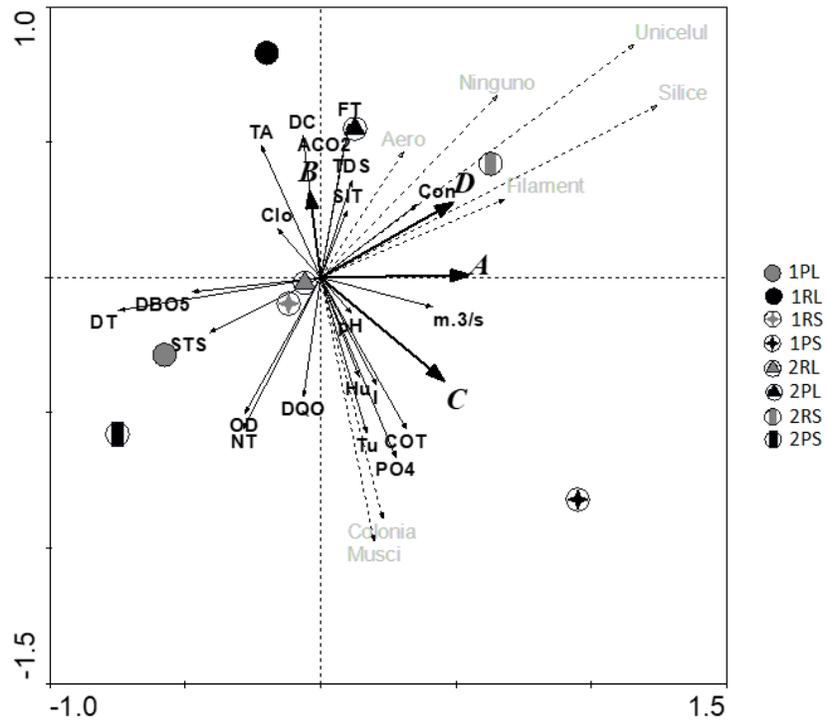
427 **Figura 4.** Índices de diversidad verdadera de orden q^0 , q^1 y q^2



428

429

430 **Figura 5.** Análisis de correspondencias canónicas (CCA) de las variables ambientales.



433 **LITERARUTA CITADA**

- 434 Bailey-L. 1867. Desmids and Diatoms. *The American Naturalist*, 1(10), 505-517.
- 435 Biggs-B, Stevenson-R y Lowe-R. 1998. A habitat matrix conceptual model for stream periphyton.
436 *Archiv für Hydrobiologie*, 143: 25-56.
- 437 Bonilla-S, Aubriot-L, Brena-B, Britos-A, Conde-D, Challar-G, De Leon-L, Fabre-A, Gabito-L,
438 Gravier-A, Hein-V, Kruk-C, Pérez Baliero-M, Piccini-C, Rodríguez-G L y Vidal-L. 2009.
439 *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay Manual para la identificación y medidas de gestión*.
440 Montevideo. Unesco. Programa hidrológico internacional para américa latina y el caribe (PHI-
441 LAC).
- 442 Borcard-D, Legendre-P y Drapeau-P. 1992. Partialling out the Spatial Component of Ecological
443 Variation. *Ecology*, 73(3): 1045-1055. Doi: <https://doi.org/10.2307/1940179>
- 444 Bouchard-R W, Anderson-J A y Hall-F. 2001. Description and protocol for two quantitative
445 periphyton samplers used for multihabitat stream sampling. [Revisada en: 27 ago 2020].
446 <http://cpcb.ku.edu/media/cpcb/datalibrary/assets/library/reportspresentations/periphyton.pdf>
- 447 Bourrelly-P. 1966. Les algues d'eau douce. Initiation à La systématique. Tome I: Les Algues
448 Vertes. Paris. Editions N. Boubée & Cie.
- 449 Bourrelly-P. 1968. Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome II, p Les Algues
450 jaunes et brunes. Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. Paris. Editions N.
451 Boubée & Cie.

452 Brunberg-A K. 1999. Contribution of bacteria in the mucilage of *Microcystis* spp. (Cyanobacteria)
453 to benthic and pelagic bacterial production in a hypereutrophic lake. *FEMS Microbiology Ecology*,
454 29(1): 13-22. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1999.tb00594.x>

455 Buffington-J M y Montgomery-D R. 2013. Geomorphic classification of rivers. En J. Shroder &
456 E. Wohl (Eds.), *Treatise on Geomorphology; Fluvial Geomorphology*. San Diego. Academic Press,
457 9: 730-767.

