



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**Caracterización del fitoplancton de los ecosistemas acuáticos del alto Antisana,  
provincia de Napo, Ecuador, en base a pigmentos fotosintéticos y feopigmentos**

**Disertación previa a la obtención del título de Microbiólogo**

**EMILIA DANIELA GARCÍA ARELLANO**

**Quito, 2020**



Certifico que la Disertación de grado en Microbiología de la Srta. Emilia Daniela García Arellano ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser prestada para la calificación correspondiente.

Dra. Diana Astorga García

Directora de la Disertación

Quito, 6 de enero de 2020

## **DEDICATORIA**

A mis padres.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios y a mis padres por brindarme el amor, apoyo y medios para haber logrado culminar esta etapa de mi vida. A mis hermanos, Jonathan y Joyce, a mis primas Lilián, Andrea y Jessica, por su ejemplo de perseverancia y ánimos, a mis amigos cercanos dentro y fuera de la universidad, por su apoyo moral incondicional.

Agradezco a mi directora, la Ph.D. Diana Astorga, por su paciencia, guía y apoyo durante todo el tiempo que llevó culminar este trabajo. A Verónica Crespo, Rodrigo Espinosa y Patricio Andino, por toda su ayuda durante los muestreos y durante la fase de análisis de los datos con múltiples sugerencias y explicaciones. A Kelly López, por realizar el análisis taxonómico paralelo que fue fundamental para conocer las implicaciones de los hallazgos.

También agradezco a Bolívar Salas, Gaby, Caro y Ani de la Sala de Preparaciones por proporcionar el espacio de trabajo para la extracción de los pigmentos. A Álvaro Barragán y Taryn Ghia, por facilitar un espacio para el resto de los ensayos dentro del laboratorio de Entomología. Al personal del CESAQ-PUCE que colaboró en la investigación con el análisis de nutrientes inorgánicos.

Finalmente, agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por el financiamiento del presente estudio que formó parte del proyecto “Diversidad de Ríos Ecuatorianos de Alta Montaña” presentado en la convocatoria 2017.

## TABLA DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS .....	VII
LISTA DE TABLAS .....	VIII
LISTA DE ANEXOS .....	XI
1. RESUMEN .....	1
2. ABSTRACT .....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1. OBJETIVOS .....	5
3.1.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	6
4.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	6
4.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES.....	8
4.2.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	8
4.2.2. ANÁLISIS DE NUTRIENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS .....	8
4.3. ANÁLISIS DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y FEOPIGMENTOS .....	9
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	10
5. RESULTADOS .....	12
5.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES.....	12
5.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	12
5.1.2. ANÁLISIS DE NUTRIENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS .....	23
5.2. ANÁLISIS DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y FEOPIGMENTOS .....	54
5.2.1. Ríos de vertiente.....	55
5.2.2. Ríos mixtos.....	61
5.2.3. Ríos de glaciación.....	62
6. DISCUSIÓN.....	71
6.1. PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS, FEOPIGMENTOS Y MICROORGANISMOS IMPLICADOS. ....	71
6.2. DESCRIPCIÓN ABIÓTICA DEL ECOSISTEMA .....	74
7. CONCLUSIONES.....	79
8. RECOMENDACIONES .....	80
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82
ANEXOS.....	92

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ríos de la Reserva Ecológica Antisana. ....	7
<b>Figura 2.</b> Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos de vertiente. ....	58
<b>Figura 3.</b> Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos mixtos. ....	63
<b>Figura 4.</b> Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos de glaciación. ....	65
<b>Figura 5.</b> Correlación canónica de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con el tipo de río. ....	67
<b>Figura 6.</b> Correlación canónica de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con la temporada de muestreo. ....	68
<b>Figura 7.</b> Correlación canónica de los nutrientes orgánicos e inorgánicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con el tipo de río analizado. ....	69
<b>Figura 8.</b> Correlación canónica de los nutrientes orgánicos e inorgánicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con la temporada de muestreo. ....	70

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Registro de los parámetros fisicoquímicos durante dos muestreos por temporada en nueve ríos en la Reserva Ecológica Antisana. ....	13
<b>Tabla 2.</b> Comparación de los parámetros fisicoquímicos del agua entre las dos temporadas por tipo de río mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los parámetros con diferencias estadísticamente significativas.....	16
<b>Tabla 3.</b> Comparación de los diferentes parámetros fisicoquímicos del agua, individualmente, entre tipos de río en cada uno de los muestreos, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.....	17
<b>Tabla 4.</b> Comparación por muestreo de los valores de temperatura promedio entre los ríos de vertiente, los ríos mixtos y los ríos de glaciár, independientemente, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.....	19
<b>Tabla 5.</b> Comparación de los valores de temperatura dentro de cada uno de los ríos de vertiente, los ríos mixtos y los ríos de glaciár, independientemente, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con tres grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.....	19
<b>Tabla 6.</b> Comparación de la concentración de los diferentes parámetros fisicoquímicos en el tiempo, individualmente, entre los ríos glaciares (47, 38, 42), mixtos (46, 40, 14) y de vertiente (48, 39, 13) que conforman cada una de las intersecciones Y1, Y2 y Y3, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los parámetros con diferencias estadísticamente significativas.....	21
<b>Tabla 7.</b> Comparación por pares de los valores de parámetros ambientales que registraron diferencias significativas entre ríos glaciares (47, 38, 42), mixtos (46, 40, 14) y de vertiente (48, 39, 13) de cada Y analizada, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias estadísticamente significativas.....	22
<b>Tabla 8.</b> Promedio y desviación estándar de la concentración de nutrientes orgánicos evaluados por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana.....	24
<b>Tabla 9.</b> Comparación de la concentración de sólidos en suspensión entre ríos del mismo tipo en cada uno de los muestreos (N = 9), mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos con diferencias estadísticamente significativas.....	25
<b>Tabla 10.</b> Comparación por pares de la concentración de sólidos en suspensión entre los ríos de vertiente en los meses de octubre y noviembre de 2018, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias estadísticamente significativas.....	26
<b>Tabla 11.</b> Comparación de la concentración de sólidos en suspensión de cada uno de los ríos en estudio, por separado, a lo largo del tiempo (N=12), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con tres grados de libertad y una significación del 0,05. En negrita se señalan los ríos que presentaron diferencias estadísticamente significativas.....	26

<b>Tabla 12.</b> Comparación por pares de la concentración de sólidos en suspensión en los distintos muestreos efectuados dentro de los ríos de cada tipo, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de muestreos con diferencias estadísticamente significativas.....	27
<b>Tabla 13.</b> Comparación entre los diferentes tipos de río (vertiente, glaciar y mixto) en cada uno de los muestreos (N=27), por separado, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos con diferencias estadísticamente significativas. ....	29
<b>Tabla 14.</b> Comparación por pares para la concentración de sólidos en suspensión a inicios de julio de 2018, con un nivel de significación de 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se indican los pares de tipo de río con diferencias estadísticamente significativas.....	29
<b>Tabla 15.</b> Comparación de la concentración de sólidos en suspensión en las dos temporadas por tipo de río (N=36), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05. ....	29
<b>Tabla 16.</b> Comparación de la concentración de sólidos en suspensión entre los que conforman cada una de las intersecciones muestreadas (N=36), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.....	30
<b>Tabla 17.</b> Promedio y desviación estándar de la concentración de nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y nitratos por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana. ....	32
<b>Tabla 18.</b> Promedio y desviación estándar de la concentración de nitritos, sílice y fosfatos por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana.....	34
<b>Tabla 19.</b> Comparación de la concentración de los nutrientes de interés entre los ríos del mismo tipo dentro de cada uno de los muestreos, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos en que se registraron diferencias significativas entre ríos. ....	36
<b>Tabla 20.</b> Comparación de la concentración de los nutrientes de interés, individualmente, en cada uno de los ríos de cada tipo a lo largo del tiempo, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias estadísticamente significativas a lo largo del tiempo.....	39
<b>Tabla 21.</b> Comparación por pares de la concentración de nutrientes que registraron diferencias significativas a lo largo del tiempo por tipo de río, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de muestreos con diferencias estadísticamente significativas. ...	41
<b>Tabla 22.</b> Comparación de la concentración de nitratos a inicios de julio 2018 entre el río mixto 46 y los ríos glaciares 38 y 47 (N=9), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan las diferencias significativas.....	45
<b>Tabla 23.</b> Comparación por pares de la concentración de nutrientes que detectaron diferencias significativas a lo largo del tiempo, de acuerdo con el tipo de río y a los muestreos sospechosos de aportar la variabilidad, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni.....	45

<b>Tabla 24.</b> Comparación de la concentración de nutrientes entre los tipos de río en cada muestreo, mediante la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes que presentaron diferencias significativas entre tipos de río. ....	51
<b>Tabla 25.</b> Comparación por pares de la concentración de nutrientes entre tipos de río (vertiente, glaciar y mixto) a finales de julio, en octubre y en noviembre de 2018, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se muestran los pares de tipo de río con diferencias significativas en el nutriente respectivo.....	52
<b>Tabla 26.</b> Comparación de la concentración de los nutrientes inorgánicos entre las temporadas seca y lluviosa por tipo de río, mediante la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias significativas entre las temporadas seca y lluviosa. ....	52
<b>Tabla 27.</b> Comparación de la concentración de nutrientes inorgánicos a lo largo del tiempo, entre los ríos glaciares (47, 38 y 42), mixtos (46, 40 y 14) y de vertiente (48, 39 y 13), que conforman cada una de las intersecciones en estudio (N=36), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias estadísticamente significativas entre ríos de la intersección respectiva. ....	53
<b>Tabla 28.</b> Comparación por pares de la concentración de nutrientes inorgánicos que evidenciaron diferencias significativas entre los ríos de diferente origen de cada intersección estudiada, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias significativas para el nutriente respectivo.....	54
<b>Tabla 29.</b> Concentración de pigmentos en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana durante dos muestreos por temporada.....	56
<b>Tabla 30.</b> Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos, individualmente, en los ríos de diferente procedencia en cada uno de los muestreos (N = 6), mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. ....	59
<b>Tabla 31.</b> Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos, individualmente, entre las temporadas seca y lluviosa por tipo de río (N = 24), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05. ....	60
<b>Tabla 32.</b> Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos a lo largo del tiempo entre los ríos de diferente procedencia que conforman las intersecciones analizadas (N=24), glaciares (47, 38 y 42), mixtos (46, 40 y 14) y de vertiente (48, 39 y 13), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.....	66

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Microorganismos identificados en muestras fijadas en transeau en función de la fecha de los muestreos efectuados.....	92
<b>Anexo 2.</b> Microorganismos cultivados a partir de muestras de agua de ríos de la Reserva Ecológica Antisana.....	103
<b>Anexo 3.</b> Índices glaciares de ríos estudiados.....	107

## 1. RESUMEN

Los ecosistemas acuáticos de alta montaña evidencian los efectos del cambio climático por el derretimiento de glaciares. Para comprenderlos, la investigación suele enfocarse en las alteraciones de las comunidades biológicas de microalgas, cianobacterias y macroinvertebrados. Particularmente, en los últimos años, se han realizado estudios sobre la composición de la comunidad planctónica de sistemas lénticos (lagos) de origen glaciar, pero es necesario replicar dichos estudios en sistemas lóticos (ríos), más todavía si éstos constituyen la base de la cuenca hídrica o son los principales aportantes de embalses de agua para consumo humano. El objetivo general del estudio fue caracterizar ecosistemas acuáticos de alta montaña de la Reserva Ecológica Antisana con diferente grado de influencia glaciar para la evaluación de la productividad de las comunidades microbianas de la zona mediante el análisis de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos. Para ello, se monitorearon tres ríos de procedencia glaciar, tres de vertiente y tres de influencia mixta, en las dos temporadas climáticas características, seca y lluviosa, con dos muestreos cada una. Se midieron *in-situ* los parámetros fisicoquímicos de los ecosistemas y, posteriormente, en laboratorio, se examinaron sólidos en suspensión y nutrientes inorgánicos (nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, nitratos, nitritos, sílice y fosfatos), y se cuantificaron clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos. Un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis fue necesario para caracterizar y comparar los parámetros ambientales dentro cada río a lo largo del tiempo, entre ríos de diverso origen por muestreo y por temporada y, entre tipos de río dentro de las tres intersecciones de interés. Se encontraron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos entre ríos de distinto origen en términos de conductividad, turbidez, temperatura y concentración de oxígeno. En cuanto a nutrientes, la concentración de sólidos en suspensión fue mayor en ríos de glaciar, el nitrógeno inorgánico presentó diferencias entre ríos mixtos y de glaciar, y los nutrientes inorgánicos como fosfatos y sílice resultaron determinantes para las comparaciones examinadas. Sin embargo, las diferencias detectadas en las variables ambientales entre tipos de río no se tradujeron en concentración diferencial de pigmentos dentro de ríos de la misma procedencia, por muestreo ni entre temporadas como hubiera podido esperarse debido a su localización geográfica dentro de la cuenca. No obstante, en algunos ríos, pudieron observarse claros patrones de variación de la pigmentación en el tiempo. Todos los ríos presentaron los cuatro pigmentos analizados y pudo identificarse que corresponden a las divisiones Cyanobacteria, Ochrophyta, Charophyta y Chlorophyta.

Palabras clave: Ecosistemas acuáticos lóticos, pigmentos fotosintéticos, ríos de glaciar, ríos mixtos, ríos de vertiente.

## 2. ABSTRACT

High mountain aquatic ecosystems show the effects of climate change due to the melting of glaciers. To understand them, research usually focuses on the alterations of the biological communities of microalgae, cyanobacteria and macroinvertebrates. Particularly, in recent years, studies have been conducted on the composition of lentic systems (lakes) of glacial origin. However, it is necessary to replicate these studies in lotic systems (rivers), especially because they are the base of the watershed or the main contributors of water reservoirs for human consumption. The general aim of the study was to characterize high mountain aquatic ecosystems of the Antisana Ecological Reserve with different glacial influence for the evaluation of the productivity of the microbial communities in the area by analyzing photosynthetic pigments and phaeopigments. For this, three rivers of glacial origin, three from spring and three with mixed influence were monitored, during the two characteristic climatic seasons, dry and rainy, with two sampling dates each one. The ecosystems' physicochemical parameters were measured *in-situ* and, subsequently, in the laboratory, total suspended solids and inorganic nutrients (ammoniacal nitrogen, total nitrogen, nitrates, nitrites, silica and phosphates) were examined, and chlorophylls *a*, *b*, *c* and phaeopigments were quantified. A non-parametric Kruskal-Wallis analysis was necessary to characterize and compare the environmental parameters within each river over time, between rivers of diverse origin by sampling date and season and between river types within the three intersections of interest. Significant differences in physicochemical parameters were found between rivers of different origin in terms of conductivity, turbidity, temperature, and oxygen concentration. As for nutrients, the concentration of suspended solids was higher in glacier rivers, and inorganic nutrients such as phosphates and silica were decisive for the comparisons examined. However, the differences detected in environmental variables between river types did not translate into differential concentration of pigments within rivers of the same origin, by sampling date or between seasons as it could be expected because of their location inside the watershed. However, in some rivers, clear variation patterns of the pigmentation over time were observed. All the rivers presented the four pigments analyzed and we could determine that they correspond to Cyanobacteria, Ochrophyta, Charophyta and Chlorophyta divisions.

Keywords: Glacier rivers, lotic aquatic ecosystems, mixed rivers, photosynthetic pigments, spring rivers.

### 3. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos de alta montaña son fuentes naturales de agua para consumo y responsables de la morfología de los paisajes (Huss et al., 2017; Lecomte, García, Fórmica y Depetris, 2005). En los últimos años, se ha demostrado que éstos evidencian claramente los efectos del cambio climático por el derretimiento de glaciares y el incremento de su influencia en los ríos aledaños (Cauvy-Fraunié, Andino, Espinosa, Jacobsen y Dangles, 2015). El cambio climático es la variación del clima con respecto al historial mundial o regional y, se evidencia a través de parámetros como temperatura, precipitación, nubosidad, aumento del nivel del mar, sequías, inundaciones y tormentas tropicales (López-Silva, Carmentates, Valero y López-Fernández, 2019).

El estudio de los efectos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos de alta montaña se ha enfocado en el análisis de las alteraciones que sufren las comunidades biológicas de macroinvertebrados, microalgas y cianobacterias principalmente, frente a los cambios en temperatura y precipitación (Carissimo, 2013; Cauvy-Fraunié, Espinosa, Andino, Jacobsen y Dangles, 2015). No obstante, la comunidad más estudiada es la de macroinvertebrados (Cauvy-Fraunié, Espinosa, Andino, Dangles y Jacobsen, 2014; Jacobsen, Milner, Brown y Dangles, 2012; Ren, Gao y Elser, 2017).

Para dilucidar las alteraciones ocurridas, se han realizado múltiples análisis taxonómicos de las poblaciones de macroinvertebrados encontradas bajo diferentes condiciones ambientales y parámetros fisicoquímicos en ríos ecuatorianos con diferente grado de influencia glaciar (Jacobsen et al., 2014a). En los ensayos realizados, se encontró que la biodiversidad de cada río depende de la influencia glaciar que cada uno posee y de parámetros fisicoquímicos como temperatura, concentración de nutrientes y conductividad (Cauvy-Fraunié et al., 2015; Ren et al., 2017). Asimismo, se demostró que los macroinvertebrados no poseen una distribución homogénea dentro de estos ecosistemas (Damanik et al., 2016).

Por otra parte, el cambio climático también altera a las comunidades planctónicas porque su distribución y concentración se modifica, de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos del ecosistema (Ren et al., 2017). Consecuentemente, el ciclo de nutrientes, el flujo de partículas en el agua y la eficiencia de la cadena alimenticia se ven alterados (Luo et al., 2016). Para descifrar las modificaciones suscitadas, se han realizado análisis de los pigmentos fotosintéticos y de los productos de su degradación que son los feopigmentos, mediante técnicas tradicionales como HPLC (Lagaria et al., 2017; Wang et al., 2017) o empleando metodologías como: espectroscopía de Raman (Barletta, Krause, Goodie y El Sabae, 2015), espectrofotometría (Ferrer, Cony, Fornerón y Piccolo, 2012), fluorescencia espectral de emisión/excitación (Kuwahara y León, 2015), citometría de flujo (Moorhouse et al., 2018), análisis de toxinas (Schüler et al., 2018), entre otras. Los ensayos revelaron la presencia de diferentes pigmentos en distintas proporciones, en

los ecosistemas estudiados, independientemente de la metodología empleada (Moorhouse et al., 2018; Schüller et al., 2018; Su et al., 2015). No obstante, existe poca información disponible acerca de la composición fitoplanctónica en los ecosistemas altoandinos ecuatorianos. En los últimos años, se han realizado estudios sobre la composición de la comunidad planctónica de sistemas lénticos (lagos) provenientes de un glaciar y cómo su estructura ha sido influenciada y modificada por las alteraciones ambientales en el marco de cambio climático y calentamiento global (Michelutti et al., 2015; Van Colen et al., 2016).

Por otro lado, el grado de influencia glaciar resulta determinante para los ecosistemas acuáticos, principalmente en términos de temperatura y concentración de nutrientes (Jacobsen et al., 2014; Kohler, Van Horn, Darling, Takacs y McKnight, 2016). Por ello, en los últimos años, se ha promovido la investigación para determinar la influencia de cambios derivados del calentamiento global en la comunidad microbiana, directamente afectada por alteraciones glaciares. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados en estos ecosistemas se han centrado en determinar la influencia del agua glaciar en la composición faunística de las cuencas hidrográficas (Ren et al., 2017).

Se conoce que Ecuador cuenta con una elevada biodiversidad de macroorganismos, pero los microorganismos son el grupo menos estudiado (Guamán y González, 2016). El desconocimiento de la comunidad planctónica, especialmente del fitoplancton, en los diferentes cuerpos de agua ha generado una brecha en el conocimiento en términos de biodiversidad, calidad del agua de fuentes naturales y posibles riesgos biológicos ligados, por ejemplo, a la producción de toxinas por parte de algunas cianobacterias (Da Rocha y Giroldo, 2014; Lorenzoni et al., 2015). En este contexto, este proyecto plantea realizar una caracterización preliminar del fitoplancton de los ecosistemas acuáticos de alta montaña para conocer su situación ecológica, en base a la estimación de la potencialidad fotosintética de cuerpos de agua con diferente influencia glaciar para, de esta manera, dilucidar los efectos del cambio climático sobre las poblaciones fitoplanctónicas. Específicamente, se plantea proporcionar respuestas a las siguientes preguntas de investigación: a) ¿Existen diferencias en cuanto a la presencia de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en los ríos con influencia glaciar, de vertiente y mixta? y b) ¿Qué parámetros ambientales determinan la distribución de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en los ríos de alta montaña?

En estudios previos, se ha demostrado que la variación de la influencia glaciar, en términos de mayor escorrentía del glaciar, es capaz de modificar la composición de un ecosistema acuático al disminuir las poblaciones presentes o desplazarlas altitudinalmente (Cauvy-Fraunié et al., 2015). Además, se ha evidenciado que mientras menor es la influencia glaciar que posee un cuerpo de agua, mayor es la biomasa de productores primarios y macroinvertebrados herbívoros (Cauvy-Fraunié et al., 2016). Por lo tanto, realizar una caracterización del potencial productivo de la comunidad planctónica de los ríos de alta

montaña permitirá complementar los estudios de biodiversidad existentes, teniendo en cuenta que el fitoplancton constituye la base de la cadena trófica (Su et al., 2015). El estudio del componente microbiano de los ecosistemas lóticos permitirá dilucidar la relación entre parámetros ambientales como la concentración de nutrientes, gases y pH y, la productividad de los diferentes ecosistemas (Argibas, Koca y Aytan, 2017). Adicionalmente, se podrá determinar si existe variación en cuanto a la calidad del agua como efecto directo del incremento de la influencia glaciaria (Da Rocha y Giroldo, 2014; Lorenzoni et al., 2015).

Finalmente, debido a que algunos de los ríos y cuencas de alta montaña son esenciales para suministrar agua a las poblaciones humanas aledañas, resulta indispensable determinar los posibles riesgos biológicos ligados a miembros de la comunidad planctónica (Schüler et al., 2018). En consecuencia, poseer datos preliminares de la composición del fitoplancton permitirá entender eventos naturales causados por estos organismos como *blooms* o afloramientos en los cuerpos de agua, sus consecuencias y posibles soluciones (Moorhouse et al., 2018).

### **3.1. OBJETIVOS**

#### **3.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar ecosistemas acuáticos de alta montaña de la Reserva Ecológica Antisana con diferente grado de influencia glaciaria para la evaluación de la productividad de las comunidades microbianas de la zona mediante el análisis de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos.

#### **3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a. Identificar los parámetros ambientales que condicionan la productividad de los diferentes ecosistemas evaluados.
- b. Estimar la cantidad de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos presentes en los ríos con diferente grado de influencia glaciaria, reconociendo posibles diferencias debidas a su origen y a la temporada de muestreo.