458 Chadwick-R, Good-P, Martin-G y Rowell-D P. 2015. Large rainfall changes consistently projected
459 over substantial areas of tropical land. *Nature Climate Change*, 6: 177–181. Doi:
460 <https://doi.org/10.1038/nclimate2805>

461 Climate-Data.org. sf. Clima Honda: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Honda.
462 Recuperado 23 de febrero de 2020, de [https://es.climate-data.org/america-del-](https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/tolima/honda-27472/)
463 [sur/colombia/tolima/honda-27472/](https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/tolima/honda-27472/)

464 Decho-A y Herndl-G. 1995. Microbial activities and the transformation of organic matter within
465 mucilaginous material. *Science of The Total Environment*, 165: 33-42. Doi:
466 [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04541-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04541-8)

467 Desikachary-T V. 1959. *Cyanophyta*. New Delhi: Indian Council of Agricultural Research.

468 Feng-X, Porporato-A y Rodriguez-I. 2013. Changes in rainfall seasonality in the tropics. *Nature*
469 *Climate Change*. 6: 811–815. Doi: <https://doi.org/10.1038/nclimate1907>

470 Findlay-S. 2010. Stream microbial ecology. *Journal of the North American Benthological*
471 *Society*, 29(1): 170-181. Doi: <https://doi.org/10.1899/09-023.1>

472 Goswami-M, Bhattacharyya-P, Mukherjee-I y Tribedi-P. 2017. Functional Diversity: An Important
473 Measure of Ecosystem Functioning. *Advances in Microbiology*, 07(01): 82. Doi:
474 <https://doi.org/10.4236/aim.2017.71007>

475 Guisande-C, Barreiro-A, Maneiro-I, Riveiro-I, Vergara-A, Vaamonde-A. 2006. Tratamiento de
476 Datos. España: Diaz de Santos.

477 Hauer-F R y Lamberti-G. 2011. *Methods in Stream Ecology*. Third edition. Oxford: Academic
478 Press.

479 Hering-D, Johnson-R K, Kramm-S, Schmutz-S, Szoszkiewicz-K y Verdonschot-P F. 2006.
480 Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: A
481 comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology*, 51(9):
482 1757-1785. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01610.x>

483 Hernández-A, Darixa-D. 2018. Seasonal variability in macroinvertebrate communities in paired
484 perennial and intermittent streams in Costa Rica [Tesis] [Georgia]. University of Georgia.
485 <http://oatd.org/oatd/record?record=handle%5C%3A10724%5C%2F38369>

486 Holdridge-L R. 1987. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: Agroamerica.

487 Kruk-C, Huszar-L M V, Peeters-E T H M, Bonilla-S, Costa-L, Lurling-M, Reynolds-C S y Sheffer
488 M. 2010. A morphological classification functional variation in phytoplankton. *Freshwater*
489 *Biology*, 55(3): 614-627. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02298.x>

490 Laureto-L M O, Cianciaruso-M V y Samia-D S M. 2015. Functional diversity: An overview of its
491 history and applicability. *Natureza & Conservação*, 13(2): 112-116. Doi:
492 <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.11.001>

493 Lowe-R L. 1979. Phytobenthic Ecology and Regulated Streams. En J. V. Ward & J. A. Stanford,
494 The Ecology of Regulated Streams. Springer US. P. 25-34. Doi: [https://doi.org/10.1007/978-1-](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8613-1_3)
495 [4684-8613-1_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-8613-1_3)

496 Lurling-M, Eshetu-F, Faassen-E, Kosten-S y Huszar-V. 2013. Comparison of cyanobacterial and
497 green algal growth rates at different temperatures. *Freshwater Biology*. 58: 552-559. Doi:
498 <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2012.02866.x>

499 Luttenton-M R y Radal-R G. 1986. Effects of disturbance on epiphytic community architecture.
500 *Journal of Phycology*. 23(3): 320-326. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1986.tb00030.x>

501 Masojídek-J, Koblížek-M y Torzillo-G. 2004. Photosynthesis in microalgae. *Handbook of*
502 *Microalgal Culture* 1st ed. P. 20-40. John Wiley & Sons, Ltd. Doi:
503 <https://doi.org/10.1002/9780470995280>

504 Mendoza-C H. (1999). Estructura y riqueza florística del bosque seco tropical en la región Caribe
505 y el valle del río Magdalena, Colombia. *Caldasia*, 70-94.