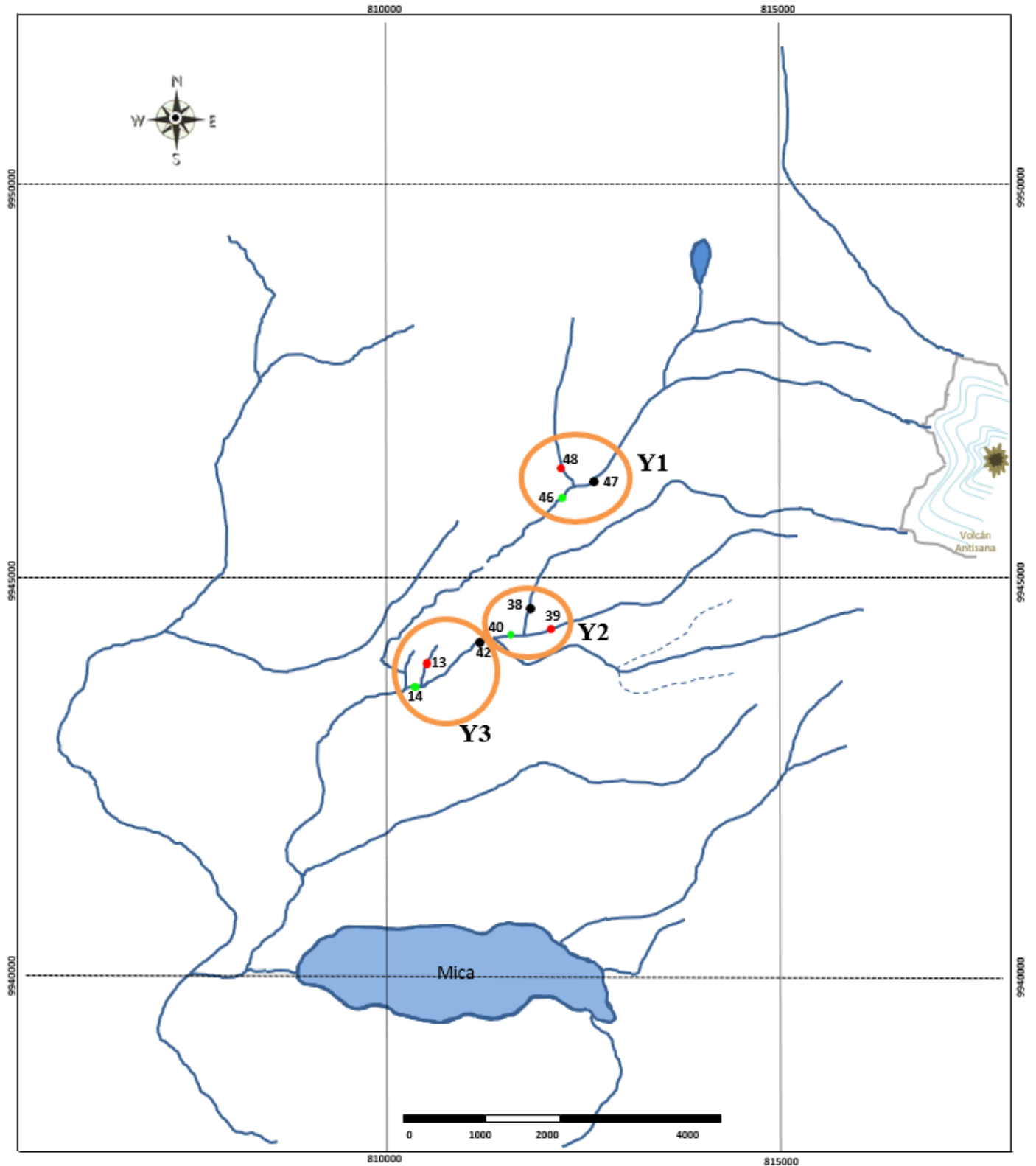
## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el presente estudio, se realizó un muestreo aleatorio simple (Sánchez-Otero, 2016) de agua superficial en nueve puntos estratégicos de la Reserva Ecológica Antisana definidos en estudios anteriores, de acuerdo con su grado de influencia glaciaria: tres ríos de origen glaciario (42, 47 y 38), tres de vertiente (13, 48 y 39) y tres de procedencia mixta (14, 46 y 40) (Cauvy-Fraunié et al., 2015). Se realizaron dos muestreos en temporada seca y dos en la lluviosa.

En cada río, se recolectaron muestras de 200 mL de agua, de los cuales se filtraron por duplicado 15 mL a través de membranas de 0,45  $\mu\text{m}$  para el análisis de pigmentos (el volumen restante se destinó a la revisión visual de los microorganismos fotosintéticos representativos). Además, se obtuvieron tres muestras de 1L de agua para el análisis por triplicado de nutrientes orgánicos e inorgánicos. Este estudio fue de carácter descriptivo (Valdivia, 2008) e incluyó el análisis de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos, la concentración de nutrientes orgánicos a través del análisis de sólidos en suspensión, la concentración de nutrientes inorgánicos y el registro de parámetros fisicoquímicos de cada uno de los ríos en estudio.

### 4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en nueve ríos localizados en la Reserva Ecológica Antisana, Provincia de Napo, Ecuador ( $0^{\circ}33'09''\text{S}$ ,  $78^{\circ}14'58''\text{W}$ ) (Cauvy-Fraunié et al., 2015). El área abarcada pertenece a las laderas occidentales del volcán Antisana, que comprende altitudes entre 4040 y 4200 m.s.n.m. (Andino, 2014). La temperatura de la zona presenta pequeñas variaciones a lo largo del año y tiende a ser más baja durante los períodos secos (Cadier et al., 2007; Mena, 2010). La temperatura del aire, a lo largo de un año, varía de 3,7  $^{\circ}\text{C}$  en la zona más baja a 1,3  $^{\circ}\text{C}$  en las zonas más elevadas (Cáceres et al., 2005). La precipitación está presente durante todo el año y varía entre los 800 y 2000 mm (Díaz, 2018; Mena, 2010). En el período entre julio y octubre, la precipitación es menor, con un máximo de 75 mm; mientras que en entre abril y junio alcanza los 275 mm (Díaz, 2018; Maisincho et al., 2007; Mena, 2010). La cantidad de viento tiende a ser mayor en los meses de septiembre y octubre, con una velocidad de 6,6 m/s y menor en el período de octubre a mayo, con una velocidad de 3,6  $\text{m s}^{-1}$  (Díaz, 2018; Fernández, 2010). Para este estudio, se consideraron tres ríos de origen glaciario (42, 47 y 38), tres de origen de vertiente (13, 48 y 39) y tres de origen mixto (14, 46 y 40), catalogados como tales en función de la Figura 1 y las sugerencias de la directora del proyecto PUCE “Diversidad de Ríos Ecuatorianos de Alta Montaña”, PhD. Verónica Crespo.



**Figura 1. Mapa de ríos de la Reserva Ecológica Antisana.** ●, ríos de vertiente (48, 39, 13); ●, ríos mixtos (46, 40, 14); ●, ríos de glaciar (47, 42, 38); ○, intersecciones de ríos; Y1, intersección formada por los ríos 47 (glaciar), 46 (mixto) y 48 (vertiente); Y2, intersección formada por los ríos 38 (glaciar), 40 (mixto) y 39 (vertiente); Y3, intersección formada por los ríos 42 (glaciar), 14 (mixto) y 13 (vertiente).

## 4.2. ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES

### 4.2.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Se registraron los parámetros fisicoquímicos de cada río en estudio (pH, conductividad, temperatura, turbidez, concentración y saturación de oxígeno) al momento de la colecta de las muestras empleando medidores portátiles ExStick (EXTECH, China), YSI (YSI Professional, Ohio, USA) y WWT (WTW, Munich, Germany) (Cauvy-Fraunié et al., 2015).

### 4.2.2. ANÁLISIS DE NUTRIENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

La concentración de nutrientes orgánicos se determinó a través del análisis de sólidos en suspensión. Se realizaron filtraciones de 15 mL de agua de río, por triplicado, a través de una membrana de microfibra de vidrio de grado GF/C con un poro de 1,2 µm, pre-combustionada en un horno mufla durante cuatro horas a 400 °C y pre-pesada. Posteriormente, se secaron las membranas a 100 °C por 24 horas y se pesaron nuevamente, hasta obtener un peso constante. Para obtener el peso sin ceniza (libre de materia orgánica), se combustionaron las membranas a 400 °C por cuatro horas y se las pesó nuevamente. Se calculó la concentración de los sólidos en suspensión (peso seco y peso sin ceniza), aplicando la fórmula establecida por The American Public Health Association (1999):

$$SS = \frac{(P_i - P_f) \times 1000}{V}$$

Dónde:

$P_i$  = *Peso inicial*

$P_f$  = *Peso final*

1000 = *constante*

$V$  = *Volumen de agua filtrado (15 mL)*

La concentración de los nutrientes inorgánicos: nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, sílice y fosfatos de cada uno de los nueve ríos analizados fue determinada con la colaboración del Centro de Servicios Ambientales y Químicos de la

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador (CESAQ-PUCE). Para el análisis, se utilizaron los métodos establecidos por The Public Health Association (2012): SM4500-N C / CP-PEE- A008, SM 4500-NH3 F/ CP-PEE-A029, SM 4500 NO2 / CP-PEE.A037, SM 4500 NO3 E / CP-PEE-A036, SM 4500 SiO2 C/ CP-PEE-A026 y SM 4500 P B-C / CP-PEE-A007, respectivamente, acreditados por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (2016).

### 4.3. ANÁLISIS DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y FEOPIGMENTOS

Para el análisis de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos, de acuerdo con el protocolo presentado por Strickland y Parsons (1972), se concentraron en 200 ml seis litros de agua a través de mallas de 270  $\mu\text{m}$ , para evitar la colmatación de los filtros por partículas inorgánicas u orgánicas grandes, y de 10  $\mu\text{m}$  para colectar todo el fitoplancton superior a este tamaño de poro. Se filtraron por duplicado 15 mL de las muestras a través de una membrana Millipore estéril con un poro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Las membranas Millipore se almacenaron individualmente en tubos de 15 mL a -20 °C en oscuridad hasta su procesamiento. Para extraer las clorofilas (*a*, *b* y *c*), se descongelaron las membranas a 4 °C, se añadieron 8 mL de acetona al 90% a los tubos y se agitaron vigorosamente. Los tubos se mantuvieron en oscuridad a 4 °C durante una noche y, al día siguiente, se agregaron 2 mL de acetona al 90%, para completar un volumen de 10 mL. Posteriormente, los extractos obtenidos fueron clarificados mediante centrifugación a 1000 rpm por diez minutos.

Para determinar el contenido de pigmentos fotosintéticos, se midió la concentración de clorofila (*Cl a*, *Cl b* y *Cl c*) a longitudes de onda de 665 nm, 645 nm, 630 nm y 750 nm y, se emplearon las ecuaciones presentadas por Strickland y Parsons (1972):

$$mg \text{ de pigmento} / m^3 = \frac{Cl}{V}$$

Dónde:

*Cl* = Concentración de Clorofila *a*, *b* o *c*

*V* = Volumen de agua filtrado (L)

El valor Cl, dependiendo del fotopigmento al que correspondiera, se calculó mediante una de las siguientes ecuaciones:

$$Cl a = 11,6 \times (\text{valor a } 665 \text{ nm}) - 1,31 \times (\text{valor a } 645 \text{ nm}) - 0,14 \times (\text{valor a } 630 \text{ nm})$$

$$Cl b = 20,7 \times (\text{valor a } 645 \text{ nm}) - 4,34 \times (\text{valor a } 665 \text{ nm}) - 4,42 \times (\text{valor a } 630 \text{ nm})$$

$$Cl c = 55 \times (\text{valor a } 630 \text{ nm}) - 4,64 \times (\text{valor a } 665 \text{ nm}) - 16,3 \times (\text{valor a } 645 \text{ nm})$$

La concentración de feopigmentos se determinó mediante la lectura espectrofotométrica en longitud de onda de 665 y 750 nm antes y después de la adición de HCl al 10% a las muestras procesadas previamente, junto con la aplicación de la ecuación correspondiente (Strickland y Parsons, 1972):

$$mg \text{ de feopigmentos} / m^3 = \frac{26,7 \times (1,7 (\text{Lectura final} - \text{Lectura inicial})) \times v}{V \times l}$$

Dónde:

*Lectura final* = Valor a 665 nm acidificado - Valor a 750 nm acidificado

*Lectura inicial* = Valor a 665 nm - Valor 750 nm

26,7 y 1,7 = constantes

*v* = Volumen de acetona empleado (mL)

*V* = Volumen de agua filtrado (L)

*l* = longitud de la cubeta (cm)

#### 4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Una vez obtenidos todos los datos de cada análisis, se revisó el cumplimiento de los supuestos del análisis de variancia (ANOVA, homogeneidad, normalidad de los residuos, independencia y aditividad) (Cayuela, 2014; Sánchez-Otero, 2018). Al no cumplirse los requisitos de normalidad y homogeneidad por presentar significaciones asintóticas menores a 0,05, se aplicó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis) para comparar las medias los parámetros fisicoquímicos y de la concentración de pigmentos y nutrientes (Sánchez-Otero, 2016). Por un lado, se realizaron análisis de variación temporal en cada uno de los ríos tanto a lo largo del tiempo como entre temporadas. Para comparar las concentraciones de los diferentes pigmentos analizados a lo largo del tiempo, debió

haberse aplicado un ANOVA de medidas repetidas. No obstante, no se respetaron la homogeneidad y esfericidad de los datos incluso tras realizar transformaciones logarítmicas, además de que no existieron grados de libertad suficientes (Camacho, 2019). Asimismo, no era adecuado aplicar un análisis de Kruskal-Wallis debido a que, muy posiblemente, las concentraciones de los pigmentos a lo largo el tiempo en cada río no eran medidas independientes. En efecto, estas tienden a modificarse de acuerdo con la variación de los factores ambientales del ecosistema (Cartuche, Guan, Ibelings y Venail, 2019; Rajagopal, Thangamani, Archunan, 2010) y dependen de la comunidad fitoplanctónica que haya estado presente en el/los muestreo/s previo/s. Por ello, se las consideró como variables dependientes (Sánchez-Otero, 2016) y, por ende, no analizables mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

Por otra parte, se realizaron comparaciones entre ríos del mismo tipo en cada uno de los muestreos y un análisis a nivel espacial a lo largo del tiempo entre los ríos glaciares, mixtos y de vertiente que conforman las intersecciones analizadas Y1, Y2 y Y3 (Figura 1). Por último, se realizó un análisis de correlación canónica (CCA) para examinar la relación existente entre los grupos de variables estudiadas (Pérez-López, 2004).

## **5. RESULTADOS**

### **5.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS AMBIENTALES**

#### **5.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

Durante cada uno de los cuatro muestreos, en cada río, se recolectaron datos de pH, turbidez, conductividad, conductividad específica, temperatura, saturación del agua y concentración de la saturación del agua a inicios y finales de junio para la temporada lluviosa y en octubre y noviembre para la temporada seca. Se obtuvo un total de 70 datos para temperatura, 34 datos para saturación de agua y concentración de la saturación y 36 datos para el resto de las variables ambientales (Tabla 1).

En todos los ríos analizados, el pH fluctuó en un rango de 7,54 a 8,66 durante la temporada lluviosa y de 7,61 a 8,60 en la temporada seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente varió entre 7,54 y 8,66; en los mixtos, entre 7,66 y 8,28; y en los de glaciario, entre 7,61 y 7,94 a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 1). Sin embargo, no se registraron diferencias significativas de pH por tipo de río entre las temporadas seca y lluviosa (Tabla 2) ni entre los tipos de río en cada muestreo (Tabla 3).

En general, la turbidez registró variaciones en un rango de 0,69 a 134 NTU en la temporada lluviosa y de 0,92 a 174 NTU en la temporada seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente, fluctuó entre 0,69 y 5,05 NTU; en los mixtos, entre 3,38 y 110 NTU; y en los ríos de glaciario, entre 3,72 y 174 NTU, a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 1). Al igual que con el parámetro pH, no existieron diferencias detectables dentro cada tipo de río entre temporadas (Tabla 2) ni entre los tipos de río en cada uno de los muestreos (Tabla 3).

**Tabla 1. Registro de los parámetros fisicoquímicos durante dos muestreos por temporada en nueve ríos en la Reserva Ecológica Antisana.**

Temporada	Muestreo	Tipo de río	Río	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad (µS/cm)	Conductividad específica (µS/cm)	Temperatura (°C)		Saturación del agua (mg/L)	Concentración saturación agua (%)
								$\bar{X}$	Desvest		
Lluviosa	1	V	13	7,63	0,69	84,0	127,8	7,05	0,07	5,2	42,9
			48	8,30	1,53	50,6	77,3	6,90	0,00	6,2	50,6
			39	7,63	1,89	194,4	210,4	10,25	0,07	6,2	55,6
		M	14	8,14	3,38	93,8	141,6	7,35	0,07	6,0	50,1
			46	7,83	110,00	22,4	35,1	6,15	0,07	6,1	49,1
			40	7,75	3,91	191,1	264,0	10,50	0,00	6,4	57,1
		G	42	7,69	3,72	92,7	136,3	8,20	0,00	6,3	53,5
			47	7,66	134,00	16,1	24,8	6,40	0,00	6,5	53,1
			38	7,83	38,40	33,5	51,6	6,45	0,21	6,5	52,7
	2	V	13	7,70	1,31	88,6	134,3	7,20	0,00	7,8	64,3
			48	8,66	3,12	60,0	88,2	8,25	0,07	9,1	77,7
			39	7,54	4,55	192,4	262,5	11,00	0,00	7,8	71,0
		M	14	8,15	9,80	99,3	139,3	9,90	0,00	7,3	64,3
			46	7,83	84,10	21,1	32,4	6,80	0,00	8,6	70,3
			40	7,76	25,70	170,3	228,6	11,55	0,07	7,5	69,1
		G	42	7,74	11,70	96,1	132,4	10,70	0,00	7,5	67,3
			47	7,66	98,50	13,3	20,5	6,60	0,00	8,1	66,1
			38	7,62	129,00	13,9	19,6	9,90	0,00	7,6	67,0

Seca	3	V	13	7,75	1,00	92,0	139,6	7,10	0,00	8,6	70,9
			48	8,38	1,75	75,8	109,9	8,70	0,14	10,1	86,8
			39	7,68	5,05	207,2	278,7	11,55	0,07	8,8	80,6
		M	14	8,28	8,74	118,6	168,5	9,45	0,07	8,4	73,2
			46	7,66	96,10	15,3	23,7	6,45	0,07	10,3	84,1
			40	7,81	29,90	182,5	244,6	11,70	0,00	8,8	80,9
	4	G	42	7,94	12,90	125,9	170,5	11,25	0,07	8,5	78,0
			47	7,61	101,00	12,6	19,7	6,10	0,00	10,5	84,8
			38	7,81	169,00	12,6	16,9	11,30	0,14	8,3	75,6
		V	13	7,70	0,92	92,7	141,5	6,90*	-	-	-
			48	8,60	1,37	74,7	109,7	8,20	0,14	7,9	66,8
			39	7,70	3,88	206,2	283,1	10,75	0,07	7,6	63,8
	4	M	14	8,23	10,80	120,4	175,4	8,60*	-	-	-
			46	7,70	83,30	13,7	20,1	8,25	0,07	7,5	63,3
			40	7,82	29,40	180,0	245,4	10,95	0,07	7,7	69,7
		G	42	7,87	16,60	131,4	180,1	10,75	0,07	7,0	63,8
			47	7,79	88,90	12,2	17,9	8,25	0,07	7,9	67,0
			38	7,72	174,00	10,9	15,0	10,75	0,07	7,1	63,8

(continuación.)

NTU, Unidades Nefelométricas de Turbidez;  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , microsiemens por centímetro;  $\bar{X}$ , promedio de dos réplicas; Desvest, desviación estándar de las dos réplicas; V, Vertiente; M, Mixto; G, Glaciar; \*, medida sin réplica por fallas del equipo; -, valor faltante por fallas del equipo durante el muestreo.

La conductividad de los ríos analizados varió en un rango de 13,3 a 194,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante la temporada lluviosa y de 10,9 a 207,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante la temporada seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente, se evidenció una variación de 50,6 a 207,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en los mixtos de 13,7 a 182,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y en los de glaciar, de 12,2 a 131,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a lo largo de los muestreos (Tabla 1). No hubo diferencias entre temporadas por tipo de río (Tabla 2) ni entre los tipos de río por muestreo (Tabla 3).

La conductividad específica a 25 °C presentó una variación de 19,6 a 264  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante la época lluviosa de 15  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 283,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante la época seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente, varió entre 77,3 y 283,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en los ríos mixtos, entre 20,1 y 264  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; y en los ríos de glaciar, entre 15 y 180,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 1). No se registraron diferencias entre la temporada seca y la lluviosa dentro de tipos de río (Tabla 2) ni entre los tipos de río en los distintos muestreos (Tabla 3).

Para la temperatura, medida por duplicado en cada uno de los ríos en cada muestreo, se observó que varió en un rango promedio de 6,15 a 11,55 °C en la temporada lluviosa y de 6,10 a 11,70 °C durante la temporada seca (Tabla 1). Los ríos de vertiente exhibieron una variación entre 6,90 y 11,55 °C; los mixtos, entre 6,15 y 11,70°C; y los de glaciar, entre 6,10 y 11,30°C (Tabla 1). Por otra parte, ríos de glaciar registraron mayores fluctuaciones durante la época seca (Tabla 2). Sin embargo, no se hallaron diferencias entre los tipos de río por muestreo (Tabla 3). Tampoco se evidenciaron diferencias significativas entre los tres ríos dentro de cada tipo de río por muestreo (Tabla 4) ni se detectaron diferencias marcadas dentro de cada río a lo largo del tiempo (Tabla 5).

La saturación del agua varió en un rango de 5,2 a 9,11 mg/L en la época lluviosa y de 6,99 a 10,52 mg/L en la época seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente, fluctuó entre 5,2 y 10,12 mg/L; en los mixtos, entre 6,03 y 10,33 mg/L; y en los de glaciar, entre 6,30 y 10,52 mg/L a lo largo de los muestreos (Tabla 1). Además, existió mayor saturación de agua en la época seca que en la lluviosa en los ríos mixtos (Tabla 2), sin embargo, entre tipos de río por muestreo no se percibieron diferencias (Tabla 3).

La concentración de la saturación del agua fluctuó en un rango de 42,9 a 77,7% en la temporada lluviosa y de 63,3 a 86,8% en la temporada seca (Tabla 1). En los ríos de vertiente, registró una variación entre 42,9 y 86,8%; en los mixtos, entre 49,1 y 84,1%; y

en los de glaciario, entre 52,7 y 84,8%, a lo largo de los muestreos (Tabla 1). Además, la concentración de la saturación del agua fue mayor en la temporada seca para los ríos mixtos (Tabla 2) aunque no se detectan diferencias entre tipos de río por muestreo (Tabla 3).

**Tabla 2. Comparación de los parámetros fisicoquímicos del agua entre las dos temporadas por tipo de río mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los parámetros con diferencias estadísticamente significativas**

Tipo de río	Parámetro	N	Rangos promedio		Chi-cuadrado	Significación asintótica
			Lluviosa	Seca		
Vertiente	pH	12	5,42	7,58	1,091	0,296
	Turbidez	12	6,50	6,50	0,000	1,000
	Conductividad	12	5,50	7,50	0,923	0,337
	Conductividad específica	12	5,50	7,50	0,923	0,337
	Temperatura	23	10,71	13,41	0,915	0,339
	Saturación agua	11	4,50	7,80	2,700	0,100
	Concentración de saturación agua	11	4,67	7,60	2,133	0,144
	Mixto	pH	12	6,83	6,17	0,103
Turbidez		12	5,83	7,17	0,410	0,522
Conductividad		12	6,50	6,50	0,000	1,000
Conductividad específica		12	6,50	6,50	0,000	1,000
Temperatura		23	11,00	13,09	0,547	0,460
Saturación agua		11	3,83	8,60	5,633	<b>0,018</b>
Concentración de saturación agua		11	4,00	8,40	4,800	<b>0,028</b>
Glaciario		pH	12	5,17	7,83	1,647
	Turbidez	12	5,67	7,33	0,641	0,423
	Conductividad	12	7,50	5,50	0,926	0,336
	Conductividad específica	12	7,33	5,67	0,641	0,423
	Temperatura	24	9,42	15,58	4,609	<b>0,032</b>
	Saturación agua	12	4,67	8,33	3,103	0,078
	Concentración de saturación agua	12	4,75	8,25	2,847	0,092

**Tabla 3. Comparación de los diferentes parámetros fisicoquímicos del agua, individualmente, entre tipos de río en cada uno de los muestreos, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Temporada	Muestreo	Parámetro	N	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
				V	M	G		
Lluviosa	1	pH	9	4,0	6,5	4,5	1,424	0,491
		Turbidez (NTU)	9	2,0	6,0	7,0	5,600	0,061
		Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	5,7	3,3	1,689	0,430
		Conductividad específica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	5,7	6,0	3,3	1,689	0,430
		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	18	10,8	10,2	7,5	1,315	0,518
		Saturación agua (mg/L)	9	3,3	4,0	7,7	4,356	0,113
		Concentración saturación agua (%)	9	4,3	4,7	6,0	0,622	0,733
	2	pH	9	4,7	7,0	3,3	2,756	0,252
		Turbidez (NTU)	9	2,0	5,7	7,3	5,596	0,051
		Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	6,0	6,0	2,400	0,301
		Conductividad específica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,3	3,0	2,7	3,289	0,193
		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	18	9,5	10,5	8,5	0,428	0,807
		Saturación agua (mg/L)	9	6,7	4,0	4,3	1,689	0,430
		Concentración saturación agua (%)	9	6,2	4,8	4,0	0,964	0,618

Seca	3	pH	9	5,3	5,2	4,5	0,157	0,925
		Turbidez (NTU)	9	2,0	5,7	7,3	5,956	0,051
		Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	5,7	3,3	1,703	0,427
		Conductividad específica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	5,7	3,3	1,689	0,430
		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	18	9,5	10,2	8,8	0,188	0,910
		Saturación agua (mg/L)	9	5,7	5,0	4,3	0,356	0,837
		Concentración saturación agua (%)	9	5,0	5,0	5,0	0,000	1,000
	4	pH	9	4,5	5,2	5,3	0,157	0,925
		Turbidez (NTU)	9	2,0	5,7	7,3	5,956	0,051
		Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	5,7	3,3	1,689	0,430
		Conductividad específica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	9	6,0	5,7	3,3	1,689	0,430
		Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	18	6,4	9,7	9,3	1,467	0,480
		Saturación agua (mg/L)	9	5,0	4,0	3,3	0,714	0,700
		Concentración saturación agua (%)	9	4,0	4,0	4,0	0,000	1,000

(continuación.)