506 Montoya-Y y Aguirre-N. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una
507 ciénaga tropical colombiana. *Hidrobiológica*. 18(3): 189-198.

508 Montoya-Y y Aguirre-N. 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia.
509 *Gestión y Ambiente*. 16(3): 91-117. Doi: <https://doi.org/10.15446/ga>

510 Oleskin-A, Botvinko-I y Tsavkelova-E. 2000. Colonial organization and intercellular
511 communication in microorganisms. *Mikrobiologiya*. 69: 309-327. Doi:
512 <https://doi.org/10.1007/BF02756730>

513 Owen-L P, Eoin-J O y Dan-F B F. 2009. A functional guide to functional diversity measures.
514 Oxford: University Press.

515 Paerl-H y Otten-T. 2013. Harmful Cyanobacterial Blooms: Causes, Consequences, and Controls.
516 *Microbial ecology*. 65: 995-1010. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00248-012-0159-y>

517 Passy-S. 2002. Environmental randomness underlies morphological complexity of colonial
518 diatoms. *Functional Ecology*. 16: 690-695. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.2002.00671.x>

519 Pizano-C, Cabrera-M, García-H y Isaacs P. 2014. Memoria técnica para la verificación en campo
520 del mapa de bosque seco tropical en Colombia. Escala 1:100.000. Instituto de Investigaciones de
521 Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” – Ministerio de Ambiente y Desarrollo
522 Sostenible. Bogotá, Colombia. [Revisada en: 23 nov 2019].
523 <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/investigacion/gonzalez-m-et-al-2014->
524 [memoria-tecnica-verificacion.pdf](http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/investigacion/gonzalez-m-et-al-2014-memoria-tecnica-verificacion.pdf)

525 Pizano-C, González-R, García-H, Isaacs-P, González-M F, Piñeros-P y Ramírez-W. 2014. Bosques
526 secos tropicales en Colombia. [Revisada en: 23 nov 2019]
527 [http://www.humboldt.org.co/en/research/projects/developing-projects/item/158-bosques-secos-](http://www.humboldt.org.co/en/research/projects/developing-projects/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia)
528 [tropicales-en-colombia](http://www.humboldt.org.co/en/research/projects/developing-projects/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia)

529 Prescott-G W, Bicudo-C E de M y Vinyard-W-C. 1982. A Synopsis of North American Desmids:
530 Part II: Desmidiaceae: Placodermae Section 4. Nebraska: University of Nebraska Press.

531 Ramírez-J. 2000. Fitoplancton de agua dulce: Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Primera
532 edición. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

533 Resolución Número 020. Mediante la cual se declara Reserva Natural de la Sociedad Civil a la
534 reserva “EL TAMBOR”, Honda, Tolima, Colombia, 17 de mayo de 2015.

535 Robinson-C T y Minshall-G W. 1986. Effects of disturbance frequency on stream benthic
536 community structure in relation to canopy cover and season. *Journal of the North American*
537 *Benthological Society*. 5(3): 237-248. Doi: <https://doi.org/10.2307/1467711>

538 Roldán-G y Ramírez-J J. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda edición. Editorial
539 Medellín: Universidad de Antioquia.

540 Sánchez-L C y Pérez-T J. (2008). Uso de hábitat de carnívoros simpátricos en una zona de
541 bosque seco tropical de Colombia. *Mastozoología neotropical*. 15(1): 67-74.

542 Sartoni-G, Urbani-R, Sist-P, Berto-D, Nuccio-C y Giani-M. 2008. Benthic mucilaginous
543 aggregates in the Mediterranean Sea: Origin, chemical composition and polysaccharide
544 characterization. *Marine Chemistry*. 111(3): 184-198. Doi:
545 <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2008.05.005>

546 Šťastný-J. 2008. Desmids from ephemeral pools and aerophytic habitats from the Czech Republic.
547 *Biologia*. 63(6): 888-894. Doi: <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0138-4>

548 Štěpánková-J, Hašler-P, Hladka-M y Pouličková-A. 2012. Diversity and ecology of desmids of
549 peat bogs in the Jeseníky Mts: Spatial distribution, remarkable finds. *Fottea*. 1(12): 111-126. Doi:
550 <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0139-3>

551 ter Braak-C J y Verdonschot-P F M. 1995. Canonical correspondence analysis and related
552 multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*. 57(3): 255-289. Doi:
553 <https://doi.org/10.1007/BF00877430>

554 ter Braak-C J y Smilauer-P. 2012. *Canoco reference manual and user's guide: Software for*
555 *ordination, version 5.0*. Ithaca: Microcomputer power.