V, Vertiente; M, Mixto; G, Glaciar; NTU, Unidades Nefelométricas de Turbidez;  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , microsiemens por centímetro

**Tabla 4. Comparación por muestreo de los valores de temperatura promedio entre los ríos de vertiente, los ríos mixtos y los ríos de glaciar, independientemente, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Tipo de río	Temporada	Muestreo	N	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
				Río 13	Río 48	Río 39		
Vertiente	Lluviosa	1	6	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
		2	6	1,50	3,50	5,50	4,848	0,089
	Seca	3	6	1,50	3,50	5,50	4,706	0,095
		4	5	1,00	2,50	4,50	3,600	0,165
				<b>Río 14</b>	<b>Río 46</b>	<b>Río 40</b>		
Mixto	Lluviosa	1	6	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
		2	6	3,50	1,50	5,50	4,848	0,089
	Seca	3	6	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
		4	5	3,00	1,50	4,50	3,600	0,165
				<b>Río 42</b>	<b>Río 47</b>	<b>Río 38</b>		
Glaciar	Lluviosa	1	6	5,50	2,50	2,50	3,636	0,162
		2	6	5,50	1,50	3,50	5,000	0,082
	Seca	3	6	4,25	1,50	4,75	3,712	0,156
		4	6	4,50	1,50	4,50	3,636	0,162

**Tabla 5. Comparación de los valores de temperatura dentro de cada uno de los ríos de vertiente, los ríos mixtos y los ríos de glaciar, independientemente, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con tres grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Tipo de río	Río	N	Rangos promedio				Chi-cuadrado	Significación asintótica
			Inicios julio 2018	Finales de julio 2018	Octubre 2018	Noviembre 2018		
Vertiente	13	7	3,00	6,50	4,00	1,00	5,529	0,137
	48	8	1,50	4,75	7,50	4,25	6,189	0,103
	39	8	1,50	5,50	7,50	3,50	6,747	0,080
Mixto	14	7	1,50	6,50	4,50	3,00	5,782	0,123
	46	8	1,50	5,50	3,50	7,50	6,747	0,080
	40	8	1,50	5,50	7,50	3,50	6,829	0,078
Glaciar	42	8	1,50	4,00	7,50	5,00	6,557	0,087
	47	8	3,50	5,50	1,50	7,50	6,914	0,075
	38	8	1,50	3,50	7,50	5,50	6,747	0,080

Por otra parte, al comparar los parámetros fisicoquímicos a lo largo del tiempo entre ríos de glaciar, mixtos y de vertiente que conforman cada una de las tres intersecciones muestreadas (Figura 1), se observó que en Y1, intersección formada por los ríos 47 (glaciar), 46 (mixto) y 48 (vertiente), existieron diferencias significativas en conductividad, conductividad específica y temperatura (Tablas 6 y 7), debidas a variaciones marcadas entre los ríos 47 y 48 (Tabla 7). El río 48 presentó los valores más altos de conductividad, conductividad específica y temperatura (Tabla 6).

En Y2, intersección formada por los ríos 38 (glaciar), 40 (mixto) y 39 (vertiente), se registraron diferencias para pH, turbidez, conductividad y conductividad específica (Tabla 6). Los ríos 38 y 39 fueron responsables de estas diferencias. El río 38 fue el de mayor turbidez, mientras que el río 39 presentó mayor pH, conductividad y conductividad específica (Tablas 6 y 7).

Finalmente, en Y3, intersección formada por los ríos 42 (glaciar), 14 (mixto) y 13 (vertiente), se encontraron diferencias para pH, turbidez, conductividad, conductividad específica y temperatura (Tabla 6). Los ríos 13 y 14 presentaron diferencias en pH, con pH mayor para el río 14. Los ríos 13 y 42 registraron divergencias en turbidez y temperatura, con el río 42 como el más turbio y cálido. Los ríos 14 y 42 divergieron en conductividad y conductividad específica, con el río 14 con mayores valores para ambos parámetros (Tablas 6 y 7).

**Tabla 6. Comparación de la concentración de los diferentes parámetros fisicoquímicos en el tiempo, individualmente, entre los ríos glaciares (47, 38, 42), mixtos (46, 40, 14) y de vertiente (48, 39, 13) que conforman cada una de las intersecciones Y1, Y2 y Y3, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los parámetros con diferencias estadísticamente significativas.**

Intersección	Parámetro	N	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
			Río 47	Río 46	Río 48		
Y1	pH	12	8,25	8,5	2,75	6,500	<b>0,039</b>
	Turbidez	12	6,50	9,25	3,75	4,654	0,098
	Conductividad	12	2,50	6,50	10,50	9,846	<b>0,007</b>
	Conductividad específica	12	2,50	7,75	9,25	7,731	<b>0,021</b>
	Temperatura	24	9,06	10,06	18,38	8,456	<b>0,015</b>
	Saturación agua	12	5,25	7,00	7,25	0,731	0,694
	Concentración saturación agua	12	5,38	7,50	6,63	0,704	0,703
				<b>Río 38</b>	<b>Río 40</b>	<b>Río 39</b>	
Y2	pH	12	3,25	5,75	10,50	8,495	<b>0,014</b>
	Turbidez	12	9,50	7,50	2,50	8,000	<b>0,018</b>
	Conductividad	12	3,00	6,00	10,50	8,769	<b>0,012</b>
	Conductividad específica	12	3,25	5,75	10,50	8,346	<b>0,015</b>
	Temperatura	24	8,25	16,38	12,88	5,341	0,069
	Saturación agua	12	7,50	5,25	6,75	0,808	0,668
	Concentración saturación agua	12	6,63	5,63	7,25	0,415	0,813
				<b>Río 42</b>	<b>Río 14</b>	<b>Río 13</b>	
Y3	pH	12	5,25	10,50	3,75	7,731	<b>0,021</b>
	Turbidez	12	10,50	6,50	2,50	9,846	<b>0,007</b>
	Conductividad	12	2,50	10,50	6,50	9,846	<b>0,007</b>
	Conductividad específica	12	2,50	10,00	7,00	8,769	<b>0,012</b>
	Temperatura	24	17,25	12,43	4,00	15,852	<b>0,000</b>
	Saturación agua (mg/L)	12	5,25	5,33	6,00	0,118	0,943
	Concentración saturación agua	12	6,00	5,50	4,83	0,256	0,880

**Tabla 7. Comparación por pares de los valores de parámetros ambientales que registraron diferencias significativas entre ríos glaciares (47, 38, 42), mixtos (46, 40, 14) y de vertiente (48, 39, 13) de cada Y analizada, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias estadísticamente significativas.**

Intersección	Parámetro	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Y1	pH	Río 48 – Río 47	5,50	0,031	0,093
		Río 48 - Río 46	5,75	0,024	0,072
		Río 47 - Río 46	-0,25	0,922	1,000
	Conductividad	Río 47 - Río 46	-4,00	0,117	0,350
		Río 47 - Río 48	-8,00	0,002	<b>0,005</b>
		Río 46 - Río 48	-4,00	0,117	0,350
	Conductividad específica	Río 47 - Río 46	-5,25	0,039	0,118
		Río 47 - Río 48	-6,75	0,008	<b>0,024</b>
		Río 46 - Río 48	-1,50	0,556	1,000
	Temperatura	Río 47 - Río 46	1,00	0,776	1,000
		Río 47 - Río 48	9,31	0,008	<b>0,024</b>
		Río 46 - Río 48	8,31	0,018	0,054
Y2	pH	Río 38 - Río 40	-2,50	0,323	0,968
		Río 38 - Río 39	-7,25	0,004	<b>0,012</b>
		Río 40 - Río 39	-4,75	0,060	0,180
	Turbidez	Río 39 - Río 40	5,00	0,050	0,150
		Río 39 - Río 38	7,00	0,006	<b>0,018</b>
		Río 40 - Río 38	2,00	0,433	1,000
	Conductividad	Río 38 - Río 40	-3,00	0,239	0,718
		Río 38 - Río 39	-7,50	0,003	<b>0,010</b>
		Río 40 - Río 39	-4,50	0,078	0,233
	Conductividad específica	Río 38 - Río 40	-2,50	0,327	0,980
		Río 38 - Río 39	-7,25	0,004	<b>0,013</b>
		Río 40 - Río 39	-4,75	0,062	0,187
Y3	pH	Río 13 - Río 42	1,50	0,556	1,000
		Río 13 - Río 14	6,75	0,008	<b>0,024</b>
		Río 42 - Río 14	-5,25	0,039	0,118
	Turbidez	Río 13 - Río 14	4,00	0,117	0,350
		Río 13 - Río 42	8,00	0,002	<b>0,005</b>
		Río 14 - Río 42	4,00	0,117	0,350
	Conductividad	Río 42 - Río 13	-4,00	0,117	0,350
		Río 42 - Río 14	-8,00	0,002	<b>0,005</b>
		Río 13 - Río 14	-4,00	0,117	0,350
	Conductividad específica	Río 42 - Río 13	-4,50	0,078	0,233
		Río 42 - Río 14	-7,50	0,003	<b>0,010</b>
		Río 13 - Río 14	3,00	0,239	0,718
Temperatura	Río 13 - Río 14	-8,43	0,015	0,045	
	Río 13 - Río 42	-13,25	0,000	<b>0,000</b>	
	Río 14 - Río 42	-4,82	0,150	0,450	

### 5.1.2. ANÁLISIS DE NUTRIENTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Para el análisis de nutrientes orgánicos, se recolectó un total de 108 muestras durante los cuatro muestreos de los nueve ríos en las temporadas seca (octubre y noviembre) y lluviosa (inicios y finales de julio), es decir, 27 por cada uno de los cuatro muestreos efectuados o, lo que es lo mismo, tres réplicas por río en cada muestreo. Tras el procesamiento de las muestras se obtuvo la concentración promedio de nutrientes orgánicos reflejados en sólidos en suspensión promedio de cada uno de los ríos en los diferentes muestreos (Tabla 8). La concentración de sólidos en suspensión varió en un rango de 0,02 a 85,09 mg/L durante la temporada lluviosa y de 0,07 a 0,84 mg/L durante la temporada seca (Tabla 8).

En los ríos de vertiente, la concentración de sólidos en suspensión registró una variación de 0,02 a 81,96 mg/L a lo largo de los cuatro muestreos efectuados (Tabla 8). Al comparar la concentración de nutrientes orgánicos entre los ríos de vertiente, por muestreo, se observó que existieron diferencias en la concentración de sólidos en suspensión entre los meses de octubre y noviembre (Tabla 9), debidas a los ríos 13 y 48, siendo el río 48 el de mayor concentración (Tabla 10). Tras analizar cada uno de los ríos de vertiente, por separado, a lo largo del tiempo, se halló que los ríos 13, 48 y 39 presentaron diferencias entre las concentraciones de sólidos en suspensión (Tabla 11), debidas a los valores hallados en los muestreos de inicios y finales de julio de 2018 (Tabla 12).

En los ríos mixtos, la concentración de sólidos en suspensión osciló entre 0,07 y 84,17 mg/L a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 8). No se encontraron diferencias entre ellos por muestreo (Tabla 9), pero al analizar cada río por separado, a lo largo del tiempo, se encontró que los ríos 46 y 40 presentaron diferencias en la concentración de sólidos en suspensión entre muestreos (Tabla 11), debidas a diferencias marcadas entre los valores registrados entre los muestreos de octubre 2018 y finales de julio 2018 en el primer caso, e inicios de julio y finales de julio de 2018 en el segundo caso (Tabla 12).

**Tabla 8. Promedio y desviación estándar de la concentración de nutrientes orgánicos evaluados por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana.**

Temporada	Muestreo	Tipo de río	N°	Sólidos en suspensión (mg/L)	
				$\bar{X}$	Desvest.
Lluviosa	Inicios de julio 2018	V	13	0,02	0,02
			48	0,10	0,01
			39	0,05	0,03
		M	14	0,09	0,02
			46	0,11	0,02
			40	0,08	0,02
		G	42	0,12	0,06
			47	0,26	0,19
			38	0,11	0,02
	Finales de julio 2018	V	13	80,25	3,48
			48	81,96	2,54
			39	81,55	3,01
		M	14	84,17	0,95
			46	83,12	0,84
			40	82,62	2,57
		G	42	83,50	3,72
			47	83,47	1,62
			38	85,09	1,45
Seca	Octubre 2018	V	13	0,07	0,02
			48	0,84	0,92
			39	0,14	0,07
		M	14	0,68	0,58
			46	0,07	0,04
			40	0,70	1,07
		G	42	0,28	0,09
			47	0,10	0,02
			38	0,21	0,07

			13	0,10	0,02
		V	48	0,55	0,04
			39	0,19	0,03
			14	0,34	0,10
	Noviembre		46	0,39	0,06
	2018	M	40	0,46	0,02
			42	0,58	0,09
		G	47	0,24	0,03
			38	0,56	0,13

(continuación.)

$\bar{X}$ , Promedio de tres réplicas; Desvest., Desviación estándar de tres réplicas; V, Vertiente; M, Mixto, G, Glaciar.

**Tabla 9. Comparación de la concentración de sólidos en suspensión entre ríos del mismo tipo en cada uno de los muestreos (N = 9), mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos con diferencias estadísticamente significativas.**

Tipo de río	Temporada	Muestreo	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
			Río 13	Río 48	Río 39		
Vertiente	Lluviosa	1	2,50	7,83	4,67	5,903	0,052
		2	4,00	6,00	5,00	0,800	0,670
	Seca	3	2,17	8,00	4,83	6,880	<b>0,032</b>
		4	2,00	8,00	5,00	7,200	<b>0,027</b>
			<b>Río 14</b>	<b>Río 46</b>	<b>Río 40</b>		
Mixtos	Lluviosa	1	4,67	6,67	3,67	1,915	0,384
		2	6,67	4,33	4,00	1,689	0,430
	Seca	3	6,00	3,33	5,67	1689	0,430
		4	3,17	7,33	4,50	3,653	0,161
			<b>Río 42</b>	<b>Río 47</b>	<b>Río 38</b>		
Glaciar	Lluviosa	1	3,67	7,17	4,17	2,991	0,224
		2	5,00	3,67	6,33	1,422	0,491
	Seca	3	7,33	2,00	5,67	6,006	0,050
		4	6,67	2,00	6,33	5,422	0,066

Muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

**Tabla 10. Comparación por pares de la concentración de sólidos en suspensión entre los ríos de vertiente en los meses de octubre y noviembre de 2018, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias estadísticamente significativas.**

Muestreo	Muestra1 - Muestra2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Octubre 2018	Río 13 - Río 39	-2,667	0,231	0,693
	Río 13 - Río 48	-5,833	0,009	<b>0,026</b>
	Río 39 - Río 48	-3,167	0,155	0,465
Noviembre 2018	Río 13 - Río 39	-3,000	0,180	0,539
	Río 13 - Río 48	-6,000	0,007	<b>0,022</b>
	Río 39 - Río 48	-3,000	0,180	0,539

**Tabla 11. Comparación de la concentración de sólidos en suspensión de cada uno de los ríos en estudio, por separado, a lo largo del tiempo (N=12), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con tres grados de libertad y una significación del 0,05. En negrita se señalan los ríos que presentaron diferencias estadísticamente significativas.**

Tipo de río	Río	Rangos promedio				Chi-cuadrado	Significación asintótica
		Inicios de julio 2018	Finales de julio 2018	Octubre 2018	Noviembre 2018		
Vertiente	13	2,00	11,00	5,17	7,83	10,202	<b>0,017</b>
	48	2,00	11,00	6,00	7,00	9,495	<b>0,023</b>
	39	2,17	11,00	5,83	7,00	9,199	<b>0,027</b>
Mixto	14	3,00	11,00	6,00	6,00	7,615	0,055
	46	4,33	11,00	2,67	8,00	9,701	<b>0,021</b>
	40	3,00	11,00	5,00	7,00	8,077	<b>0,044</b>
Glaciar	42	2,17	11,00	4,83	8,00	10,238	<b>0,017</b>
	47	6,00	11,00	2,17	6,83	9,154	<b>0,027</b>
	38	2,00	11,00	5,00	8,00	10,421	<b>0,015</b>

**Tabla 12. Comparación por pares de la concentración de sólidos en suspensión en los distintos muestreos efectuados dentro de los ríos de cada tipo, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de muestreos con diferencias estadísticamente significativas.**

Tipo de río	Río	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Vertiente	13	Muestreo 1 - Muestreo 3	-3,167	0,281	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-5,833	0,047	0,283
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-9,000	0,002	<b>0,013</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-2,667	0,364	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	5,833	0,047	0,283
		Muestreo 4 - Muestreo 2	3,167	0,281	1,000
	48	Muestreo 1 - Muestreo 3	-4,000	-1,361	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-5,000	-1,701	0,533
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-9,000	-3,063	<b>0,013</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-1,000	-0,340	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	5,000	1,701	0,533
		Muestreo 4 - Muestreo 2	4,000	1,361	1,000
	39	Muestreo 1 - Muestreo 3	-3,667	0,212	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-4,833	0,100	0,600
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-8,883	0,003	<b>0,016</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-1,167	0,691	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	5,167	0,079	0,472
		Muestreo 4 - Muestreo 2	4,000	0,173	1,000
Mixto	46	Muestreo 3 - Muestreo 1	1,667	0,571	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-5,333	0,070	0,417
		Muestreo 3 - Muestreo 2	8,333	0,005	<b>0,027</b>
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-3,667	0,212	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-6,667	0,023	0,140
		Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,307	1,000
	40	Muestreo 1 - Muestreo 3	-2,000	0,497	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-4,000	0,174	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-8,000	0,007	<b>0,039</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-2,000	0,497	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	6,000	0,042	0,249
		Muestreo 4 - Muestreo 2	4,000	0,174	1,000
Glaciar	42	Muestreo 1 - Muestreo 3	-2,667	0,363	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-5,833	0,047	0,281
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-8,833	0,003	<b>0,016</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-3,167	0,280	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	6,167	0,036	0,213
		Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,306	1,000

	Muestreo 3 - Muestreo 1	3,833	0,191	1,000
	Muestreo 3 - Muestreo 4	-4,667	0,112	0,670
47	Muestreo 3 - Muestreo 2	8,833	0,003	<b>0,016</b>
	Muestreo 1 - Muestreo 4	-0,833	0,776	1,000
	Muestreo 1 - Muestreo 2	-5,000	0,088	0,530
	Muestreo 4 - Muestreo 2	4,167	0,156	0,933
	Muestreo 1 - Muestreo 3	-3,000	0,307	1,000
	Muestreo 1 - Muestreo 4	-6,000	0,041	0,247
38	Muestreo 1 - Muestreo 2	-9,000	0,002	<b>0,013</b>
	Muestreo 3 - Muestreo 4	-3,000	0,307	1,000
	Muestreo 3 - Muestreo 2	6,000	0,041	0,247
	Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,307	1,000

(continuación.)

Muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

En los ríos de glaciar, la concentración de sólidos en suspensión presentó una fluctuación de 0,10 a 85,09 mg/L a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 8). No se encontraron diferencias significativas entre ríos por muestreo (Tabla 9), pero sí se detectó variación entre muestreos (Tabla 11), debida a diferencias en la concentración de nutrientes orgánicos entre los ríos 42 y 38 entre inicios y finales de julio de 2018 y entre finales de julio de y octubre de 2018 para el río 47 (Tabla 12).

Por otra parte, se evidenció que a inicios de julio la concentración de sólidos en suspensión fue diferente entre los ríos de vertiente y glaciar, siendo mayor en los ríos de glaciar (Tablas 13 y 14), pero no se hallaron divergencias marcadas entre las temporadas seca y lluviosa entre tipos de río (Tabla 15) ni diferencias entre los ríos de diferente origen que conforman cada una de las intersecciones analizadas (Figura 1, Tabla 16).

**Tabla 13. Comparación entre los diferentes tipos de río (vertiente, glaciar y mixto) en cada uno de los muestreos (N=27), por separado, mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos con diferencias estadísticamente significativas.**

Temporada	Muestreo	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
		V	M	G		
Lluviosa	1	7,89	14,44	19,67	10,13	<b>0,006</b>
	2	9,28	14,78	17,94	5,496	0,064
Seca	3	13,89	12,72	15,39	0,512	0,774
	4	9,94	14,44	17,61	4,2246	0,120

V, vertiente; M, mixto; G, glaciar; muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

**Tabla 14. Comparación por pares para la concentración de sólidos en suspensión a inicios de julio de 2018, con un nivel de significación de 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se indican los pares de tipo de río con diferencias estadísticamente significativas.**

Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Vertiente - Mixto	-6,556	0,077	0,231
Vertiente - Glaciar	-11,778	0,001	<b>0,004</b>
Mixta - Glaciar	-5,222	0,159	0,477

**Tabla 15. Comparación de la concentración de sólidos en suspensión en las dos temporadas por tipo de río (N=36), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Tipo de río	Rangos promedio		Chi-cuadrado	Significación asintótica
	Lluviosa	Seca		
Vertiente	19,50	17,50	0,325	0,568
Mixto	20,50	16,50	1,298	0,254
Glaciar	20,58	16,42	1,411	0,235

**Tabla 16. Comparación de la concentración de sólidos en suspensión entre los que conforman cada una de las intersecciones muestreadas (N=36), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

<b>Intersección</b>	<b>Rangos promedio</b>			<b>Chi-cuadrado</b>	<b>Significación asintótica</b>
<b>1</b>	<b>Río 47</b> 17,63	<b>Río 46</b> 16,71	<b>Río 48</b> 21,17	1,201	0,548
<b>2</b>	<b>Río 38</b> 21,38	<b>Río 40</b> 18,50	<b>Río 39</b> 15,63	1,790	0,409
<b>3</b>	<b>Río 42</b> 22,00	<b>Río 14</b> 20,58	<b>Río 13</b> 12,92	5,179	0,075

Para el análisis de nutrientes inorgánicos se recolectó un total de 108 muestras durante los cuatro muestreos en dos temporadas distintas, es decir, 27 por cada uno de los cuatro muestreos realizados o, lo que es lo mismo, tres réplicas de cada uno de los nueve ríos en cada uno de los cuatro muestreos. Las muestras recolectadas fueron transportadas al CESAQ-PUCE y tras el procesamiento se obtuvo la concentración de los nutrientes inorgánicos de interés en cada uno de los ríos (Tablas 17 y 18).

En lo que se refiere a nitrógeno amoniacal, en los ríos de vertiente, se presentó una variación de 0,04 a 0,15 mg/L; en los mixtos, de 0,03 a 0,13 mg/L; y en los de glaciar de 0,04 a 0,11 mg/L a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 17). No existieron diferencias entre los ríos de vertiente por muestreo (Tabla 19) ni en cada uno de los ríos de vertiente, individualmente, a lo largo del tiempo (Tabla 20). Tampoco se registraron diferencias entre ríos de glaciar a finales de julio, el único muestreo que obtuvo valores detectables en todos los ríos glaciares analizados (Tabla 19).

Sin embargo, se evidenció que entre finales de julio y octubre existieron diferencias marcadas entre los ríos mixtos. Esto se debió a diferencias en la concentración de nitrógeno amoniacal entre los ríos 14 y 46 a finales de julio y entre los ríos 14 y 40 en octubre, los ríos con valores detectables (superiores a 0,05 mg/L) en los respectivos muestreos; en el primer caso la mayor concentración correspondió al río 14 y en el

segundo al río 40 (Tabla 19). Además, el río mixto 14 exhibió diferencias en su concentración de nitrógeno amoniacal entre el muestreo de finales de julio y el de octubre, con concentración más alta a finales de julio; y el río glaciario 42, entre finales de julio y noviembre, con mayor concentración a finales de julio (Tabla 20).

**Tabla 17. Promedio y desviación estándar de la concentración de nitrógeno amoniacal, nitrógeno total y nitratos por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana.**

Temporada	Muestreo	Tipo de río	Río	Nitrógeno amoniacal		Nitrógeno total		Nitratos		
				$\bar{X}$	Desvest	$\bar{X}$	Desvest	$\bar{X}$	Desvest	
Lluviosa	1	V	13	0,22	0,064	-	-	-	-	
			48	-	-	-	-	-	-	
			39	0,05	0,000	-	-	-	-	
		M	14	0,05	-	-	-	-	-	
			46	0,08	0,057	-	-	5,40	0,265	
			40	0,05	-	-	-	-	-	
			42	-	-	-	-	-	-	
			G	47	-	-	-	-	8,93	0,862
				38	0,08	0,021	-	-	6,80	0,819
	2	V	13	0,10	0,010	-	-	-	-	
			48	0,10	0,007	12,13	0,351	-	-	
			39	0,09	0,012	-	-	-	-	
		M	14	0,13	0,025	-	-	-	-	
			46	0,07	0,000	9,07	1,644	-	-	
			40	-	-	10,47	1,124	-	-	
			42	0,11	0,010	9,07	0,379	-	-	
			G	47	0,09	0,010	12,90	2,272	-	-
				38	0,10	0,010	-	-	-	-

Seca	3	V	13	0,08	0,010	-	-	-	-
			48	0,08	0,006	-	-	-	-
			39	-	-	-	-	-	-
		M	14	0,04	0,012	-	-	-	-
			46	-	-	-	-	-	-
			40	0,08	0,012	-	-	-	-
	G	42	-	-	-	-	-	-	
		47	-	-	-	-	-	-	
		38	0,06	-	-	-	-	-	
	4	V	13	-	-	-	-	-	-
			48	-	-	-	-	-	-
			39	-	-	-	-	-	-
		M	14	0,07	0,006	-	-	-	-
			46	-	-	-	-	-	-
			40	-	-	-	-	-	-
	G	42	0,05	0,006	-	-	-	-	
		47	-	-	-	-	-	-	
		38	-	-	-	-	-	-	

(continuación.)

$\bar{X}$ , Promedio de tres réplicas; Desvest., Desviación estándar de tres réplicas; V, Vertiente; M, Mixto; G, Glaciar; -, valor por debajo del límite de detección del equipo.

**Tabla 18. Promedio y desviación estándar de la concentración de nitritos, sílice y fosfatos por triplicado durante dos muestreos por temporada en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana.**

Temporada	Muestreo	Tipo de río	Río	Nitritos		Sílice		Fosfatos	
				$\bar{X}$	Desvest	$\bar{X}$	Desvest	$\bar{X}$	Desvest
Lluviosa	1	V	13	0,017	0,003	56,00	0,000	3,00	0,000
			48	0,007	0,002	41,67	3,786	1,00	0,000
			39	0,009	0,005	64,00	1,000	4,00	0,000
		M	14	0,011	0,003	54,00	1,000	3,00	0,000
			46	0,023	0,005	24,33	2,309	1,00	0,000
			40	-	-	66,00	1,000	4,33	0,577
		G	42	0,011	0,000	52,00	0,000	3,33	0,577
			47	0,032	0,002	23,00	1,000	1,00	0,000
			38	0,017	0,019	42,33	2,082	1,67	0,577
	2	V	13	0,017	0,004	55,33	0,577	0,93	0,115
			48	-	-	47,00	0,000	1,00	0,000
			39	-	-	68,67	1,155	2,33	0,577
		M	14	0,008	0,002	53,67	3,786	2,00	0,000
			46	-	-	31,67	3,215	0,80	0,000
			40	0,009	0,003	63,33	0,577	4,33	0,577
		G	42	0,012	0,001	52,00	1,732	2,00	0,000
			47	0,015	0,001	25,27	3,101	0,87	0,115
			38	0,020	0,003	23,33	0,577	0,80	0,000

Seca	3	V	13	0,009	0,004	54,33	0,577	2,63	0,208
			48	-	-	52,33	0,577	1,33	0,058
			39	0,020	0,002	66,33	0,577	2,07	0,115
		M	14	0,012	0,001	57,00	1,000	1,83	0,058
			46	0,009	0,001	25,67	1,155	3,83	0,058
			40	0,006	0,001	68,33	1,155	4,73	0,058
		G	42	0,008	0,002	58,67	0,577	2,57	0,115
			47	0,009	0,000	26,00	2,000	4,83	0,306
			38	0,016	0,001	19,00	1,000	5,20	0,200
	4	V	13	-	-	56,00	0,000	1,47	0,153
			48	-	-	52,00	0,000	1,37	0,153
			39	-	-	67,33	0,577	1,97	0,058
		M	14	0,005	0,001	57,33	0,577	2,00	0,173
			46	0,009	0,001	20,67	0,577	3,57	0,306
			40	0,017	0,001	61,33	1,155	3,43	0,153
		G	42	0,007	0,001	56,00	0,000	2,03	0,058
			47	0,011	0,001	19,33	0,577	3,27	0,058
			38	0,014	0,002	20,67	0,577	4,00	0,300

(continuación.)

$\bar{X}$ , Promedio de tres réplicas; Desvest., Desviación estándar de tres réplicas; V, Vertiente; M, Mixto; G, Glaciar; -, valor por debajo del límite de detección del equipo.

**Tabla 19. Comparación de la concentración de los nutrientes de interés entre los ríos del mismo tipo dentro de cada uno de los muestreos, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los muestreos en que se registraron diferencias significativas entre ríos.**

Tipo de río	Parámetro	Temporada	Muestreo	N	Rangos promedio			gl	Chi-cuadrado	Significación asintótica
					Río 13	Río 48	Río 39			
Vertiente	Nitrógeno amoniacal	Lluviosa	1	3	2,50	-	1,00	1	1,500	0,221
			2	8	5,83	4,75	3,00	2	2,191	0,334
		Seca	3	6	3,83	3,17	-	1	0,222	0,637
			4	-	-	-	-	-	-	-
	Nitrógeno total	Lluviosa	1	-	-	-	-	-	-	-
			2	3	-	2,00	-	-	-	-
		Seca	3	-	-	-	-	-	-	-
			4	-	-	-	-	-	-	-
	Nitritos	Lluviosa	1	8	7,00	2,83	3,25	2	5,095	0,078
			2	3	2,00	-	-	-	-	-
		Seca	3	6	2,00	-	5,00	1	3,857	0,050
			4	-	-	-	-	-	-	-
	Sílice	Lluviosa	1	9	5,00	2,00	8,00	2	7,448	<b>0,024</b>
			2	9	5,00	2,00	8,00	2	7,579	<b>0,023</b>
		Seca	3	9	5,00	2,00	8,00	2	7,385	<b>0,025</b>
			4	9	5,00	2,00	8,00	2	7,784	<b>0,020</b>
	Fosfatos	Lluviosa	1	9	5,00	2,00	8,00	2	8,000	<b>0,018</b>
			2	9	3,00	4,00	8,00	2	6,788	<b>0,034</b>
		Seca	3	9	8,00	2,00	5,00	2	7,322	<b>0,026</b>
			4	9	4,17	2,83	8,00	2	5,853	0,054

				<b>Río 14</b>	<b>Río 46</b>	<b>Río 40</b>				
Mixto	Nitrógeno amoniacal	Lluviosa	1	5	2,50	3,33	2,50	2	0,351	0,839
			2	6	5,00	2,00	-	1	4,355	<b>0,037</b>
		Seca	3	6	2,00	-	5,00	1	4,091	<b>0,043</b>
			4	3	2,00	-	-	-	-	-
	Nitrógeno total	Lluviosa	1	-	-	-	-	-	-	-
			2	6	-	3,00	4,00	1	0,429	0,513
		Seca	3	-	-	-	-	-	-	-
			4	-	-	-	-	-	-	-
	Nitritos	Lluviosa	1	5	1,50	4,00	-	1	3,000	0,083
			2	6	3,33	-	3,67	1	0,048	0,827
		Seca	3	9	8,00	5,00	2,00	2	7,322	<b>0,026</b>
			4	9	2,00	5,00	8,00	2	7,385	<b>0,025</b>
	Sílice	Lluviosa	1	9	5,00	2,00	8,00	2	7,261	<b>0,027</b>
			2	9	5,00	2,00	8,00	2	7,261	<b>0,027</b>
		Seca	3	9	5,00	2,00	8,00	2	7,322	<b>0,026</b>
			4	9	5,00	2,00	8,00	2	7,385	<b>0,025</b>
Fosfatos	Lluviosa	1	9	5,00	2,00	8,00	2	7,784	<b>0,020</b>	
		2	9	5,00	2,00	8,00	2	7,784	<b>0,020</b>	
	Seca	3	9	2,00	5,00	8,00	2	7,385	<b>0,025</b>	
		4	9	2,00	6,83	6,17	2	5,582	0,061	

(continuación...)

				<b>Río 42</b>	<b>Río 47</b>	<b>Río 38</b>					
Glaciar	Nitrógeno amoniacal	Lluviosa	1	2	-	-	1,50	-	-	-	
			2	9	7,17	2,83	5,00	2	3,953	0,139	
		Seca	3	-	-	-	-	-	-	-	-
			4	3	2,00	-	-	-	-	-	-
	Nitrógeno total	Lluviosa	1	-	-	-	-	-	-	-	
			2	6	2,00	5,00	-	1	3,857	0,050	
		Seca	3	-	-	-	-	-	-	-	
			4	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nitritos	Lluviosa	1	6	2,00	4,83	2,25	2	3,150	0,207	
			2	9	2,00	5,33	7,67	2	6,771	<b>0,034</b>	
		Seca	3	9	3,00	4,00	8,00	2	6,788	<b>0,034</b>	
			4	9	2,00	5,00	8,00	2	7,261	<b>0,027</b>	
Sílice	Lluviosa	1	9	8,00	2,00	5,00	2	7,448	<b>0,024</b>		
		2	9	8,00	4,17	2,83	2	6,058	<b>0,048</b>		
	Seca	3	9	8,00	5,00	2,00	2	7,260	<b>0,027</b>		
		4	9	8,00	2,17	4,83	2	7,245	<b>0,027</b>		
Fosfatos	Lluviosa	1	9	8,00	2,50	2,50	2	6,889	<b>0,032</b>		
		2	9	8,00	4,00	3,00	2	7,000	<b>0,030</b>		
	Seca	3	9	2,00	5,33	7,67	2	6,543	<b>0,038</b>		
		4	9	2,00	5,00	8,00	2	7,322	<b>0,026</b>		

(continuación.)

Muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018; -, cálculo dependiente de un valor no detectado.

**Tabla 20. Comparación de la concentración de los nutrientes de interés, individualmente, en cada uno de los ríos de cada tipo a lo largo del tiempo, mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias estadísticamente significativas a lo largo del tiempo.**

Tipo de río	Río	Parámetro	N	Rangos promedio				gl	Chi-cuadrado	Significación asintótica
				Inicios julio 2018	Finales julio 2018	Octubre 2018	Noviembre 2018			
Vertiente	13	Nitrógeno amoniacal	8	7,50	4,83	2,17	-	2	5,847	0,054
		Nitritos	9	6,50	6,50	2,00	-	2	5,445	0,066
		Sílice	12	9,00	5,67	2,33	9,00	3	8,963	<b>0,030</b>
		Fosfatos	12	11,00	2,00	8,00	5,00	3	10,569	<b>0,014</b>
	48	Nitrógeno amoniacal	5	-	4,50	2,00	-	1	3,158	0,076
		Nitritos	3	2,00	-	-	-	-	-	-
		Sílice	12	2,00	5,00	10,00	9,00	3	10,328	<b>0,016</b>
		Fosfatos	12	3,50	3,50	9,17	9,83	3	9,601	<b>0,022</b>
	39	Nitrógeno amoniacal	4	1,00	3,00	-	-	1	2,000	0,157
		Nitritos	5	1,50	-	4,00	-	1	3,000	0,083
		Sílice	12	2,00	10,67	5,33	8,00	3	9,822	<b>0,020</b>
		Fosfatos	12	11,00	6,00	5,67	3,33	3	8,343	<b>0,039</b>
Mixto	14	Nitrógeno amoniacal	10	3,50	9,00	2,17	6,00	3	8,315	<b>0,040</b>
		Nitritos	11	8,25	5,33	9,17	2,00	3	8,215	<b>0,042</b>
		Sílice	12	4,00	4,67	8,33	9,00	3	4,564	0,207
		Fosfatos	12	11,00	6,00	2,67	6,33	3	8,515	<b>0,036</b>

Mixto	46	Nitrógeno amoniacal	6	3,00	4,00	-	-	1	0,484	0,487
		Nitritos	9	8,00	-	3,50	3,50	2	5,945	0,051
		Sílice	12	5,83	11,00	7,17	2,00	3	9,687	<b>0,021</b>
		Fosfatos	12	5,00	2,00	10,17	8,83	3	9,897	<b>0,019</b>
	40	Nitrógeno amoniacal	4	1,00	-	3,00	-	1	2,000	0,157
		Nitritos	9	-	4,33	2,67	8,00	2	6,214	<b>0,045</b>
		Sílice	12	8,17	5,00	10,83	2,00	3	10,311	<b>0,016</b>
		Fosfatos	12	7,50	7,50	9,00	2,00	3	6,885	0,076
Glaciar	42	Nitrógeno amoniacal	6	-	5,00	-	2,00	1	3,971	<b>0,046</b>
		Nitritos	10	7,00	9,00	4,00	3,00	3	7,123	0,068
		Sílice	12	4,00	3,00	11,00	8,00	3	9,804	<b>0,020</b>
		Fosfatos	12	11,00	3,00	8,00	4,00	3	10,250	<b>0,017</b>
	47	Nitrógeno amoniacal	3	-	2,00	-	-	-	-	-
		Nitritos	12	11,00	8,00	2,00	5,00	3	10,607	<b>0,014</b>
		Sílice	12	5,83	8,50	9,67	2,00	3	8,185	<b>0,042</b>
		Fosfatos	12	4,50	2,50	11,00	8,00	3	10,237	<b>0,017</b>
38	Nitrógeno amoniacal	6	2,50	4,83	1,50	-	2	3,434	0,180	
	Nitritos	11	6,00	8,67	6,17	3,17	3	4,233	0,237	
	Sílice	12	11,00	8,00	2,17	4,83	3	10,274	<b>0,016</b>	
	Fosfatos	12	5,00	2,00	11,00	8,00	3	10,569	<b>0,014</b>	

(continuación.)

-, cálculo dependiente de un valor no detectado.

**Tabla 21. Comparación por pares de la concentración de nutrientes que registraron diferencias significativas a lo largo del tiempo por tipo de río, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de muestreos con diferencias estadísticamente significativas.**

Nutriente	Tipo de río	Río	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Nitrógeno amoniacal	Mixto	14	Muestreo 3 - Muestreo 1	1,333	0,700	1,000
			Muestreo 3 - Muestreo 4	-3,833	0,118	0,706
			Muestreo 3 - Muestreo 2	6,833	0,005	<b>0,032</b>
			Muestreo 1 - Muestreo 4	-2,500	0,470	1,000
			Muestreo 1 - Muestreo 2	-5,500	0,112	0,674
			Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,221	1,000
Nitritos	Mixto	14	Muestreo 4 - Muestreo 2	3,333	0,216	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 1	6,250	0,038	0,229
			Muestreo 4 - Muestreo 3	7,167	0,008	<b>0,047</b>
			Muestreo 2 - Muestreo 1	2,917	0,333	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 3	-3,833	0,155	0,930
			Muestreo 1 - Muestreo 3	-0,917	0,761	1,000
Nitritos	Glaciar	47	Muestreo 3 - Muestreo 2	1,667	0,446	1,000
			Muestreo 3 - Muestreo 4	-5,333	0,015	0,089
			Muestreo 2 - Muestreo 4	-3,667	0,094	0,564
			Muestreo 3 - Muestreo 4	-3,000	0,303	1,000
			Muestreo 3 - Muestreo 2	6,000	0,039	0,236
			Muestreo 3 - Muestreo 1	9,000	0,002	<b>0,012</b>
Nitritos	Glaciar	47	Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,303	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 1	6,000	0,039	0,236
			Muestreo 2 - Muestreo 1	3,000	0,303	1,000

		Muestreo 3 - Muestreo 2	3,333	0,202	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 1	6,667	0,011	0,064
	13	Muestreo 3 - Muestreo 4	-6,667	0,011	0,064
		Muestreo 2 - Muestreo 1	3,333	0,202	1,000
		Muestreo 2 - Muestreo 4	-3,333	0,202	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	0,000	1,000	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-3,000	0,287	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-7,000	0,013	0,078
	48	Muestreo 1 - Muestreo 3	-8,000	0,005	<b>0,027</b>
		Muestreo 2 - Muestreo 4	-4,000	0,156	0,934
		Muestreo 2 - Muestreo 3	-5,000	0,076	0,456
		Muestreo 4 - Muestreo 3	1,000	0,723	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-3,333	0,250	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-6,000	0,038	0,230
	39	Muestreo 1 - Muestreo 2	-8,667	0,003	<b>0,017</b>
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-2,667	0,357	1,000
		Muestreo 3 - Muestreo 2	5,333	0,066	0,394
		Muestreo 4 - Muestreo 2	2,667	0,357	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 2	3,000	0,305	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 1	6,167	0,035	0,209
	40	Muestreo 4 - Muestreo 3	8,833	0,003	<b>0,015</b>
		Muestreo 2 - Muestreo 1	3,167	0,279	1,000
		Muestreo 2 - Muestreo 3	-5,833	0,046	0,276
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-2,667	0,362	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 1	3,833	0,190	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 3	5,167	0,077	0,463
	46	Muestreo 4 - Muestreo 2	9,000	0,002	<b>0,012</b>
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-1,333	0,648	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-5,167	0,077	0,463
		Muestreo 3 - Muestreo 2	3,833	0,190	1,000
		Muestreo 2 - Muestreo 1	1,000	0,730	1,000
		Muestreo 2 - Muestreo 4	-5,000	0,084	0,503
	42	Muestreo 2 - Muestreo 3	-8,000	0,006	<b>0,034</b>
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-4,000	0,167	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-7,000	0,016	0,093
		Muestreo 4 - Muestreo 3	3,000	0,300	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 1	3,833	0,188	1,000
		Muestreo 4 - Muestreo 2	6,500	0,026	0,154
	47	Muestreo 4 - Muestreo 3	7,667	0,008	0,051
		Muestreo 1 - Muestreo 2	-2,667	0,360	1,000
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-3,833	0,188	1,000
		Muestreo 2 - Muestreo 3	-1,167	0,689	1,000

(continuación...)

Sílice	Glaciar	38	Muestreo 3 - Muestreo 4	-2,667	0,363	1,000
			Muestreo 3 - Muestreo 2	5,833	0,046	0,278
			Muestreo 3 - Muestreo 1	8,833	0,003	<b>0,015</b>
			Muestreo 4 - Muestreo 2	3,167	0,280	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 1	6,167	0,035	0,211
			Muestreo 2 - Muestreo 1	3,000	0,306	1,000
Fosfatos	Vertiente	13	Muestreo 2 - Muestreo 4	-3,000	0,304	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 3	-6,000	0,040	0,239
			Muestreo 2 - Muestreo 1	9,000	0,002	<b>0,012</b>
			Muestreo 4 - Muestreo 3	3,000	0,304	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 1	6,000	0,040	0,239
			Muestreo 3 - Muestreo 1	3,000	0,304	1,000
	Vertiente	48	Muestreo 1 - Muestreo 2	0,000	1,000	1,000
			Muestreo 1 - Muestreo 3	-5,667	0,039	0,235
			Muestreo 1 - Muestreo 4	-6,333	0,021	0,127
			Muestreo 2 - Muestreo 3	-5,667	0,039	0,235
			Muestreo 2 - Muestreo 4	-6,333	0,021	0,127
			Muestreo 3 - Muestreo 4	-0,667	0,808	1,000
	Mixto	39	Muestreo 4 - Muestreo 3	2,333	0,394	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 2	2,667	0,330	1,000
			Muestreo 4 - Muestreo 1	7,667	0,005	<b>0,030</b>
			Muestreo 3 - Muestreo 2	0,333	0,903	1,000
			Muestreo 3 - Muestreo 1	5,333	0,051	0,307
			Muestreo 2 - Muestreo 1	5,000	0,068	0,406
Mixto	14	Muestreo 3 - Muestreo 2	3,333	0,246	1,000	
		Muestreo 3 - Muestreo 4	-3,667	0,202	1,000	
		Muestreo 3 - Muestreo 1	8,333	0,004	<b>0,023</b>	
		Muestreo 2 - Muestreo 4	-0,333	0,908	1,000	
		Muestreo 2 - Muestreo 1	5,000	0,082	0,493	
		Muestreo 4 - Muestreo 1	4,667	0,105	0,628	
Mixto	46	Muestreo 2 - Muestreo 1	3,000	0,300	1,000	
		Muestreo 2 - Muestreo 4	-6,833	0,018	0,109	
		Muestreo 2 - Muestreo 3	-8,167	0,005	<b>0,028</b>	
		Muestreo 1 - Muestreo 4	-3,833	0,185	1,000	
		Muestreo 1 - Muestreo 3	-5,167	0,074	0,444	
		Muestreo 4 - Muestreo 3	1,333	0,645	1,000	

(continuación...)

			Muestreo 2 - Muestreo 4	-1,000	0,724	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 3	-5,000	0,077	0,463
		42	Muestreo 2 - Muestreo 1	8,000	0,005	<b>0,028</b>
			Muestreo 4 - Muestreo 3	4,000	0,157	0,944
			Muestreo 4 - Muestreo 1	7,000	0,013	0,080
			Muestreo 3 - Muestreo 1	3,000	0,289	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 1	2,000	0,488	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 4	-5,500	0,056	0,338
		47	Muestreo 2 - Muestreo 3	-8,500	0,003	<b>0,019</b>
			Muestreo 1 - Muestreo 4	-3,500	0,225	1,000
			Muestreo 1 - Muestreo 3	-6,500	0,024	0,145
			Muestreo 4 - Muestreo 3	3,000	0,298	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 1	3,000	0,304	1,000
			Muestreo 2 - Muestreo 4	-6,000	0,040	0,239
		38	Muestreo 2 - Muestreo 3	-9,000	0,002	<b>0,012</b>
			Muestreo 1 - Muestreo 4	-3,000	0,304	1,000
			Muestreo 1 - Muestreo 3	-6,000	0,040	0,239
			Muestreo 4 - Muestreo 3	3,000	0,304	1,000

(continuación.)

Muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

Para el parámetro nitrógeno total, en los ríos de vertiente se registraron valores detectables (superiores a 5 mg/L) únicamente a finales de julio en el río 48 con una concentración de 12,13 mg/L (Tabla 17). En los ríos mixtos, se registró a finales de julio en los ríos 46 y 40 con valores de 9,07 y 10,47 mg/L, respectivamente, sin que existan diferencias significativas entre ellos (Tablas 17 y 19). En los ríos de glaciar el nitrógeno total pudo cuantificarse únicamente en los ríos 42 y 47 a finales de julio, sin presentar diferencias entre ellos (Tablas 17 y 19).

En lo que se refiere a nitratos, los únicos valores detectables (superiores a 5 mg/L) se registraron en el primer muestreo de los ríos mixto 46 y glaciares 47 y 38, con el valor mínimo de 5,40 mg/L detectado en el primero y el máximo de 8,93 mg/L, en el segundo (Tabla 17). Al comparar la concentración de nitratos entre los tres no se observaron diferencias (Tablas 22 y 23).

**Tabla 22. Comparación de la concentración de nitratos a inicios de julio 2018 entre el río mixto 46 y los ríos glaciares 38 y 47 (N=9), mediante la prueba de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan las diferencias significativas.**

Parámetro	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
	Río 46	Río 38	Río 47		
Nitratos	2	5	8	7,200	<b>0,027</b>

**Tabla 23. Comparación por pares de la concentración de nutrientes que detectaron diferencias significativas a lo largo del tiempo, de acuerdo con el tipo de río y a los muestreos sospechosos de aportar la variabilidad, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni.**

Nutriente	Tipo de río	Muestreo	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Nitratos	Mixto (46) Glaciar (38 y 47)	1	Río 46 - Río 38	-3,000	0,180	1,000
			Río 46 - Río 47	-6,000	0,007	0,262
			Río 38 - Río 47	-3,000	0,180	1,000
	Mixto	3	Río 40 - Río 46	-3,000	0,176	0,528
			Río 40 - Río 14	6,000	0,007	<b>0,020</b>
			Río 46 - Río 14	3,000	0,176	0,528
		4	Río 14 - Río 46	-3,000	0,174	0,523
			Río 14 - Río 40	-6,000	0,007	<b>0,020</b>
			Río 46 - Río 40	3,000	0,174	0,523
Nitritos	Glaciar	2	Río 42 - Río 47	-3,333	0,128	0,383
			Río 42 - Río 38	5,667	0,010	<b>0,029</b>
			Río 47 - Río 38	2,333	0,286	0,859
		3	Río 42 - Río 47	-1,000	0,622	1,000
			Río 42 - Río 38	5,000	0,014	<b>0,041</b>
			Río 47 - Río 38	4,000	0,049	0,147
4	Río 42 - Río 47	-3,000	0,178	0,534		
	Río 42 - Río 38	6,000	0,007	<b>0,021</b>		
	Río 47 - Río 38	3,000	0,178	0,534		
Sílice	Vertiente	1	Río 48 - Río 13	3,000	0,172	0,517
			Río 48 - Río 39	6,000	0,006	<b>0,019</b>
			Río 13 - Río 39	-3,000	0,172	0,517
		2	Río 48 - Río 13	3,000	0,169	0,506
			Río 48 - Río 39	6,000	0,006	<b>0,018</b>
			Río 13 - Río 39	-3,000	0,169	0,506

		Río 48 - Río 13	3,000	0,174	0,523
	3	Río 48 - Río 39	6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 13 - Río 39	-3,000	0,174	0,523
		Río 48 - Río 13	3,000	0,163	0,489
	4	Río 48 - Río 39	6,000	0,005	<b>0,016</b>
		Río 13 - Río 39	-3,000	0,163	0,489
		Río 46 - Río 14	3,000	0,178	0,534
	1	Río 46 - Río 40	6,000	0,007	<b>0,021</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,178	0,534
		Río 46 - Río 14	3,000	0,178	0,534
	2	Río 46 - Río 40	6,000	0,007	<b>0,021</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,178	0,534
		Río 46 - Río 14	3,000	0,176	0,528
	3	Río 46 - Río 40	6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,176	0,528
		Río 46 - Río 14	3,000	0,174	0,523
	4	Río 46 - Río 40	6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,174	0,523
		Río 47 - Río 38	3,000	0,172	0,517
	1	Río 47 - Río 42	6,000	0,006	<b>0,019</b>
		Río 38 - Río 42	-3,000	0,172	0,517
		Río 38 - Río 47	-1,333	0,541	1,000
	2	Río 38 - Río 42	-5,167	0,018	0,053
		Río 47 - Río 42	3,833	0,079	0,236
		Río 38 - Río 47	-3,000	0,178	0,534
	3	Río 38 - Río 42	-6,000	0,007	<b>0,021</b>
		Río 47 - Río 42	3,000	0,178	0,534
		Río 47 - Río 38	2,667	0,219	0,657
	4	Río 47 - Río 42	5,833	0,007	<b>0,022</b>
		Río 38 - Río 42	-3,167	0,144	0,433
		Río 48 - Río 13	3,000	0,157	0,472
	1	Río 48 - Río 39	6,000	0,005	<b>0,014</b>
		Río 13 - Río 39	-3,000	0,157	0,472
		Río 13 - Río 48	-1,000	0,622	1,000
	2	Río 13 - Río 39	-5,000	0,014	<b>0,041</b>
		Río 48 - Río 39	4,000	0,049	0,147
		Río 48 - Río 39	3,000	0,176	0,528
	3	Río 48 - Río 13	6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 39 - Río 13	3,000	0,176	0,528

(continuación...)