556 Uehlinger-V. 1964. Etude statistique des methodes de denombrement planctonique. 17(2): 121–
557 233. Doi: <https://doi.org/10.1002/iroh.19650500319>

558 Wetzel-R G y Likens-G E. 1991. Limnological Analyses. Third edition. New York: Spring-Verlag.
559 P.15-30.

560 Wickham-H, Chang-W y Wickham-M H. 2016. Package ‘ggplot2’. Create Elegant Data
561 Visualisations Using the Grammar of Graphics. 2(1): 1-189. [https://cran.r-](https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf)
562 [project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf](https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf)

563 Williamson-T N, Agouridis-C T, Barton-C D, Villines-J A y Lant-J G. 2015. Classification of
564 Ephemeral, Intermittent, and Perennial Stream Reaches Using a TOPMODEL-Based Approach.
565 JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 51(6): 1739-1759. Doi:
566 <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12352>

567 Winston-J E. 2010. Life in the Colonies: Learning the Alien Ways of Colonial Organisms.
568 Integrative and Comparative Biology. 50(6): 919-933. Doi: <https://doi.org/10.1093/icb/icq146>

569 Wunsam-S, Cattaneo-A y Bourassa-N. 2002. Comparing diatom species, genera and size in
570 biomonitoring: A case study from streams in the Laurentians (Québec, Canada). Freshwater
571 Biology. 47(2): 325-340. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00809.x>

572

573

574 **Anexo 1.** Variables ambientales medidas en las quebradas El Tambor y Caimital en octubre de
 575 2018 y marzo de 2019.

Muestreo	Periodo	Quebrada	Hábitat	Temperatura ambiente (°C)	Intensidad lumínica (lm)	Humedad (%)
Octubre	Lluvias	Tambor	Potrero	30.33	163.90	74.67
		Caimital	Potrero	26.85	312.00	84.50
		Tambor	Reserva	28.03	114.27	79.33
		Caimital	Reserva	27.10	26.53	83.00
Marzo	Seco	Tambor	Potrero	33.03	193.33	39.67
		Caimital	Potrero	30.45	305.00	58.50
		Tambor	Reserva	25.60	69.07	84.00
		Caimital	Reserva	28.70	155.17	68.33

576

577

578 **Anexo 2.** Variables fisicoquímicas del agua medidas *in situ*.

Periodo	Hábitat	Quebrada	Caudal (m ³ /s)	Temperatura (°C)	pH (Unidades)	O ₂ disuelto (mg/L)	Saturación oxígeno (%)	Conductividad (µS/cm)	Salinidad (ppm)	Turbidez (FTU)
Lluvia	Potrero	Tambor	0,13	29,37	6,84	6,08	86,67	104,00	0,06	15,77
		Caimital	0,19	25,35	7,07	6,68	84,30	98,85	0,06	27,09
	Reserva	Tambor	0,08	24,70	6,47	7,20	95,37	75,17	0,04	27,19
		Caimital	0,02	24,38	6,76	5,73	72,05	86,70	0,05	30,09
Sequia	Potrero	Tambor		24,30	6,98	5,08	63,97	102,30	0,06	21,10
		Caimital		20,35	7,40	8,26	93,90	118,95	0,07	20,35
	Reserva	Tambor	0,25	22,67	7,74	7,89	98,20	96,07	0,05	27,73
		Caimital	0,10	28,43	7,15	7,18	84,57	151,57	0,08	22,57

579

580

581

582 **Anexo 3.** Variables fisicoquímicas del agua determinadas en laboratorio.