		Río 46 - Río 14	3,000	0,163	0,489
	1	Río 46 - Río 40	6,000	0,005	<b>0,016</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,163	0,489
		Río 46 - Río 14	3,000	0,163	0,489
Mixto	2	Río 46 - Río 40	6,000	0,005	<b>0,016</b>
		Río 14 - Río 40	-3,000	0,163	0,489
		Río 14 - Río 46	-3,000	0,174	0,523
	3	Río 14 - Río 40	-6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 46 - Río 40	3,000	0,174	0,523
		Río 47 - Río 38	2,000	0,346	1,000
Fosfatos	1	Río 47 - Río 42	5,500	0,010	<b>0,029</b>
		Río 38 - Río 42	-3,500	0,099	0,297
		Río 38 - Río 47	-1,000	0,617	1,000
	2	Río 38 - Río 42	-5,000	0,012	<b>0,037</b>
		Río 47 - Río 42	4,000	0,046	0,137
		Río 42 - Río 47	-3,333	0,134	0,403
	3	Río 42 - Río 38	5,667	0,011	<b>0,033</b>
		Río 47 - Río 38	2,333	0,295	0,884
		Río 42 - Río 47	-3,000	0,176	0,528
	4	Río 42 - Río 38	6,000	0,007	<b>0,020</b>
		Río 47 - Río 38	3,000	0,176	0,528

(continuación.)

Muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

En nitritos, se registraron concentraciones muy variables con valores sobre el límite de detección e indetectables (bajo los 0,005 mg/L). En los ríos de vertiente, variaron entre 0,007 y 0,20 mg/L a lo largo de los muestreos (Tabla 18). Sin embargo, a finales de julio, solo el río 13 presentó valores detectables, mientras que en octubre sólo se registraron nitritos para de los ríos 13 y 39 y, en noviembre, ninguno de los ríos de vertiente presentó una concentración detectable mediante el método empleado. Además, no se reflejaron diferencias entre ríos de vertiente por muestreo (Tabla 19) ni entre ríos individuales a lo largo del tiempo (Tabla 20).

Los nitritos en los ríos mixtos variaron de 0,005 a 0,023 mg/L a lo largo de los cuatro muestreos (Tabla 18). No obstante, sólo durante la temporada seca, todos los ríos registraron valores detectables (superiores a 0,005 mg/L), mientras que el río 40 no obtuvo

concentraciones por encima del nivel de detección a inicios de julio ni el 46 a finales de julio. Se evidenciaron diferencias marcadas entre ríos en octubre y noviembre (Tabla 19) debidas a contrastes entre los ríos entre los ríos 40 y 14 (Tabla 23), que experimentaron cambios aparentes en la concentración de nitritos entre muestreos (Tabla 19). Sin embargo, solo se confirmaron las diferencias para el río 14 entre octubre y noviembre (Tabla 21), con mayor concentración en octubre (Tabla 20).

En los ríos de glaciar, los nitritos registraron una variación de 0,06 a 0,032 mg/L en el tiempo (Tabla 18). Se percibieron diferencias entre los ríos en los muestreos de finales de julio, octubre y noviembre; en los tres muestreos las diferencias se concentraron entre los ríos 42 y 38, con las concentraciones más altas para el río 38 (Tablas 19 y 23). Tras el análisis de cada uno de los ríos de glaciar, a lo largo del tiempo, por separado, se observó que el río 47, presentó diferencias marcadas de la concentración de nitritos entre inicios de julio y octubre (Tablas 20 y 21).

En lo que respecta a sílice, en los ríos de vertiente este nutriente inorgánico varió en concentración desde 41,67 hasta 68,67 mg/L; en los mixtos, desde 20,67 hasta 68,33 mg/L; y en los de glaciar, desde 19,00 hasta 58,67 mg/L a lo largo de los muestreos (Tabla 18). Se encontraron diferencias entre ríos de vertiente, entre ríos mixtos y entre ríos de glaciar (Tabla 19) en todos los muestreos. Estas diferencias se debieron a valores contrastantes entre los ríos de vertiente 48 y 39, en el primer caso; entre los ríos mixtos 46 y 40, en el segundo caso; y, en los glaciares, a diferencias entre los río 47 y 42 a inicios de julio, entre el 38 y 42 en octubre y, entre el 47 y el 42 en noviembre (Tabla 23).

Al analizar los ríos de cada tipo, por separado, a lo largo del tiempo, se halló que entre los ríos de vertiente 48 y 39 existieron diferencias en la concentración de sílice entre los muestreos (Tabla 20), derivadas de contrastes marcados entre inicios de julio y octubre para el río 48, e inicios y fines de julio para el río 39; en el río 48 la mayor concentración se presentó en octubre y en el 39 a finales de julio (Tablas 20 y 21). En los ríos mixtos, se hallaron diferencias en la concentración de sílice en los ríos 46 y 40 (Tabla 20) debidas a valores contrastantes entre finales de julio y noviembre en el río 46, mientras que en el río 40 divergieron entre los meses de octubre y noviembre (Tabla 21); para el río 46 la mayor concentración perteneció a finales de julio y para el 40 a octubre (Tabla 20). En los ríos de glaciar, las fluctuaciones se evidenciaron en los ríos 42 y 38; en el río 42 las divergencias

se detectaron entre finales de julio y octubre y, en el río 38, entre inicios de julio y octubre (Tabla 21); para el río 42 la mayor concentración se presentó en octubre y para el 38 a inicios de julio (Tabla 20).

Para el parámetro fosfatos, en los ríos de vertiente se registró una variación de 0,93 a 4 mg/L a lo largo de los muestreos (Tabla 18). Se detectaron diferencias en la concentración de fosfatos entre los ríos de vertiente por muestreo, debidas a diferencias marcadas entre ambos muestreos del mes de julio y el de octubre (Tabla 19). Esto se debió a valores divergentes a inicios de julio entre los ríos 48 y 39, a finales de julio entre los ríos 13 y 39 y, en octubre entre los ríos 48 y 13 (Tabla 23). Al analizar cada uno de los ríos de vertiente, por separado, se encontraron diferencias temporales en los ríos 13 y 39 (Tabla 20), debidas a divergencias entre los muestreos de julio y, entre inicios de julio y noviembre pero, siendo mayor a inicios de julio (Tabla 21).

Los fosfatos en los ríos mixtos oscilaron entre 0,80 y 4,33 mg /L a lo largo de los muestreos (Tabla 18). Al comparar los ríos mixtos entre sí, por muestreo, se registraron diferencias en los muestreos de julio y octubre (Tabla 19). En julio, las diferencias significativas se debieron a los ríos 46 y 40 y, en octubre, a diferencias entre los ríos 14 y 40 (Tabla 23). Por otra parte, los ríos 14 y 46 presentaron fluctuaciones entre muestreos (Tabla 20), que se evidenciaron por diferencias significativas entre inicios de julio y octubre para el río 14 y, entre finales de julio y octubre para el 46 (Tabla 21). El río 14 presentó mayor concentración de fosfatos a inicios de y el río 46 en octubre (Tabla 20).

Los fosfatos en los ríos de glaciar registraron una variación de 0,87 a 5,20 mg/L a lo largo de los muestreos (Tabla 18). Se encontraron diferencias entre ríos entre muestreos (Tabla 19). A inicios de julio, se debieron a los ríos 47 y 42, a finales de julio a los ríos 38 y 42 y, en octubre y noviembre a los ríos 47 y 42 (Tabla 23). Se encontraron divergencias a lo largo del tiempo en los ríos 42, 47 y 38 (Tabla 20), debidas a diferencias entre los muestreos de julio para el río 42 y entre finales de julio y octubre tanto para el 47 como para el 38 (Tabla 21); el río 42 tuvo mayor concentración a inicios de julio mientras que los ríos 47 y 38 en octubre (Tabla 20).

Al comparar entre los distintos tipos de río (vertiente, mixto y glaciar) en cada uno de los muestreos para cada nutriente, no se encontraron diferencias en las concentraciones

de nitrógeno amoniacal ni de nitrógeno total (Tabla 24). Se observaron divergencias en las concentraciones de nitratos a inicios de julio, pero los valores no fueron detectables en los demás muestreos (Tablas 24 y 25). Las diferencias en nitritos a finales de julio entre los ríos mixtos y de glaciar y, entre los ríos mixtos y de vertiente indicaron que los ríos mixtos fueron los de menor concentración (Tablas 24 y 25). Las diferencias significativas en sílice a finales de julio y en noviembre, se debieron a los ríos de glaciar y vertiente, siendo los ríos de vertiente los de mayor concentración (Tablas 24 y 25). Por último, en fosfatos se encontraron diferencias en los meses de octubre y noviembre entre los ríos de glaciar y vertiente en ambos muestreos y entre los ríos de vertiente y mixtos en el mes de noviembre; en ambos muestreos los ríos de glaciar tuvieron mayor concentración (Tablas 24 y 25).

Adicionalmente, al comparar la concentración de los nutrientes entre las temporadas seca y lluviosa por tipo de río, se hallaron diferencias significativas en nitrógeno amoniacal en los ríos de vertiente y glaciar. En ambos casos, la mayor concentración se presentó en la temporada lluviosa. Para nitrógeno total y nitratos, los valores detectados correspondieron a la temporada lluviosa, mas no se detectaron diferencias significativas (Tablas 17 y 26). Con respecto a sílice, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre temporadas. Para nitritos y fosfatos, únicamente los ríos de glaciar registraron diferencias. Se observó mayor concentración de nitritos durante la temporada lluviosa y de fosfatos en la seca (Tablas 18 y 26).

En cuanto a la comparación entre los ríos de glaciar, mixtos y de vertiente que conforman cada una de las intersecciones muestreadas (Figura 1). En Y1, la intersección formada por los ríos 47 (glaciar), 46 (mixto) y 48 (vertiente), se detectaron diferencias en nitritos y sílice (Tabla 27), debidas a diferencias marcadas entre el río 48 y los ríos 46 y 47 en ambos casos (Tabla 28). Los nitritos tuvieron mayor concentración en el río 47 y mayor sílice en el 48. En Y2, la intersección formada por los ríos 38 (glaciar), 40 (mixto) y 39 (vertiente), las diferencias se registraron en las concentraciones de sílice y fosfatos (Tabla 27). En sílice, se debieron a divergencias entre el río 38 frente al 39 y al 40 y, en fosfatos, entre los ríos 39 y 40 (Tabla 28). La mayor concentración de sílice se detectó en el río 39 y la de fosfatos en el 40. Por último, en Y3, la intersección formada por los ríos 42 (glaciar), 14 (mixto) y 13 (vertiente), no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la concentración de los distintos nutrientes inorgánicos analizados (Tabla 27).

**Tabla 24. Comparación de la concentración de nutrientes entre los tipos de río en cada muestreo, mediante la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes que presentaron diferencias significativas entre tipos de río.**

Temporada	Muestreo	Parámetro	N	Rangos promedio			Chi-cuadrado	gl	Significación asintótica
				V	M	G			
Lluviosa	1	Nitrógeno amoniacal	10	7,33	4,10	6,25	2,363	2	0,307
		Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-
		Nitratos	9	-	2,00	6,50	5,400	1	<b>0,020</b>
		Nitritos	19	7,06	11,10	13,00	4,087	2	0,130
		Sílice	27	17,44	15,61	8,94	5,741	2	0,057
		Fosfatos	27	15,17	15,56	11,28	1,751	2	0,417
		Nitrógeno amoniacal	23	10,75	11,58	13,39	0,693	2	0,707
	2	Nitrógeno total	15	12,67	6,08	7,58	4,429	2	0,109
		Nitratos	-	-	-	-	-	-	-
		Nitritos	18	13,50	3,50	12,17	11,580	2	<b>0,030</b>
		Sílice	27	18,67	15,89	7,44	9,808	2	<b>0,007</b>
		Fosfatos	27	14,50	16,83	10,67	1,989	2	0,224
		Nitrógeno amoniacal	13	8,50	6,00	4,00	1,949	2	0,377
		Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-
3	Nitratos	-	-	-	-	-	-	-	
	Nitritos	24	16,08	10,50	12,11	2,379	2	0,304	
	Sílice	27	16,06	16,44	9,50	4,361	2	0,113	
	Fosfatos	27	7,61	14,33	20,06	11,109	2	<b>0,040</b>	
	Nitrógeno amoniacal	6	-	4,83	2,17	3,333	1	0,068	
	Nitrógeno total	-	-	-	-	-	-	-	
	4	Nitratos	-	-	-	-	-	-	-
Nitritos		6	-	9,11	9,89	0,096	1	0,757	
Sílice		27	17,50	16,44	8,06	7,787	2	<b>0,020</b>	
Fosfatos		27	5,56	18,11	18,33	15,401	2	<b>0,000</b>	

V, vertiente; M; mixto; G, glaciar; muestreo 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018; -, cálculo dependiente de valor no detectado.

**Tabla 25. Comparación por pares de la concentración de nutrientes entre tipos de río (vertiente, glaciar y mixto) a finales de julio, en octubre y en noviembre de 2018, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se muestran los pares de tipo de río con diferencias significativas en el nutriente respectivo.**

Muestreo	Parámetro	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
2	Nitritos	Mixto - Glaciar	-8,667	0,002	<b>0,006</b>
		Mixto - Vertiente	10,000	0,008	<b>0,024</b>
		Glaciar - Vertiente	1,333	0,707	1,000
	Sílice	Glaciar - Mixto	8,444	0,024	0,071
		Glaciar - Vertiente	11,222	0,003	<b>0,008</b>
		Mixto - Vertiente	2,778	0,457	1,000
3	Fosfatos	Vertiente - Mixto	-6,722	0,072	0,216
		Vertiente - Glaciar	-12,444	0,001	<b>0,003</b>
		Mixto - Glaciar	-5,722	0,126	0,377
4	Sílice	Glaciar - Mixto	8,389	0,024	0,071
		Glaciar - Vertiente	9,444	0,011	<b>0,033</b>
		Mixta - Vertiente	1,056	0,776	1,000
	Fosfatos	Vertiente - Mixto	-12,556	0,001	0,002
		Vertiente - Glaciar	-12,778	0,001	0,002
		Mixto - Glaciar	-0,222	0,952	1,000

**Tabla 26. Comparación de la concentración de los nutrientes inorgánicos entre las temporadas seca y lluviosa por tipo de río, mediante la prueba Kruskal-Wallis, con un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias significativas entre las temporadas seca y lluviosa.**

Tipo de río	Parámetro	N	gl	Rangos promedio		Chi-cuadrado	Significación asintótica
				Lluviosa	Seca		
Vertiente	Nitrógeno amoniacal	17	1	10,91	5,50	1,619	<b>0,032</b>
	Nitrógeno total	3	-	2,00	-	-	-
	Nitratos	-	-	-	-	-	-
	Nitritos	17	1	8,41	10,08	0,431	0,512
	Sílice	36	1	17,72	19,28	0,199	0,656
	Fosfatos	36	1	17,83	19,17	0,147	0,702
Mixto	Nitrógeno amoniacal	20	1	11,64	9,11	0,933	0,334
	Nitrógeno total	6	-	3,50	-	-	-
	Nitratos	3	-	2,00	-	-	-

	Nitritos	29	1	17,14	13,69	1,131	0,288
	Sílice	36	1	18,44	18,56	0,001	0,975
	Fosfatos	36	1	16,50	20,50	1,303	0,254
Glaciar	Nitrógeno amoniacal	15	1	9,91	2,75	7,710	<b>0,005</b>
	Nitrógeno total	6	-	3,50	-	-	-
	Nitratos	6	-	3,50	-	-	-
	Nitritos	33	1	22,77	12,19	9,865	<b>0,002</b>
	Sílice	36	1	20,25	16,75	0,998	0,318
	Fosfatos	36	1	11,03	25,97	18,344	<b>0,000</b>

(continuación.)

**Tabla 27. Comparación de la concentración de nutrientes inorgánicos a lo largo del tiempo, entre los ríos glaciares (47, 38 y 42), mixtos (46, 40 y 14) y de vertiente (48, 39 y 13), que conforman cada una de las intersecciones en estudio (N=36), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05. En negrita se señalan los nutrientes con diferencias estadísticamente significativas entre ríos de la intersección respectiva.**

Intersección	Parámetro	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
		Río 47	Río 46	Río 48		
Y1	Nitrógeno amoniacal	17,08	18,63	19,79	0,541	0,763
	Nitritos	27,04	19,79	8,67	19,463	<b>0,000</b>
	Sílice	10,92	14,08	30,5	24,029	<b>0,000</b>
	Fosfatos	19,83	18,82	16,75	0,571	0,752
		<b>Río 38</b>	<b>Río 40</b>	<b>Río 39</b>		
Y2	Nitrógeno amoniacal	21,13	17,13	17,25	1,452	0,484
	Nitritos	23,93	16,92	14,67	5,243	0,073
	Sílice	6,50	22,17	26,83	24,652	<b>0,000</b>
	Fosfatos	16,96	25,08	13,46	7,870	<b>0,020</b>
		<b>Río 42</b>	<b>Río 14</b>	<b>Río 13</b>		
Y3	Nitrógeno amoniacal	15,58	18,63	21,29	1,879	0,391
	Nitritos	16,33	17,29	21,88	1,917	0,384
	Sílice	16,71	20,58	18,21	0,855	0,652
	Fosfatos	22,00	17,67	15,83	2,219	0,330

**Tabla 28. Comparación por pares de la concentración de nutrientes inorgánicos que evidenciaron diferencias significativas entre los ríos de diferente origen de cada intersección estudiada, con un nivel de significación del 0,05 y la aplicación de la corrección de Bonferroni. En negrita se señalan los pares de ríos con diferencias significativas para el nutriente respectivo.**

Intersección	Parámetro	Muestra 1 - Muestra 2	Estadístico de contraste	Significación	Significación ajustada
Y1	Nitritos	Río 48 - Río 46	11,125	0,008	<b>0,024</b>
		Río 48 - Río 47	18,375	0,000	<b>0,000</b>
		Río 46 - Río 47	7,250	0,084	0,252
	Sílice	Río 47 - Río 46	-3,167	0,460	1,000
		Río 47 - Río 48	-19,583	0,000	<b>0,000</b>
		Río 46 - Río 48	-16,417	0,000	<b>0,000</b>
Y2	Sílice	Río 38 - Río 40	-15,667	0,000	<b>0,001</b>
		Río 38 - Río 39	-20,333	0,000	<b>0,000</b>
		Río 40 - Río 39	-4,667	0,277	0,830
	Fosfatos	Río 39 - Río 38	3,500	0,410	1,000
		Río 39 - Río 40	11,625	0,006	<b>0,019</b>
		Río 38 - Río 40	-8,125	0,056	0,168

## 5.2. ANÁLISIS DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y FEOPIGMENTOS

De los nueve ríos muestreados por duplicado durante las temporadas seca y lluviosa, se obtuvo un total de 72 muestras para el análisis de clorofilas *a*, *b* y *c* y feopigmentos, es decir, 18 muestras por río en cada uno de los cuatro muestreos efectuados: inicios y fines de julio de 2018 para la temporada lluviosa y octubre y noviembre de 2018 para la temporada seca. Tras el procesamiento de las muestras, se registraron por duplicado las concentraciones de los distintos pigmentos de cada uno de los ríos en los diferentes muestreos (Tabla 29).

Dentro de la temporada lluviosa, los valores de Cl *a* fluctuaron en un rango promedio de  $0,68 \pm 0,96$  a  $8,84 \pm 0,06$   $\mu\text{g/L}$ . Cl *b* varió entre  $0,94 \pm 1,33$  a  $8,17 \pm 1,13$   $\mu\text{g/L}$ . Cl *c* registró una variación de  $0,44 \pm 0,62$  a  $30,06 \pm 0,77$   $\mu\text{g/L}$ . Los feopigmentos oscilaron entre  $-38,27 \pm 3,78$  y  $36,49 \pm 8,81$   $\mu\text{g/L}$ . Por otra parte, dentro de la temporada seca, la Cl *a* se encontró entre  $3,05 \pm 0,48$  a  $10,45 \pm 1,50$   $\mu\text{g/L}$ , la Cl *b* entre  $3,58 \pm 0,56$  y

$5,83 \pm 0,05 \mu\text{g/L}$ , la Cl *c* entre  $8,08 \pm 2,66$  y  $18,24 \pm 0,99 \mu\text{g/L}$  y los feopigmentos entre  $14,24 \pm 12,59$  y  $46,28 \pm 17,62 \mu\text{g/L}$  (Tabla 29).

Debido a las características de los datos, se presentó la imposibilidad de utilizar un ANOVA de medidas repetidas. Por un lado, no se respetaron los supuestos de dicho ANOVA (homogeneidad y esfericidad). Por otro lado, los grados de libertad resultaron insuficientes y, en caso de considerar los datos de fluctuación de los diferentes parámetros en el tiempo como medidas independientes como para analizarlos a través de una prueba de Kruskal-Wallis, podía incurrirse en errores de interpretación (Marín, 2014). Se consideró a los datos de pigmentos como dependientes, puesto que la concentración de pigmentos hallada en un determinado muestreo dependería de la comunidad planctónica presente en el muestreo anterior, además de verse influenciada por las potenciales variaciones que se hayan presentado en los parámetros fisicoquímicos y en los nutrientes tanto orgánicos como inorgánicos (Cartuche et al., 2019; Rajagopal et al., 2010). Por tanto, se utilizaron directamente los resultados reflejados en la Tabla 29 y en las gráficas correspondientes.

### **5.2.1. Ríos de vertiente**

Entre los ríos de vertiente, el patrón de variación en el tiempo de Cl *a*, *b* y *c* no se mantuvo entre ríos, pero el patrón de los feopigmentos se mantuvo entre los ríos 13 y 48 (Figura 2). Al comparar, estadísticamente, la concentración de los diferentes pigmentos entre los ríos de vertiente por muestreo y entre temporadas no se observaron diferencias significativas (Tablas 30 y 31).