Periodo	Hábitat	Quebrada	Nitrógeno total (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	Fosforo total	PO ₄ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	COT (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SDT (mg/L)	Dureza total	CO ₂ (mg/L)	Cloruros (mg/L)
Lluvia	Potrero	Tambor	<0,500	<0,30	<0,30	<0,30	0,95	0,435	<0,40	4,86	4,08	34,43	112,0	27,5	21,12	
		Caimital	0,684	<0,30	<0,30	<0,30	0,75	0,742	<0,40	13,6	<2,10	38,10	86,0	7,5	8,70	1,20
	Reserva	Tambor	0,691	<0,30	<0,30	<0,30	0,65	0,640	<0,40	8,47	2,45	27,10	58,0	20,0		
		Caimital	0,704	<0,30	<0,30	<0,30	0,79	0,774	<0,40	14,00	<2,10	43,77	60,0	9,0	11,44	1,20
Sequia	Potrero	Tambor	0,662	<0,30	<0,30	<0,30	0,80	0,583	61,90		5,99	14,1	195,6	20,0	8,80	7,00
		Caimital	1,440	<0,30	<0,30	<0,30	0,87	0,619	59,20		14,20	32,77	168,9	50,0	2,64	4,90
	Reserva	Tambor	0,796	<0,30	<0,30	<0,30	0,77	0,513	29,10		5,85	21,10	197,5	10,0	1,76	2,90
		Caimital	0,878	<0,30	<0,30	<0,30	0,93	0,616	82,20		5,77	20,77	196,8	1,5	2,64	2,45

583

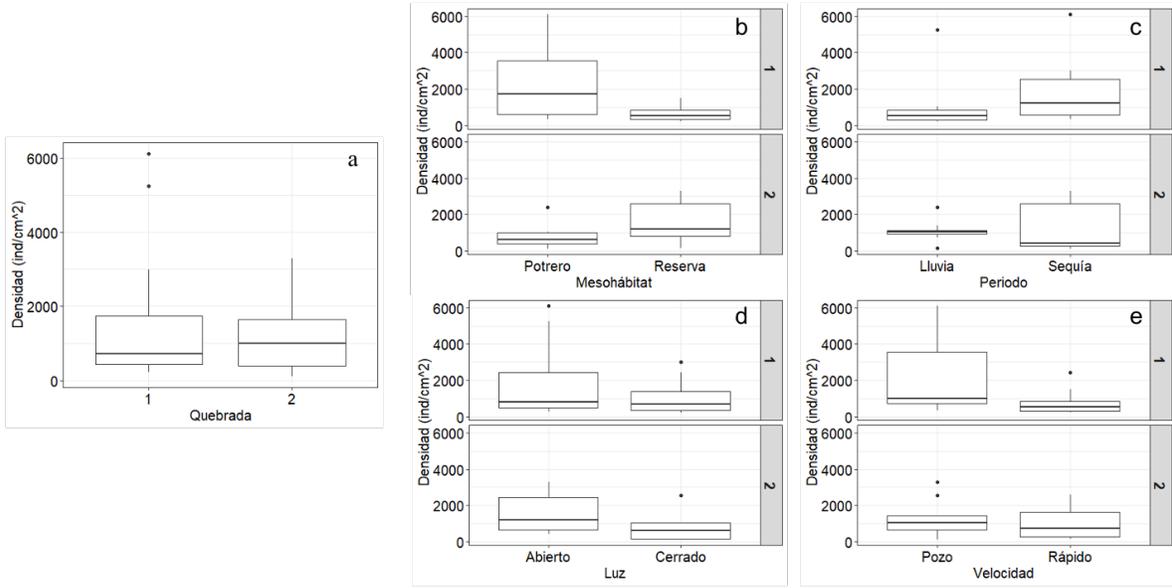
584 **Anexo 4.** Densidad del ficoperifiton encontrado en las zonas de potrero y reserva durante las
 585 épocas de lluvia y sequia en las quebradas el Tambor y Caimital.