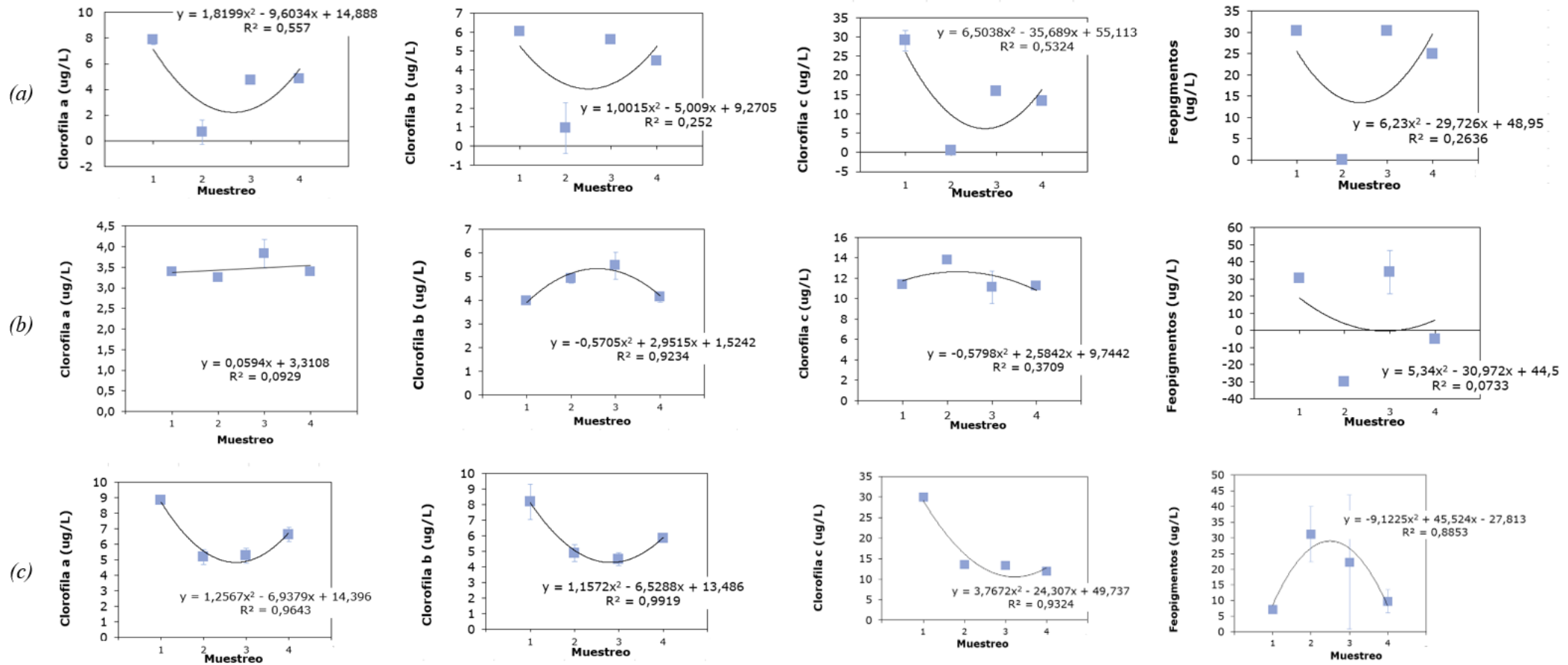
**Tabla 29. Concentración de pigmentos en nueve ríos de la Reserva Ecológica Antisana durante dos muestreos por temporada.**

Temporada	Muestreo	Tipo de río	Río	Cl a		Cl b		Cl c		Feopigmentos		
				$\bar{X}$	Desvest.	$\bar{X}$	Desvest.	$\bar{X}$	Desvest.	$\bar{X}$	Desvest.	
Lluviosa	1	V	13	7,86	0,35	6,03	0,05	29,03	2,66	30,26	0,00	
			48	3,38	0,00	3,98	0,00	11,35	0,00	30,26	0,00	
			39	8,84	0,06	8,17	1,13	30,06	0,77	7,12	0,00	
		M	14	7,87	0,35	6,29	0,41	27,20	0,07	24,92	0,00	
			46	4,35	0,41	4,23	0,77	14,32	0,99	21,36	12,59	
			40	2,42	0,42	2,39	1,54	4,82	0,84	-11,57	8,81	
			42	5,42	0,01	6,52	0,21	13,91	0,84	27,59	3,78	
			G	47	4,06	0,01	5,18	0,15	14,60	1,39	12,46	8,81
				38	4,73	0,00	5,28	0,00	19,56	0,00	-38,27	3,78
	2	V	13	0,68	0,96	0,94	1,33	0,44	0,62	0,00	0,00	
			48	3,24	0,06	4,92	0,20	13,78	0,22	-30,26	0,00	
			39	5,17	0,48	4,88	0,56	13,60	0,40	31,15	8,81	
		M	14	4,83	0,00	4,49	0,00	13,31	0,00	24,92	0,00	
			46	3,29	0,01	5,21	0,21	14,37	0,62	0,00	0,00	
			40	5,57	0,07	5,43	0,20	11,76	0,22	19,58	17,62	
			42	2,75	0,07	3,14	0,36	13,73	1,39	36,49	8,81	
			G	47	4,05	0,00	4,48	0,00	17,29	0,00	0,00	0,00
				38	4,06	0,00	4,78	0,00	13,62	0,00	12,46	0,00

		13	4,74	0,00	5,57	0,00	15,89	0,00	30,26	0,00
	V	48	3,82	0,35	5,47	0,56	8,08	2,66	33,82	12,59
		39	5,27	0,48	4,49	0,41	13,31	0,44	22,25	21,40
		14	4,11	0,07	5,18	0,57	11,48	0,62	-14,24	12,59
	M	46	4,02	0,06	5,47	0,98	13,08	0,77	6,23	8,81
		40	6,24	0,07	5,54	0,77	16,57	1,82	13,35	8,81
		42	4,79	0,07	5,03	0,77	14,60	1,82	18,69	8,81
	G	47	4,40	0,48	5,17	0,56	14,76	1,61	18,69	8,81
		38	10,45	1,50	5,36	0,10	13,11	2,12	46,28	17,62
Seca		13	4,83	0,00	4,49	0,00	13,31	0,00	24,92	0,00
	V	48	3,39	0,01	4,13	0,21	11,20	0,22	-5,34	0,00
		39	6,63	0,47	5,83	0,05	11,92	0,44	9,79	3,78
		14	6,62	0,49	5,54	0,36	18,24	0,99	-1,78	12,59
	M	46	3,05	0,48	3,58	0,56	10,22	1,61	30,26	0,00
		40	5,61	0,00	4,20	0,00	13,01	0,00	0,89	8,81
		42	6,96	0,94	4,89	0,57	12,46	1,21	22,25	3,78
	G	47	3,38	0,00	3,98	0,00	11,35	0,00	6,23	8,81
		38	4,40	0,48	5,17	0,56	14,76	1,61	0,00	0,00

(continuación.)

Cl *a*, Concentración de Clorofila *a*; Cl *b*, Concentración de Clorofila *b*; Cl *c*, Concentración de Clorofila *c*;  $\bar{X}$ , Promedio de dos réplicas; Desvest., Desviación estándar de dos réplicas; V, Vertiente; M, Mixto; G, Glaciar.



**Figura 2. Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos de vertiente.** En cada uno de los gráficos, se muestra la concentración de pigmentos versus los muestreos realizados. (1, inicios de julio 2018; 2, finales de julio 2018; 3, octubre 2018; 4, noviembre 2018). Los cuadrados representan las concentraciones promedio y las barras las desviaciones estándar. (a), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 13; (b), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 48; (c), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 39.

**Tabla 30. Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos, individualmente, en los ríos de diferente procedencia en cada uno de los muestreos (N = 6), mediante la prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Tipo de río	Parámetro	Temporada	Muestreo	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
				13	48	39		
Vertiente	Cl <i>a</i>	Lluviosa	1	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
			2	1,50	3,50	5,50	4,571	0,102
		Seca	3	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
			4	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
	Cl <i>b</i>	Lluviosa	1	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
			2	1,50	4,50	4,50	3,429	0,180
		Seca	3	4,50	4,50	1,50	3,529	0,171
			4	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
	Cl <i>c</i>	Lluviosa	1	4,50	1,50	4,50	3,529	0,171
			2	1,50	5,00	4,00	3,714	0,156
		Seca	3	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
			4	5,50	1,50	3,35	4,706	0,095
	Feopigmentos	Lluviosa	1	4,50	4,50	1,50	5,000	0,082
			2	3,50	1,50	5,50	4,848	0,089
		Seca	3	4,45	4,25	1,75	2,803	0,246
			4	5,50	1,50	3,50	4,848	0,089
				<b>14</b>	<b>46</b>	<b>40</b>		
Mixto	Cl <i>a</i>	Lluviosa	1	5,50	3,50	1,50	4,571	0,102
			2	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
		Seca	3	3,25	1,75	5,50	4,191	0,123
			4	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
	Cl <i>b</i>	Lluviosa	1	5,50	3,50	1,50	4,571	0,102
			2	1,50	4,00	5,00	3,824	0,148
		Seca	3	2,75	3,75	4,00	0,515	0,733
			4	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
	Cl <i>c</i>	Lluviosa	1	5,50	3,50	1,50	4,571	0,102
			2	3,50	5,50	1,50	4,706	0,095
		Seca	3	1,50	3,50	5,50	4,571	0,102
			4	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
	Feopigmentos	Lluviosa	1	4,50	4,50	1,50	3,529	0,171
			2	4,50	1,50	4,50	3,636	0,162
		Seca	3	1,50	4,00	5,00	3,714	0,156
			4	2,25	5,50	2,75	3,712	0,156
				<b>42</b>	<b>47</b>	<b>38</b>		
Glaciar	Cl <i>a</i>	Lluviosa	1	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
			2	1,50	3,50	5,50	4,848	0,089

	Seca	3	3,25	1,75	5,50	4,191	0,123
		4	5,50	1,50	3,50	4,706	0,095
Cl <i>b</i>	Lluviosa	1	5,50	2,00	3,00	4,194	0,123
		2	1,50	3,50	5,50	4,848	0,089
	Seca	3	3,25	3,75	3,50	0,074	0,964
		4	4,00	1,50	5,00	3,824	0,148
Cl <i>c</i>	Lluviosa	1	2,00	3,00	5,50	3,824	0,148
		2	2,50	5,50	3,50	3,636	0,162
	Seca	3	3,75	4,25	2,50	0,956	0,620
		4	3,50	1,50	5,50	4,706	0,095
Feopigmentos	Lluviosa	1	5,50	3,50	1,50	4,706	0,095
		2	5,50	1,50	3,50	4,848	0,089
	Seca	3	2,00	3,00	5,50	4,194	0,123
		4	5,50	3,00	2,00	4,194	0,123

(continuación.)

Cl *a*, Concentración de clorofila *a*; Cl *b*, Concentración de clorofila *b*; Cl *c*: Concentración de clorofila *c*; muestreo: 1, inicios de julio 2018; muestreo 2, finales de julio 2018; muestreo 3, octubre 2018; muestreo 4, noviembre 2018.

**Tabla 31. Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos, individualmente, entre las temporadas seca y lluviosa por tipo de río (N = 24), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con un grado de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Tipo de río	Parámetro	Rangos promedio		Chi-cuadrado	Significación asintótica
		Lluviosa	Seca		
Vertiente	Cl <i>a</i>	11,92	13,08	0,164	0,686
	Cl <i>b</i>	12,50	12,50	0,00	1,000
	Cl <i>c</i>	13,96	11,04	1,026	0,311
	Feopigmentos	12,08	12,92	0,086	0,770
Mixto	Cl <i>a</i>	11,75	13,25	0,271	0,603
	Cl <i>b</i>	12,21	12,79	0,041	0,840
	Cl <i>c</i>	12,83	12,17	0,053	0,817
	Feopigmentos	14,33	10,67	1,633	0,201
Glaciar	Cl <i>a</i>	9,92	15,08	3,241	0,072
	Cl <i>b</i>	11,67	13,33	0,337	0,562
	Cl <i>c</i>	15,17	9,83	3,461	0,063
	Feopigmentos	12,13	12,88	0,071	0,790

Cl *a*, Concentración de clorofila *a*; Cl *b*, Concentración de clorofila *b*; Cl *c*, Concentración de clorofila *c*.

El patrón de variación de la pigmentación en el tiempo fue similar para los cuatro pigmentos analizados en el río 13 (Figura 2). Todos los pigmentos evidenciaron menor concentración a finales de julio de 2018. Las mayores Cl *a*, *b* y *c* se registraron a inicios de julio de 2018, mientras que la concentración de feopigmentos fue mayor a inicios de julio y en octubre de 2018, sin diferencias significativas entre ambos muestreos (Tabla 29).

En el río 48, el patrón de variación de la pigmentación en el tiempo se conservó parcialmente entre clorofila *a* y feopigmentos y entre clorofilas *b* y *c* con diferencias en el muestreo del mes de octubre (Figura 2). La menor Cl *a* y concentración de feopigmentos se percibió a finales de julio, la menor Cl *b* a inicios de julio y noviembre y, la menor Cl *c* en noviembre (Tabla 29). Por otra parte, la mayor Cl *a* se registró en octubre; la mayor Cl *b*, a finales de julio y octubre; la mayor Cl *c*, a finales de julio; y la mayor concentración de feopigmentos a inicios de julio y octubre de 2018 (Tabla 29).

Para el río 39, el patrón de variación de la pigmentación en el tiempo fue parcialmente conservado para Cl *a*, *b* y *c*, salvo por el muestreo de noviembre (Figura 2). Las menores Cl *a*, *b* y *c* se encontraron a finales de julio y octubre y la menor concentración de feopigmentos, a inicios de julio y noviembre (Tabla 29). Por otro lado, los inicios de julio exhibieron mayores Cl *a*, *b* y *c*, mientras que los feopigmentos tuvieron mayor concentración a finales de julio (Tabla 29).

### 5.2.2. Ríos mixtos

Con respecto a los ríos mixtos, las Cl *a* y *c* y la concentración de feopigmentos no presentaron un patrón de variación en el tiempo conservado entre los ríos 14, 40 y 46 (Figura 3). Sólo la Cl *b* mostró un patrón parcialmente conservado entre los ríos 46 y 40. Al comparar la concentración de los diferentes pigmentos entre los ríos mixtos, por muestreo y por temporada, no se detectaron diferencias significativas (Tablas 30 y 31).

En el río 14, el patrón de variación de la pigmentación en el tiempo se conservó parcialmente para las clorofilas *a*, *b* y *c* (Figura 3). Las menores Cl *a* y *c* correspondieron a octubre, la menor concentración de feopigmentos se presentó tanto en octubre como en noviembre; mientras que la menor Cl *b* a finales de julio (Tabla 29). Por otra parte, las

mayores Cl *a*, *b* y *c* se registraron a inicios de julio y la mayor concentración de feopigmentos, a inicios y finales de julio (Tabla 29).

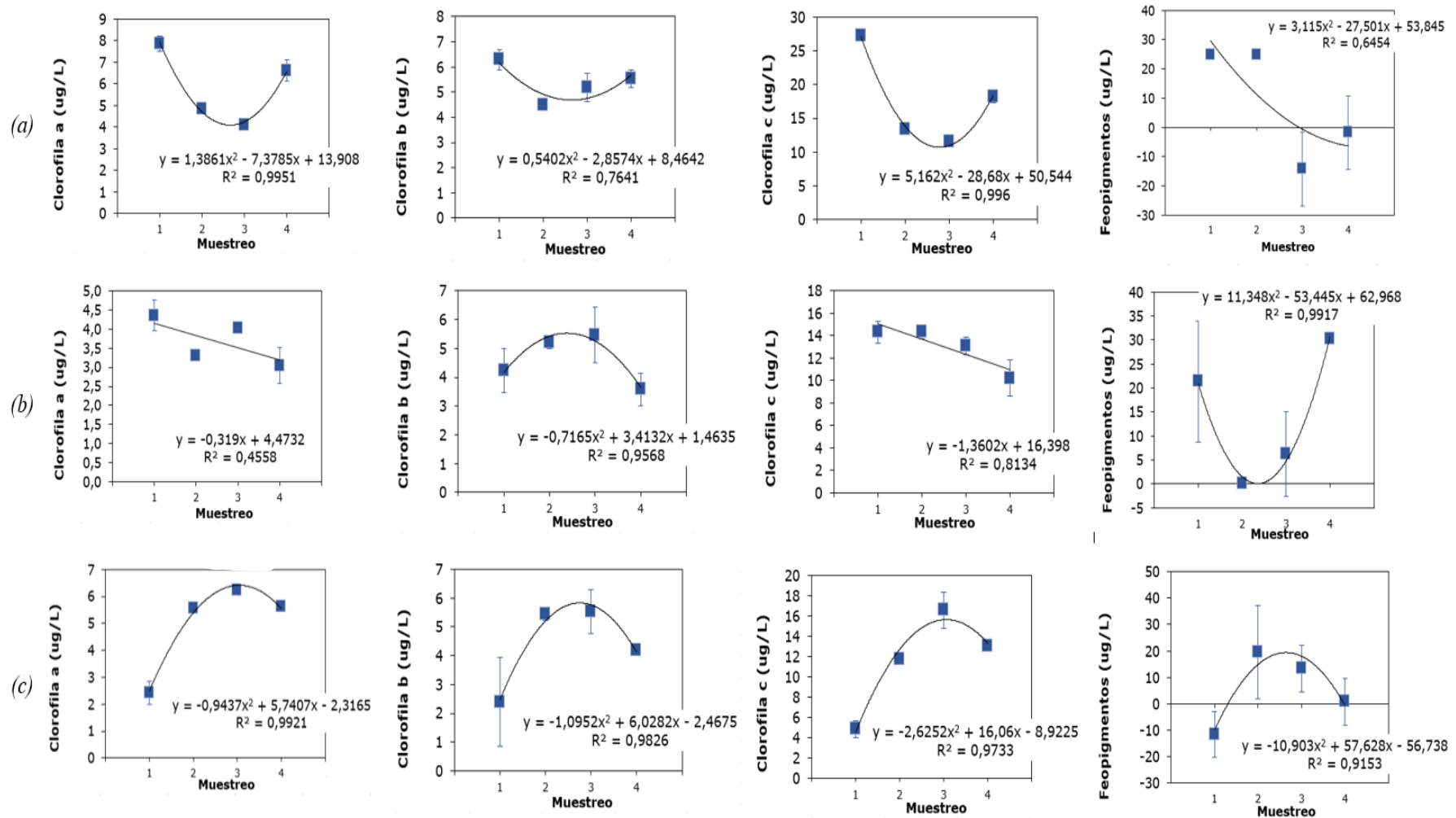
En el río 46, no se encontró ningún patrón destacable entre los pigmentos analizados (Figura 3). Las menores Cl *a* se hallaron a finales de julio y en noviembre; de Cl *b*, a inicios de julio y en noviembre, de Cl *c* en noviembre y de feopigmentos a finales de julio y en octubre. Las mayores Cl *a* (inicios de julio y octubre) y *c* se presentó a inicios de julio, las mayores Cl *b* (inicios y finales de julio y octubre), en el mes de octubre y la mayor concentración de feopigmentos a inicios y finales de julio (Tabla 29).

En el río 40, no se observó ningún patrón destacable entre pigmentos (Figura 3). La menor concentración de todos los pigmentos fue registrada a inicios de julio (Tabla 29). Las mayores Cl *a* y *c* se presentaron en octubre y de Cl *b*, a fines de julio y en octubre y de feopigmentos a finales de julio (Tabla 29).

### 5.2.3. Ríos de glaciación

En cuanto a los ríos de glaciación (Figura 4), el patrón de variación en el tiempo de Cl *a* se mantuvo parcialmente entre los ríos 42 y 38; el de Cl *b*, entre los ríos 38, 47 y 42; y el de Cl *c*, entre los ríos 42 y 47; mientras que no se observó ningún patrón en la concentración de feopigmentos. Además, no se registraron diferencias entre ríos en la concentración de los pigmentos en ninguno de los cuatro muestreos (Tabla 30) ni entre temporadas (Tabla 31).

En el río 42, el patrón de pigmentación se conservó parcialmente entre Cl *a* y *b* y entre Cl *c* y feopigmentos también se conservó de forma parcial (Figura 4). Las menores Cl *a* y *b* se detectaron a finales de julio, para Cl no se evidenciaron diferencias significativas entre muestreos y para feopigmentos en octubre hubo menor concentración (Tabla 29). Por otra parte, la mayor Cl *a* se registró en el mes de noviembre, la de Cl *b*, a inicios de julio y la de feopigmentos a finales de julio (Tabla 29).



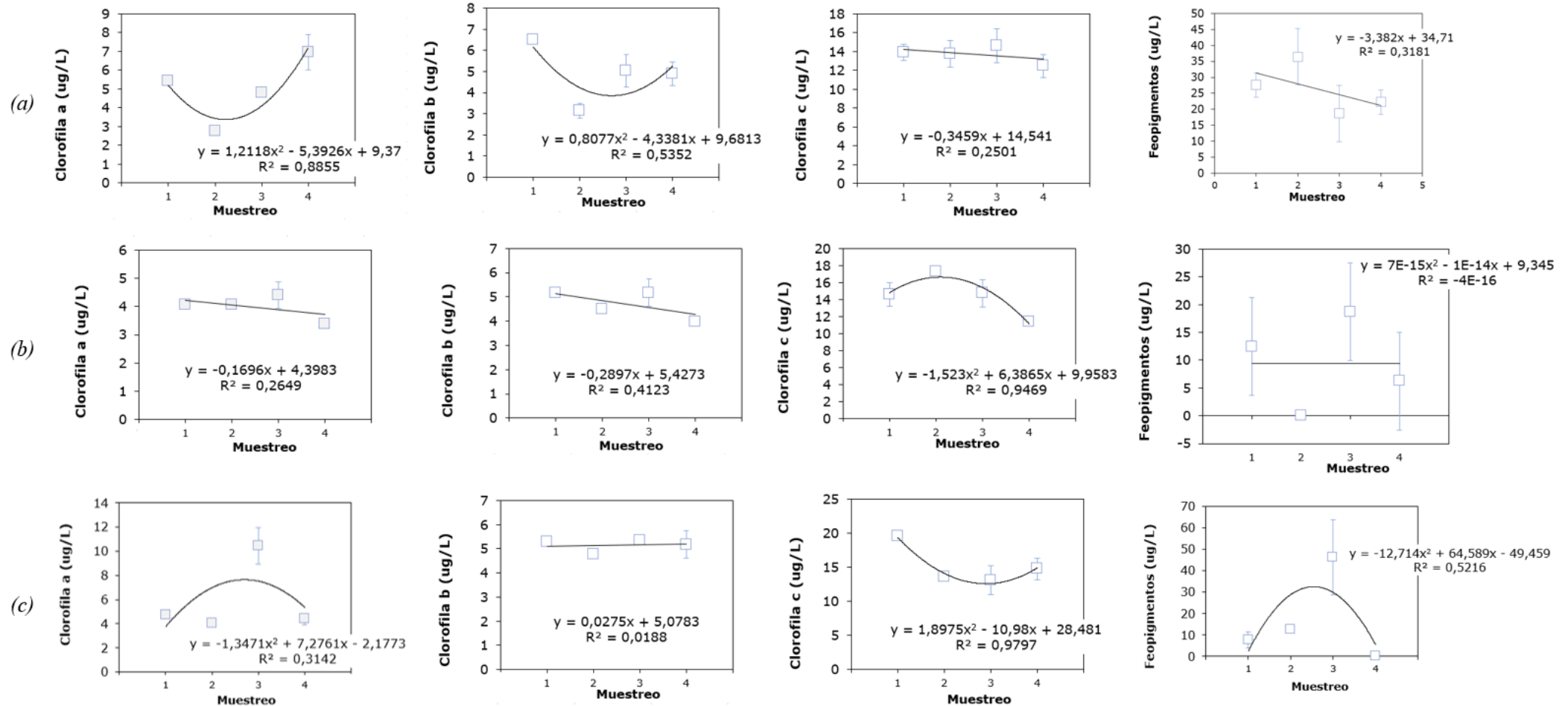
**Figura 3. Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos mixtos.** En cada uno de los gráficos, se muestra la concentración de pigmentos versus los muestreos realizados (1, inicios de julio 2018; 2, finales de julio 2018; 3, octubre 2018; 4 noviembre 2018). Los cuadrados representan las concentraciones promedio y las barras las desviaciones estándar. (a), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 14; (b), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 46; (c), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 40.

En el río 47, el patrón de pigmentación de las clorofilas *a*, *b* y *c* fue parcialmente conservado (Figura 4). Las menores Cl *a*, *b* y *c* correspondieron a noviembre y la menor concentración de feopigmentos, a finales de julio (Tabla 29). Por otro lado, las mayores Cl *a* se encontraron a inicios y finales de julio y octubre, de Cl *b* a inicios de julio y octubre, de Cl *c* a finales de julio y las mayores concentraciones de feopigmentos se registraron a inicios de julio, octubre y noviembre (Tabla 29).

En el río 38, el patrón de pigmentación fue parcialmente conservado entre Cl *b* y *c* (Figura 4). Las menores Cl *a* y *b* fueron registradas a finales de julio y noviembre, las menores Cl *c* a finales de julio, octubre y noviembre y la menor concentración de feopigmentos a inicios de julio, si se toma en cuenta los valores negativos detectados, o noviembre, si recogen los valores nulos (Tabla 29). La mayor Cl *a* se presentó en noviembre; la mayor Cl *b*, a inicios de julio, octubre y noviembre; la mayor Cl *c*, a inicios de julio; y la mayor concentración de feopigmentos, en octubre.

Por otra parte, al comparar a lo largo del tiempo la pigmentación hallada entre los ríos de glaciar, mixtos y de vertiente que conforman cada una las tres intersecciones muestreadas (Figura 1), se encontró que en Y1, Y2 y Y3, las intersecciones formadas por los ríos 47 (glaciar), 46 (mixto) y 48 (vertiente), 38 (glaciar), 40 (mixto) y 39 (vertiente), y, 42 (glaciar), 14 (mixto) y 13 (vertiente), respectivamente, no existieron diferencias significativas para la concentración de los distintos pigmentos (Tabla 32).

Por último, la correlación canónica (CCA) elaborada para corroborar la influencia de los parámetros fisicoquímicos y nutrientes orgánicos e inorgánicos en la concentración de pigmentos fotosintéticos, en función del tipo de río y la temporada de muestreo, indica que ni los parámetros fisicoquímicos medidos (Figuras 5 y 6) ni los nutrientes orgánicos e inorgánicos (Figuras 7 y 8) influyen en la concentración de las clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos.

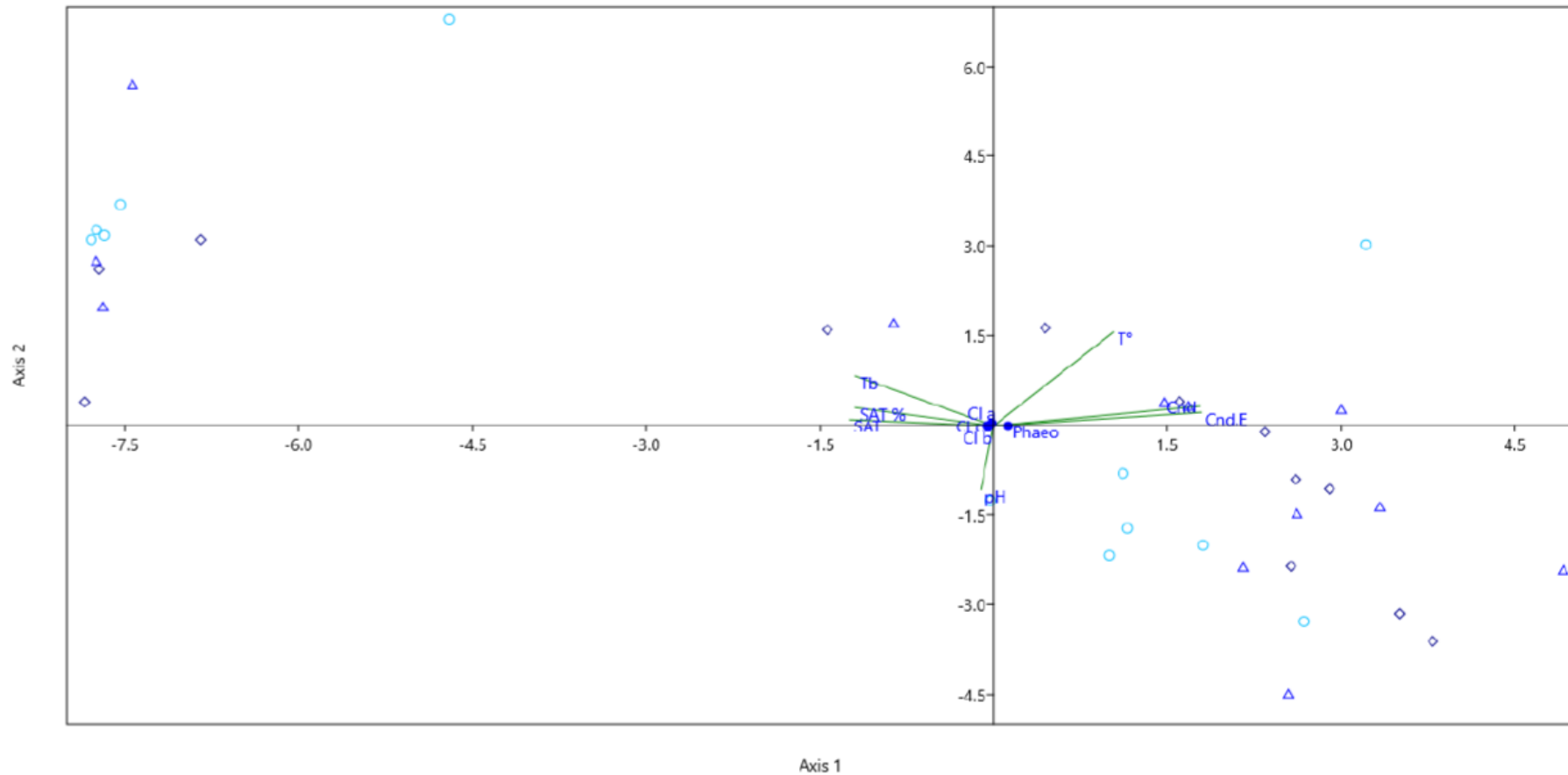


**Figura 4. Gráficos de dispersión de la concentración de pigmentos fotosintéticos y feopigmentos en ríos de glaciar.** En cada uno de los gráficos, se muestra la concentración de pigmentos versus los muestreos realizados (1, inicios de julio 2018; 2, finales de julio 2018; 3, octubre 2018; 4, noviembre 2018). Los cuadrados representan las concentraciones promedio y las barras las desviaciones estándar. (a), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 42; (b), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 47; (c), Concentración de clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos en el río 38.

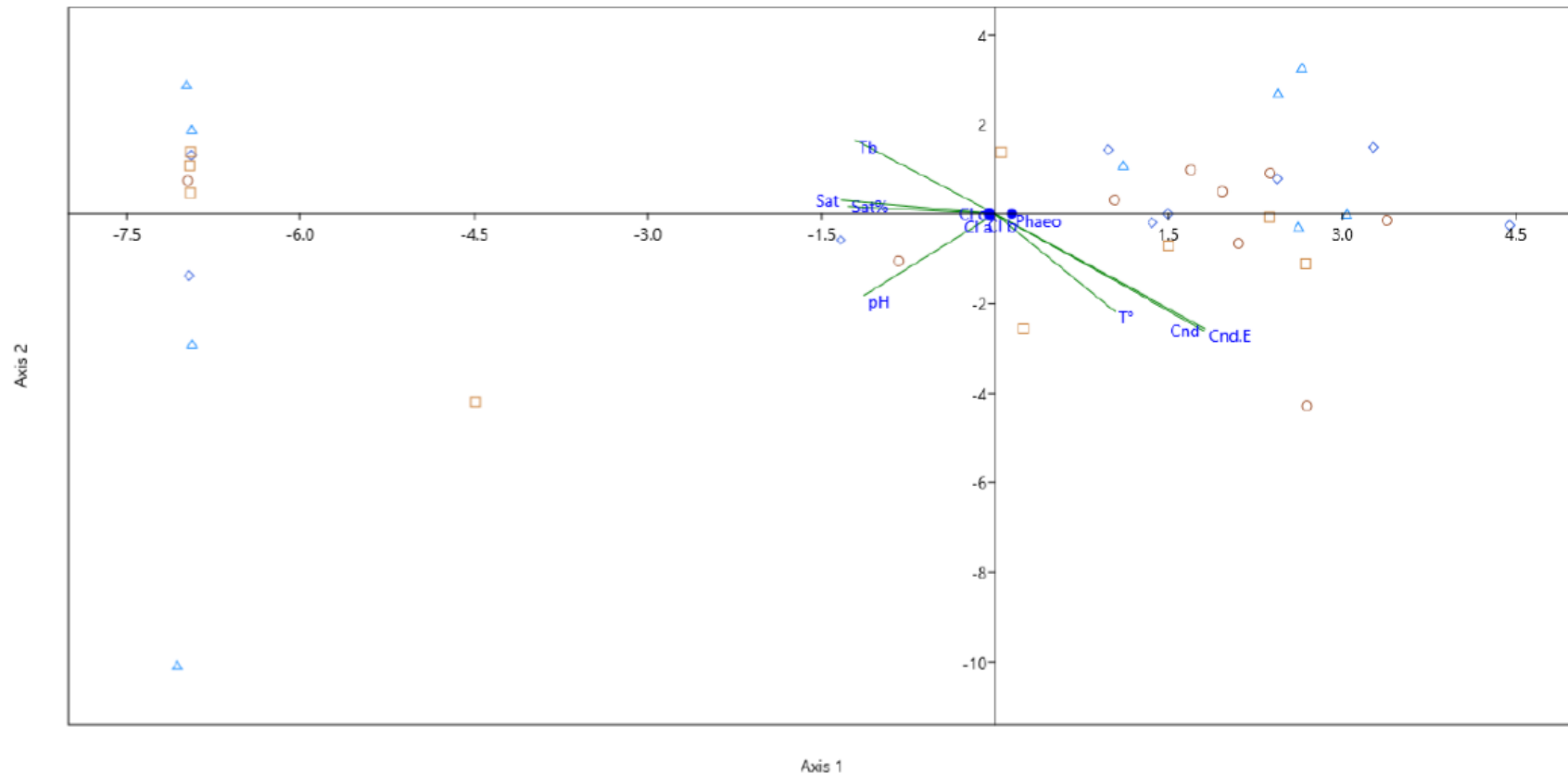
**Tabla 32. Comparación de la concentración de los diferentes pigmentos a lo largo del tiempo entre los ríos de diferente procedencia que conforman las intersecciones analizadas (N=24), glaciares (47, 38 y 42), mixtos (46, 40 y 14) y de vertiente (48, 39 y 13), mediante prueba estadística de Kruskal-Wallis, con dos grados de libertad y un nivel de significación del 0,05.**

Intersección	Parámetro	Rangos promedio			Chi-cuadrado	Significación asintótica
		Río 47	Río 46	Río 48		
Y1	Cl <i>a</i>	16,31	11,50	9,69	3,83	0,15
	Cl <i>b</i>	13,13	12,25	12,13	0,10	0,95
	Cl <i>c</i>	16,38	12,88	8,25	5,45	0,07
	Feopigmentos	11,56	14,19	11,75	0,72	0,70
Y2		<b>Río 38</b>	<b>Río 40</b>	<b>Río 39</b>		
	Cl <i>a</i>	10,00	11,75	15,75	2,79	0,25
	Cl <i>b</i>	12,75	9,81	14,94	2,13	0,34
	Cl <i>c</i>	15,44	8,50	13,56	4,15	0,13
	Feopigmentos	11,25	10,88	15,38	2,02	0,36
Y3		<b>Río 42</b>	<b>Río 14</b>	<b>Río 13</b>		
	Cl <i>a</i>	12,25	14,44	10,81	1,08	0,58
	Cl <i>b</i>	12,00	14,44	11,06	0,99	0,61
	Cl <i>c</i>	10,75	13,94	12,81	0,86	0,65
	Feopigmentos	14,44	8,31	14,75	4,45	0,11

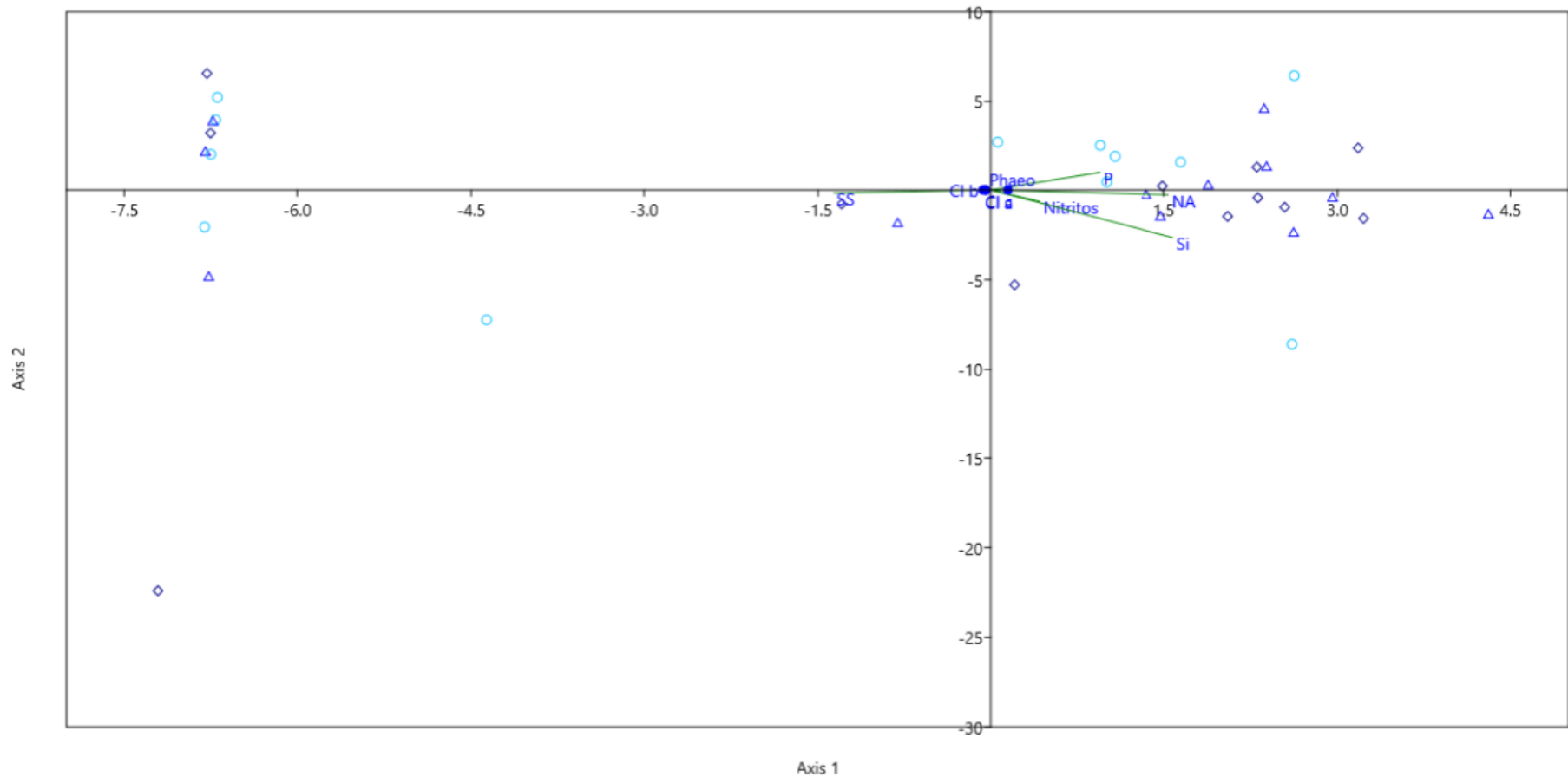
Cl *a*, Concentración de clorofila *a*; Cl *b*, Concentración de clorofila *b*; Cl *c*, Concentración de clorofila *c*.



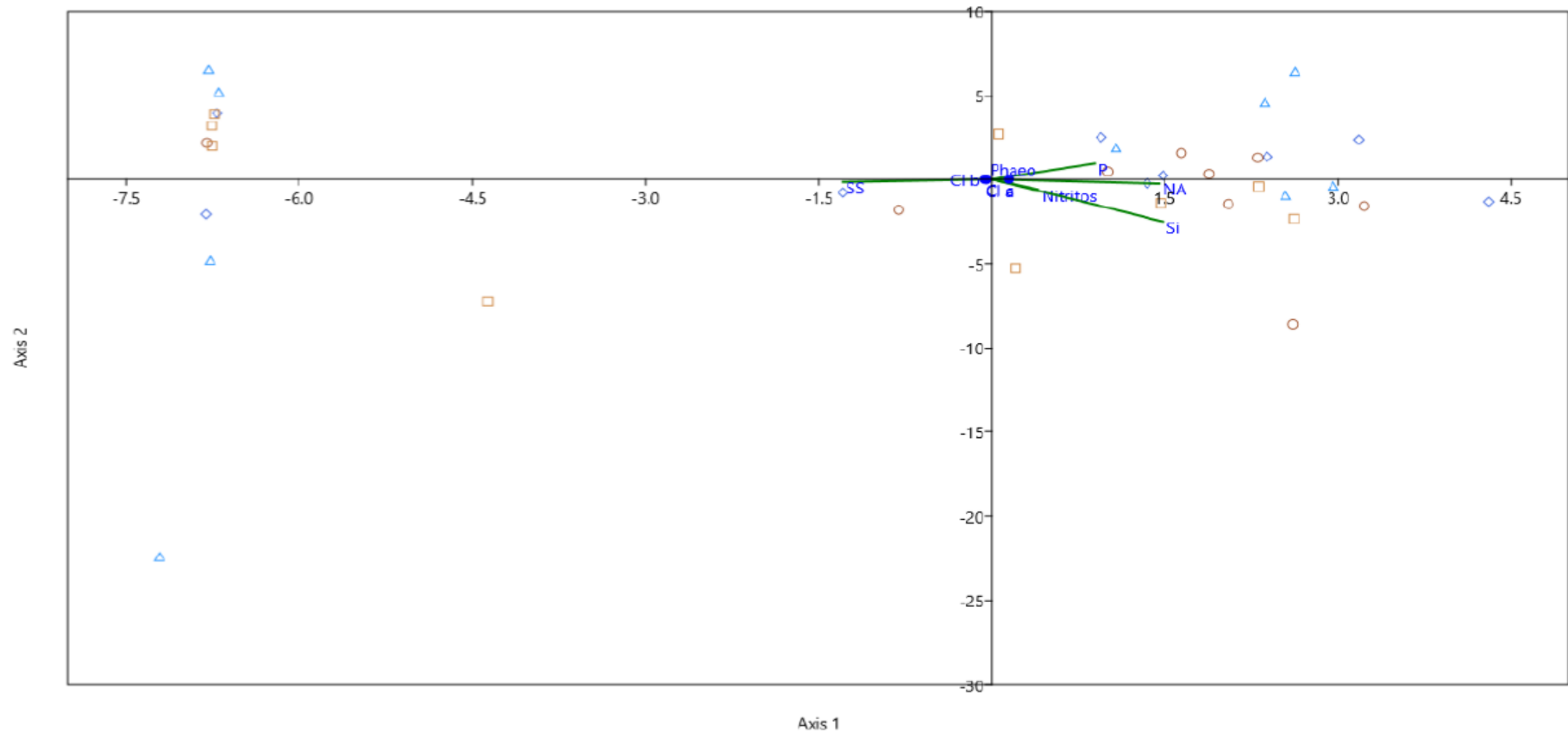
**Figura 5. Correlación canónica de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con el tipo de río.** ♦, Ríos de vertiente; ○, ríos de glaciación, △, ríos mixtos; T°, temperatura; Tb, turbidez; SAT%, concentración de la saturación del agua; SAT, saturación del agua; Cnd, conductividad; CndE, conductividad específica; Cl a, concentración de clorofila a; Cl b, concentración de clorofila b; Cl c, concentración de clorofila c; Phaeo, concentración de feopigmentos.



**Figura 6. Correlación canónica de los parámetros fisicoquímicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con la temporada de muestreo.**  $\diamond$ , río muestreado a inicios de julio;  $\triangle$ , río muestreado a finales de julio;  $\circ$ , río muestreado en el mes de octubre;  $\square$ , río muestreado en el mes de noviembre; T°, temperatura; Tb, turbidez; SAT%, concentración de la saturación del agua; SAT, saturación del agua; Cnd, conductividad; CndE, conductividad específica; Cl a, concentración de clorofila a; Cl b, concentración de clorofila b; Cl c, concentración de clorofila c; Phaeo, concentración de feopigmentos.



**Figura 7. Correlación canónica de los nutrientes orgánicos e inorgánicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con el tipo de río analizado.** ♦, Ríos de vertiente; ○, ríos de glaciación, △, ríos mixtos; SS, concentración de sólidos en suspensión; NA, concentración de nitrógeno amoniacal; Si, concentración de sílice; P, concentración de fosfatos; Nitritos, concentración de nitritos; Cl a, concentración de clorofila a; Cl b, concentración de clorofila b; Cl c, concentración de clorofila c; Phaeo, concentración de feopigmentos.



**Figura 8. Correlación canónica de los nutrientes orgánicos e inorgánicos y la concentración de pigmentos de acuerdo con la temporada de muestreo.**  $\diamond$ , río muestreado a inicios de julio;  $\triangle$ , río muestreado a finales de julio;  $\circ$ , río muestreado en el mes de octubre;  $\square$ , río muestreado en el mes de noviembre; SS, concentración de sólidos en suspensión; NA, concentración de nitrógeno amoniacal; Si, concentración de sílice; P, concentración de fosfatos; Nitritos, concentración de nitritos; Cl a, concentración de clorofila a; Cl b, concentración de clorofila b; Cl c, concentración de clorofila c; Phaeo, concentración de feopigmentos.

## 6. DISCUSIÓN

### 6.1. PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS, FEOPIGMENTOS Y MICROORGANISMOS IMPLICADOS.

Las concentraciones de clorofila *a*, *b*, *c* y feopigmentos no exhibieron diferencias entre tipos de río por muestreo, dentro de tipos de río por temporada ni entre ríos de diverso origen en las intersecciones (Tablas 30 a 32). Sin embargo, los datos tabulados y sus respectivos gráficos de dispersión permitieron evidenciar la existencia de patrones de pigmentación y ciertas fluctuaciones en el tiempo dentro de cada río.

La ausencia de diferencias marcadas en las concentraciones de los pigmentos analizados puede deberse a la escasa variación de los parámetros ambientales. En otros ecosistemas acuáticos como, por ejemplo, en lagunas de páramo (Cartuche et al., 2019), se observa que los fosfatos y la concentración de oxígeno influyen en la cantidad de pigmento producido por el fitoplancton. Sin embargo, de acuerdo con la concentración de oxígeno registrada en el Antisana, la mayor concentración de pigmentos debería encontrarse en los ríos mixtos y, en función de la concentración de fosfatos, en los ríos de glaciar, lo que no se evidenció en este estudio. Por tanto, estos parámetros ambientales no resultaron decisivos para los ecosistemas analizados en el alto Antisana.

Por otra parte, los resultados encontrados concuerdan con los de Barba et al. (2017) quienes puntualizan que en sistemas lénticos de glaciar no existe influencia de las variables ambientales en la producción de pigmentos. Esto concuerda con los hallazgos de este trabajo, resumidos las Figuras 5, 6, 7 y 8. Sin embargo, es muy posible que cambios ambientales drásticos ligados al cambio climático global, principalmente cambios en temperatura y precipitación, conduzcan a alteraciones significativas en la composición del fitoplancton (Lorenzoni et al., 2014; Michelutti et al., 2015; Mutshinda, Troccoli-Ghinaglia, Finkel, Müller-Karger e Irwin, 2013), que puedan llegar a traducirse en cambios en la concentración de pigmentos fotosintéticos, de acuerdo con los taxones fitoplanctónicos que se vean privilegiados.

En cuanto a la metodología empleada para determinar la concentración de los pigmentos en esta investigación, cabe mencionar que distintos estudios previos determinaron que la espectrofotometría es un método que tiende a sobreestimar la concentración de clorofilas, en especial de la clorofila *a*. El estudio de Schagerl y Künz (2007) concluyó, por ejemplo, que la clorofila *a* podía sobreestimarse hasta en 10% al medirse mediante espectrofotometría si se la compara con la cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC). Rivera, Zapata, Pinilla, Chaparro y Jiménez (2005) declaran una sobreestimación del 27% del método espectrofotométrico frente al método fluorométrico y, Dos Santos et al. (2003) encontraron que la sobreestimación alcanza un 33% de la concentración real al emplear el método tricromático, que no acidifica la muestra para cuantificar los pigmentos degradados (Rivera et al., 2005). Por otra parte, Rivera et al. (2005) aducen que la sobreestimación tiende a generar valores negativos para la concentración de feopigmentos, lo explica algunos de los valores registrados en este estudio. También indican que la espectrofotometría permite describir los patrones de pigmentaciones de los ecosistemas, uno de los objetivos principales de este estudio y razón primordial para aplicarla.

Al contrastar los pigmentos encontrados con un análisis taxonómico paralelo (López 2019a), se determinó la presencia de un total de 37 taxones de organismos fitoplanctónicos implicados en la presencia de estos pigmentos en submuestras fijadas en *transeau* (mezcla de formol, etanol y agua destilada) a la vez que se toman las muestras para el análisis de parámetros ambientales y concentración de pigmentos fotosintéticos. De esos 37 taxones de fitoplancton encontrados, 31 estuvieron presentes en los ríos de origen mixto, 30 en los ríos de glaciar y 29 en los de vertiente.

Para las clorofilas *a* y *b*, se encontraron miembros de la división Chlorophyta, específicamente los géneros *Tetraedron* en ríos de glaciar y *Monoraphidium* en ríos de vertiente. Dentro del filo Charophyta, *Netrium* caracterizó a los ríos de glaciar, mientras que *Zygnema*, dos especies de *Spirogyra*, *Mougeotia*, tres especies de *Closterium* y tres de *Cosmarium* estuvieron presentes en todos los ríos analizados, independientemente de su origen. Dentro del filo Cyanobacteria, se hallaron los géneros: *Nostoc* en ríos de vertiente y mixtos, *Calothrix* en ríos de glaciar y, *Anabaena*, *Tolypothrix*, *Nodularia* y *Oscillatoria* en todos los tipos de río (Anexo 1). Salvo, por *Oscillatoria*, los mismos géneros

cianobacterianos fueron encontrados también en los cultivos en medios específicos, con resultados similares en términos a los ya descritos (Anexo 2).