Género	Potrero				Reserva			
	Luvia		Sequia		Luvia		Sequia	
	Tambo r	Caimita l	Tambo r	Caimita l	Tambo r	Caimita l	Tambo r	Caimita l
<i>Achnanthes</i>		4.2		12.4			40.6	4.2
<i>Amphipleura</i>		30.1	4.2	23.0	12.5	29.3	18.8	163.2
<i>Amphora</i>		2.9				12.6		16.7
<i>Chaetophora</i>			20.9				102.5	41.8
<i>Chlorococcales</i>	3811.1	775.6	71.1				288.7	
<i>Cladophora</i>				12.6				
<i>Closterium</i>							5.9	
<i>Coconeiss</i>						16.7		
<i>Cosmarium</i>				4.2				
<i>Eudorina</i>			4530.6					
<i>Eunotia</i>	8.4			2.1				
<i>Fragilaria</i>		2.9	205.0				29.3	8.4
<i>Gomphonema</i>	2.1	33.7	4.2	4.2	6.3	16.7	8.8	12.6
<i>Gyrosigma</i>					6.3		15.1	
<i>Lyngbya</i>	8.4						184.5	
<i>Merismopedia</i>				61.3				
Familia				4.2				4.2
Naviculacea								
Orden	2536.0	2496.2	5174.9	937.6	1153.5	3380.2	1483.4	7760.2
Naviculales								
<i>Nitzschia</i>	25.9	25.9	8.4	7.0	19.4	58.6	48.9	62.8
Orden Nostocales			75.3	50.2				
<i>Oedogonium</i>			159.0	4.2				
<i>Oscillatoria</i>	117.1	837.5		110.1	381.8		870.1	347.2
<i>Pinnularia</i>	180.7	145.2	129.8	11.8	93.2	75.3	53.1	66.9
<i>Pseudoanabaena</i>		50.2		39.7	79.4	20.9	14.6	54.4
<i>Pseudophormidium</i>	548.0	764.3						
<i>Rivularia</i>							202.9	
<i>Stauroneis</i>		4.2	4.2					4.2
<i>Synedra</i>		7.1	4.2			8.4	2.9	
<i>Terpsinoe</i>						8.4	10.5	83.7
<i>Ulothrix</i>			1644.1					

586

587

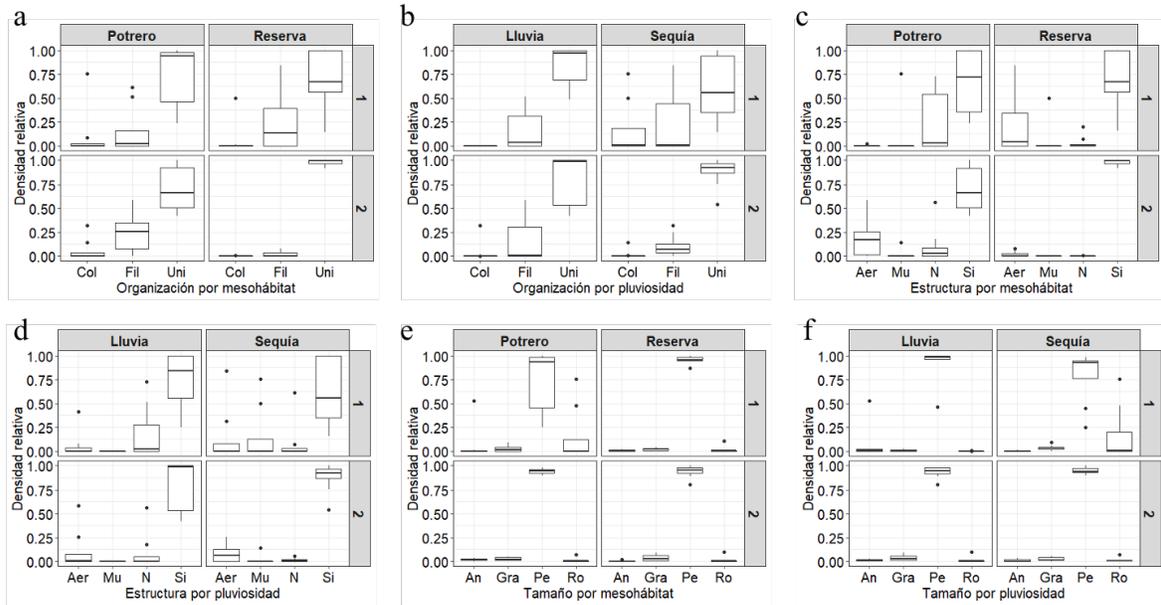
588 **Anexo 5.** Densidad de organismos por quebrada (a), mesohábitat (b), periodo (c),
 589 iluminación (d) y velocidad de la corriente (e). Quebrada El Tambor (1) y Caimital (2).



590

591

592 **Anexo 6.** Densidad relativa de los rasgos morfológicos (a - b) y funcionales (c-f) según el
 593 mesohábitat y el periodo. Colonia (Col), filamento (Fil), unicélula (Uni), aerótopo (Aer),
 594 mucílago (Mu), ninguno (N), sílice (Si), angosto (An), Grande (Gra), pequeño (Pe) y robusto
 595 (Ro).



596

597

598

599