En cuanto a las divisiones que poseen clorofilas *a* y *c*, se destacó el filo Ochrophyta con los géneros *Bacillaria*, *Hantzschia* y *Gomphonema* en los ríos de glaciar y mixtos; *Encyonema* en ríos de vertiente y mixtos; y *Fragilaria* con tres especies, *Navícula* con dos, *Stauroneis*, *Pinularia*, *Rhopalodia*, *Epithemia*, dos especies de *Surirella*, *Ulnaria*, *Diatoma* y *Melosira* en todos los tipos de río (Barsanti y Gualtieri, 2014; López, 2019a) (Anexo 1). Resulta particularmente destacable la diversidad de diatomeas presente, en general, pero sobre todo en los ríos mixtos que albergan a 17 de los 18 taxones de diatomeas encontrados.

Dentro de los microorganismos identificados, se encuentran bioindicadores de la calidad del ecosistema acuático. El filo Charophyta, por ejemplo, es conocido por su abundancia en aguas oligotróficas y su tolerancia al incremento de nutrientes (López, 2019b; McCarthy, Riddick, Volik, Danesh y Krueger, 2018). *Closterium*, que presentó tres especies diferentes, dos de ellas en todos los tipos de río y una solamente en ríos de vertiente, podría actuar como un indicador del estado trófico del agua, si se llega a una identificación a nivel de especie, pues *C. acerosum* se encuentra únicamente en aguas eutróficas (Rajagopal et al., 2010).

Por otra parte, la presencia del filo Ochrophyta en todos los tipos de río denota también la riqueza en nutrientes del ecosistema (López, 2019b) y, al ser tan diversos, los hallazgos en este grupo, efectivamente las diatomeas predominan en ambientes de páramo (Jacobsen y Dangles, 2017). Además, también se reportaron cianobacterias capaces de producir metabolitos secundarios tóxicos, principalmente, *Anabaena* sp. tanto en muestras fijadas como en cultivo, en cinco (dos de glaciar, dos mixtos y uno de vertiente) y siete ríos (tres de glaciar, dos mixtos y dos de vertiente), respectivamente. Por tanto, resulta necesario monitorear su presencia, pues si la carga de nutrientes incrementa por aumento del derretimiento glaciar, por ejemplo, el sistema léntico al que aporten estos ríos con sus aguas podría tender a presentar floraciones algales y contaminar ríos adyacentes (Vivanco, 2016). Esto traería consecuencias para la idoneidad o no de su consumo humano (Organización Mundial de la Salud, 1999; Pérez, Soraci y Tapia, 2008).

## 6.2. DESCRIPCIÓN ABIÓTICA DEL ECOSISTEMA

Los ríos del alto Antisana no evidenciaron características fisicoquímicas significativamente diferentes entre ríos de diversa procedencia, en su conjunto, por muestreo. Sin embargo, al comparar los ríos de glaciar, vertiente y origen mixto involucrados en una misma intersección surgieron diferencias en pH, turbidez, conductividad, conductividad específica y temperatura (Tabla 6).

El pH del agua depende del sustrato presente alrededor del río y del agua lluvia (Mihov y Hristoc, 2011). El hecho de que en los ríos en los que no se hallaran diferencias significativas para los valores de pH, al comparar entre ríos de diferente origen por muestreo y entre tipos de río dentro de las intersecciones evaluadas a lo largo del tiempo, concuerda parcialmente con los resultados reportados por Rivadeneira (2019). En efecto, en el Carihuairazo, un área de estudio similar, el pH de ríos de glaciar y vertiente fue similar. Por otra parte, para los parámetros turbidez, conductividad y temperatura, los resultados son consistentes con los estudios de Jacobsen, Milner, Brown y Dangles (2012) y Jacobsen et al. (2014b), que mencionan que estos parámetros cambian a medida que los ríos pierden la influencia del glaciar: la turbidez disminuye mientras que la conductividad y temperatura aumentan, precisamente lo observado en esta investigación.

Además, en cuanto a la temperatura, se conoce que la mayoría de los organismos acuáticos tienen un pequeño rango de tolerancia a cambios y, que la temperatura del agua puede verse afectada por factores como temperatura del aire, de la tierra y la luz solar (Mihov y Hristoc, 2011). En este contexto, se encuentra una posible explicación a la alta variación de la temperatura en los ríos de glaciar tanto en la temporada seca como en la lluviosa (Tabla 2). Muy difícilmente se mantuvo la hora de muestreo en los diferentes ríos entre muestreos. Esto puede resultar crítico en un ambiente en que el derretimiento glaciar depende en gran medida de la temperatura y esta, a su vez, de la hora del día y de la climatología circundante (Jacobsen et al., 2014b) y estas variables influyen el porcentaje de saturación de oxígeno de las aguas (Goyenola, 2007).

El oxígeno disuelto fue medido en mg/L y en porcentaje de saturación. Esta variable permite determinar la calidad del agua los ríos muestreados, pues en mg/L se indica la masa de oxígeno en cada litro de agua (saturación) y el porcentaje indica la

concentración de la saturación del agua a determinada temperatura, es decir, si el cuerpo de agua está produciendo oxígeno o consumiéndolo (Goyenola, 2007). En este estudio, se encontró mayor concentración de oxígeno disuelto en la temporada seca, principalmente en los ríos de procedencia mixta. Esto que indica que hubo mayor tasa de fotosíntesis en esa época (Mihov y Hristoc, 2011) y en ese tipo de ríos. Por otra parte, la saturación de oxígeno hallada demostró que todos los ríos examinados poseen una concentración de oxígeno idónea y que existe un equilibrio entre la producción y consumo de oxígeno (Goyenola, 2007), un buen indicador de la calidad de agua de los ríos analizados en el alto Antisana, convirtiéndolos en ecosistemas adecuados para el desarrollo de organismos acuáticos, partiendo por los que conforman el fitoplancton.

Si a una adecuada saturación de oxígeno, se añaden concentraciones idóneas de nutrientes orgánicos e inorgánicos, la proliferación de este tipo de microorganismos del fitoplancton resulta favorecida. El contenido de nutrientes orgánicos de las aguas, analizado en forma de concentración de sólidos en suspensión, demostró diferencias marcadas en los ríos de vertiente a lo largo del tiempo y entre tipos de río a inicios de julio, principalmente, en aquellos de procedencia glaciar. Las diferencias entre muestreos dentro de cada río se tradujeron en altas concentraciones en todos los ríos a finales de julio, temporada de fuertes lluvias, lo que resulta congruente con lo expuesto por Allan y Castillo (2007). Estos investigadores indicaron que cambios notorios en el ecosistema acuático pueden presentarse por eventos climáticos abruptos. En efecto, los nutrientes orgánicos en este muestreo se vieron claramente incrementados. Las diferencias entre ríos de diverso origen, en cambio, concuerdan con lo expuesto por Jacobsen et al. (2012, 2014b), quienes señalan que la concentración de sólidos en suspensión tiende a ser mayor en ríos de glaciar que en ríos de otras procedencias: precisamente lo que se observó en esta investigación.

En lo que se refiere al nitrógeno inorgánico (nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos), se encontraron divergencias entre temporadas en los ríos mixtos y de glaciar para nitrógeno amoniacal y en los ríos de glaciar para nitritos. Ambos nutrientes se generan en los procesos de amonificación y nitrificación, respectivamente, sin la intervención de microorganismos fotosintéticos (Barsanti y Gualtieri, 2014). Graham, Graham y Wilcox (2009) afirman que la concentración de nitritos en cuerpos de agua es baja a excepción de aquellos en estado eutrófico, lo que explicaría la baja tasa de detección de concentraciones de nitritos con el método empleado en esta investigación. En este contexto, los ríos

analizados podrían definirse empíricamente como oligotróficos o mesotróficos (Quirós, 2000). Además, diferencias marcadas entre los ríos de vertiente y glaciar fueron palpables: los ríos de vertiente evidenciaron mayor concentración de nitritos en comparación con los ríos de otros orígenes y, dentro de los ríos de glaciar, se registraron más nitritos en la temporada lluviosa.

En ecosistemas oligotróficos o mesotróficos, los nitratos tienden a ser elevados. Sin embargo, cantidades importantes de este nutriente se detectan con mayor frecuencia en aguas contaminadas o eutróficas (Graham, Graham y Wilcox, 2009). No obstante, muchos de los valores no fueron detectables en varios de los ríos examinados en el alto Antisana. Por tanto, en lo que concierne al ciclo del nitrógeno en los ríos analizados, las cianobacterias y las microalgas intervendrían únicamente en los procesos de fijación de nitrógeno y asimilación, respectivamente (Barsanti y Gualtieri, 2014). En este sentido, las diferencias encontradas en cuanto a nitrógeno inorgánico no se deben a los microorganismos en estudio sino a bacterias y arqueas presentes en el ecosistema acuático (Khan Academy, 2016; Madigan, Martinko, Bender, Buckley y Stahl, 2015). Por tanto, el estado actual de estos parámetros apoya el buen estado ecológico del ecosistema. No obstante, si se complementan con el análisis de otros nutrientes como fósforo total, junto con la aplicación de las ecuaciones apropiadas, se podría conocer el estado trófico de cada uno de los ríos monitoreados (López y Madroñero, 2015). En este contexto, taxones fitoplanctónicos específicos podrían aportar también indicios acerca del estado de los ecosistemas acuáticos del Antisana.

Uno de los nutrientes evaluados, directamente relacionado con una de las divisiones del fitoplancton cuyos miembros resultan buenos indicadores biológicos de la calidad de agua de los ecosistemas acuáticos, es la sílice. De hecho, la concentración de este nutriente marcó la diferencia dentro de ríos de la misma procedencia entre muestreos; dentro de cada río a lo largo del tiempo, con mayores concentraciones a finales julio y en octubre; entre tipos de río, destacando los de vertiente a finales de julio y en noviembre; y dentro de las intersecciones muestreadas, siendo mayor en los ríos de vertiente. Estos resultados demuestran no solo la presencia de fitoplancton de la división Ochrophyta, que agrupa a las comúnmente llamadas diatomeas, cuya pared celular está formada por sílice (Barsanti y Gualtieri, 2014), sino que resulta indicador de diferenciación entre los ríos de diferente origen del alto Antisana.

Las diferencias en concentración de sílice podrían expresarse en términos de cantidad y diversidad de diatomeas en los ríos. Esto puede examinarse mediante el estudio taxonómico paralelo (López, 2019a). Se identificó un total de 18 especies diferentes de diatomeas, 17 en ríos mixtos y 15 en ríos de glaciar y vertiente (Anexo 1). Dentro de estos microorganismos, tres taxones demostraron ser específicos para los ríos de glaciar y mixtos, en el caso de *Bacillaria* sp., *Hantzchia* sp. y *Gomphonema* sp. y, de ríos de vertiente y mixtos, para *Encyonema* sp. El resto de los taxones estuvieron presentes en todos los tipos de río. Además, tanto la concentración de sílice como de diatomeas presentes en un ecosistema acuático dependen del movimiento del agua (Graham et al., 2009) y la cantidad de luz que recibe. Pese a que no se conoce mucho respecto a la cantidad de luz en el sitio de estudio y su comportamiento, en general, Cadier et al. (2007) explican que no existen variaciones importantes en términos de radiación solar en el alto Antisana a lo largo de un año.

Otros nutrientes inorgánicos que parecen ser decisivos para los ecosistemas acuáticos del alto Antisana son los fosfatos. La concentración de estos nutrientes, esenciales para el desarrollo del fitoplancton, marcaron la diferencia dentro de ríos a lo largo del tiempo, entre ríos de diferente procedencia por muestreo y dentro de las intersecciones estudiadas y, entre temporadas dentro de ríos de un mismo origen. Los ríos de glaciar durante la temporada seca fueron los que registraron la mayor concentración de fosfatos. Esto concuerda con el estudio de Milner et al. (2017), en el que se concluye que la concentración de fosfatos es mayor en este tipo de ríos y que, conforme decrece la influencia que ejerce el glaciar, menor resulta la concentración de estos nutrientes. Sin embargo, cabe destacar que todos los cuerpos de agua requieren de al menos cantidades pequeñas de fosfatos para permitir el crecimiento del fitoplancton (Graham et al., 2009). No obstante, entre los ríos con mayor diversidad en términos de géneros microalgales y cianobacteriales, se encuentran precisamente los ríos de origen glaciar, pues en ellos se desarrollaron 30 de los 35 taxones identificados en las muestras fijadas (Anexo 1) y cuatro de las cinco especies de cianobacterias que se identificaron mediante el cultivo en medios específicos (Anexo 2).

Existe un aspecto particular que no ha sido considerado con anterioridad y que merece ser discutido para dilucidar algunos de los resultados obtenidos. Se trata de la

ubicación geográfica de una de las intersecciones evaluadas. El estudio se basó en el análisis de nueve ríos, catalogados originalmente como tres de procedencia glaciar, tres de vertiente y tres mixtos. No obstante, al observar la ubicación geográfica de los ríos y el comportamiento de estos en términos de parámetros ambientales, se determinó que el río 42, en lugar de presentar las características de un río de glaciar, en realidad actúa como un río mixto. En efecto, si para clasificar los ríos estudiados se aplicaran los índices de glacialidad de Andino (2014), la procedencia del río 42 sería mixta en lugar de glaciar. Por tanto, resulta probable que algunos de los resultados de los análisis tanto de los parámetros ambientales como de los pigmentos fotosintéticos que incluyeron al río 42 como río glaciar puedan no reflejar la realidad del ecosistema, en vista de la tendencia de comportamiento mixto de este río (Anexo 3).

## 7. CONCLUSIONES

Se concretó una descripción preliminar de los ecosistemas analizados enfocada en el primer eslabón de la cadena trófica de ecosistemas acuáticos del alto Antisana en función de su origen. Sin embargo, se considera prudente analizar la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica y perifítica de los ríos implicados con fines de creación de un sistema de alerta temprana de las consecuencias del cambio climático en este tipo de ecosistemas centinela, específicamente por la presencia de la cianobacteria del género *Anabaena*.

De acuerdo con los parámetros físicoquímicos examinados, ríos analizados en el alto Antisana constituyen ecosistemas adecuados para el desarrollo de organismos acuáticos, partiendo por los que conforman el fitoplancton.

En todos los tipos de río analizados (glaciar, vertiente y mixtos) están presentes las clorofilas *a*, *b*, *c* y feopigmentos y, estos provienen de al menos cuatro filos de microorganismos fotosintéticos: Cyanobacteria, Ochrophyta, Charophyta y Chlorophyta.

La concentración de pigmentos no se vio influenciada por las variables ambientales medidas en esta investigación. Sin embargo, sí se registraron diferencias en términos de diversidad fitoplanctónica en las que, del total de 37 taxones de fitoplancton encontrados, 31 estuvieron presentes en los ríos de origen mixto, 30 en los ríos de glaciar y 29 en los de vertiente.

Las diferencias en términos de pH, turbidez, conductividad, conductividad específica y temperatura se evidenciaron únicamente al comparar los ríos de diverso origen que conformaban cada una de las intersecciones de interés. Se confirmó que a medida que decrece la influencia de glaciar en los ríos, la turbidez disminuye mientras que la conductividad y temperatura aumentan.

En cuanto a nutrientes, se destacan los sólidos en suspensión (nutrientes orgánicos) que exhibieron mayor concentración en ríos de origen glaciar. Para nutrientes inorgánicos,

los parámetros sílice y fosfatos demostraron ser útiles para establecer diferencias entre los ríos de diferente origen.

## **8. RECOMENDACIONES**

Sería importante mantener muestreos periódicos para monitorear las potenciales fluctuaciones de los parámetros fisicoquímicos y de nutrientes orgánicos e inorgánicos para determinar la influencia directa o indirecta del cambio climático en estos ecosistemas centinelas.

El estudio de los pigmentos fotosintéticos es recomendable como un análisis preliminar del estado de los ecosistemas. Sin embargo, se recomienda ampliamente complementarlo con un análisis exhaustivo de las especies no solo del fitoplancton sino del perifiton de estos ambientes, en busca de indicadores biológicos tanto del estado trófico de los ecosistemas como del desarrollo de alertas tempranas de cambios con potencial afectación para la salud humana.

Si bien algunos de los nutrientes inorgánicos no pudieron alcanzar niveles detectables por la calidad misma de los ecosistemas analizados y la metodología analítica utilizada, sería conveniente bajar los niveles de detectabilidad de dichos métodos, tomando en cuenta que pequeños cambios en la disponibilidad de nutrientes son suficientes para que la comunidad fitoplanctónica se altere y con ella, todo el ecosistema, más todavía si se planteara hacer un seguimiento sistemático de la diversidad y abundancia de microalgas y cianobacterias en un contexto de cambio global. Una vez que los nutrientes inorgánicos sean detectados, podría incluirse en el análisis el parámetro fósforo total, para poder aplicar las ecuaciones establecidas para determinar el estado trófico real de cada uno de los ríos analizados. Dentro de los parámetros fisicoquímicos, podría incluirse la turbulencia del agua y radiación solar, puesto que se conoce muy poco acerca de ambos factores en la zona de estudio. Adicionalmente, se recomendaría realizar las medidas de parámetros ambientales *in-situ* al menos por duplicado, para proporcionar validez estadística a su análisis. Por último, debería considerarse mantener el orden de visita a los ríos examinados para facilitar que la hora de muestreo no sea una fuente de variación adicional a considerar.

Finalmente, al notar que el río 42 se encuentra clasificado erróneamente, convendría repetir los análisis efectuados considerándolo como mixto para evaluar si los resultados obtenidos tienen mayor sustento geográfico y la caracterización tanto de los ecosistemas glaciares como de los mixtos puedan reflejar mejor la realidad. Además, para estudios posteriores convendría eliminar la intersección Y3 porque posee dos ríos de origen mixto.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan, J. y Castillo, M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- American Public Health Association. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- American Public Health Association. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd Edition, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.
- Andino, P. (2014). *Effects of glacial influence on trophic function of benthic fauna in tropical high-Andean streams*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Argibas, E., Koca, L., & Aytan, U. (2017). Spatio-temporal pattern of phytoplankton and pigment composition in surface waters of south-eastern Black Sea. *Oceanología*, 59(3), 283-299. doi: 10.1016/J.OCEANO.2017.03.004.
- Barba, B., Mouillet, C., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D. y Christoffersen, K. (2017). Glacial-fed and páramo lake ecosystems in the tropical high Andes. *Hydrobiologia*, 813(1): 19-32. doi: 10.1007/s10750-017-3428-4.
- Barletta, R., Krause, J., Goodie, T., El Sabae, H. (2015). The direct measurement of intracellular pigments in phytoplankton using resonance Raman spectroscopy. *Marine Chemistry*, 176, 164-173. doi: 10.1016/J.MARCHEM.2015.09.005.
- Barsati, L. y Gualtieri, P. (2014). *Algae: Anatomy, Biochemistry and Biotechnology (2a ed.)*. Florida, EE. UU.: CRC Press.

- Cáceres, B., Maishincho, L., Taupin, J., Francou, B., Cadier, E., Delachaux, F., Bucher, R., Villacís, M., Paredes, D., Chazarin, J., Garcés, A. y Laval, R. (2005). *Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo: balance de masa, tipografía, meteorología e hidrología: informe del año 2004*. Recuperado de: [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-12/010050883.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-12/010050883.pdf)
- Cadier, E., Villacís, M., Garcés, A., Lhuissier, P., Maisincho, L., Laval, R., Paredes, D., Cáceres, B. y Francou, B. (2007). Variations of a low latitude Andean glacier according to global and local climate variations: first results. *Glacier Mass Balance Changes and Meltwater Discharge. IAHS Press Publications*, 318, 66-74.
- Camacho, C. (2019). *Análisis de la varianza para medidas repetidas*. Recuperado de: <https://personales.us.es/vararey/adatos2/materiales/anovarepe.pdf>
- Carissimo, M., (2013). *¿El mar, los ríos, los estuarios...Un ecosistema o varios?* Recuperado de: <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL005258.pdf>
- Cartuche, A., Guan, Z., Ibelings, B. y Venail, P. (2019). Phytoplankton Diversity Relates Negatively with Productivity in Tropical High-Altitude Lakes from Southern Ecuador. *Sustainability*, 11(19): 1-13. doi: 10.3390/su11195235.
- Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., Andino, P., Dangles, O., & Jacobsen, D. (2014). Relationships between stream macroinvertebrate communities and new flood-based indices of glacial influence. *Freshwater Biology*, 59(9), 1916-1925. doi: 10.1111/fwb.12395.
- Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D. & Dangles, O. (2015). Invertebrate Metacommunity Structure and Dynamics in an Andean Glacial Stream Network Facing Climate Change. *PLOS ONE*, 10(8), 1-19. doi: 10.1371/journal.pone.0136793.
- Cauvy-Fraunié, S., Andino, P., Espinosa, R., Jacobsen, D. & Dangles, O. (2015). Temporal scaling of high flow effects on benthic fauna: Insights from equatorial glacier-fed streams. *Limnology and Oceanography*, 60(5), 1836-1847. doi: 10.1002/lno.10137.

- Cauvy-Fraunié, S., Andino, P., Espinosa, R., Calvez, R., Jacobsen, D. & Dangles, O. (2016). Ecological responses to experimental glacier-runoff reduction in alpine rivers. *Nature communications*, 7(120), 1-7. doi: 10.1038/ncomms12025.
- Cayuela, L. (2014). Modelos Lineales: Regresión, ANOVA y ANCOVA. Recuperado de: [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig202218/informacion\\_academica/2-Modelos%20lineales.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig202218/informacion_academica/2-Modelos%20lineales.pdf)
- Da Rocha, R. & Giroldo, D. (2014). Limnological characterisation and phytoplankton seasonal variation in a subtropical shallow lake (Guaiba Lake, Brazil): a long-term study. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 26(4), 442-456. doi: 10.1590/S2179-975X2014000400011.
- Damanik, M., Everaert, G., Eurie, M., Tien, T., Lock, K., Musonfe, P., Suhareva, N., Dominguez-Granda, L., Bennetesen, E., Boets, P., & Goethals, P. (2016). Generalized Linear Models to Identify Key Hydromorphological and Chemical Variables Determining the Occurrence of Macroinvertebrates in the Guayas River Basin (Ecuador). *Water*, 8(7), 297-300. doi: 10.3390/w8070297.
- Díaz, S. (2018). Análisis del comportamiento de las frecuencias de valores extremos de temperatura y precipitación en zonas de alta montaña: caso de estudio volcán Antisana. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Dos Santos, A., Calijuri, M., Moraes, E., Adorno, M., Falco, P., Carvalho, D., Deberdt, G. y Benassi, S. (2003). Comparison of three methods for Chlorophyll determination: Spectrophotometry and Fluorimetry in samples containing pigment mixtures and spectrophotometry in samples with separate pigments through High Performance Liquid Chromatography. *Acta Limnológica Brasiliensia*, 15, 7-18.
- Fernández, A. (2010). Modelación del balance de masa del glaciar 15 $\alpha$  del volcán Antisana usando el software WEAP. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Ferrer, N., Cony, N., Fornerón, C. & Piccolo, M. (2012). Caracterización del fitoplancton y estado trófico de la laguna Sauce Grande (Provincia de Buenos Aires, Argentina) en el otoño de

2010. *Biología Acuática*, 27, 129-141. Recuperado de: [http://www.ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/16641/CONICET\\_Digital\\_Nro.19503\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://www.ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/16641/CONICET_Digital_Nro.19503_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y).

Gómez, N., Donato, J., Giorgi, A., Guasch, H., Matero, P. & Sabater, S. (2009). La biota de los ríos: Los microorganismos autótrofos. Elozegi, A. & Sabater, S. (Eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. (219-242). Bibalbo, España: BBVA.

Goyenola, G. (2007). *Oxígeno Disuelto*. Recuperado de: <http://www.epa.gov/owow/monitoring/volunteer/stream/>.

Graham, L., Graham, J. y Wilcox, L. (2009). *Algae (2ª ed.)*. California, EE.UU.: Pearson Education Inc.

Guamán, M. & González, N. (2016). *Catálogo de Microalgas y Cianobacterias de Agua Dulce del Ecuador*. Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/Catlogo-de-Microalgas-y-Cianobacterias-del-Ecuador.pdf>

Huss, M., Bookhagen, B., Huggel, C., Jacobsen, D., Bradley, R., Clague, R., Vuille, M., Buytaert, W., Cayan, D., Greenwood, G., Mark, B., Milner, A., Weingartner, R. & Winder, M. (2017). Toward mountains without permanent snow and ice. *Earth's Future*, 5, 418-435. doi: doi/abs/10.1002/2016EF000514.

Instituto de investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Santa Marta, Colombia.

Jacobsen, D., Milner, A., Brown, L., & Dangles, O. (2012). Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change*, 2012(2), 1-4. doi: 10.1038/NCLIMATE1435.

Jacobsen, D., Cauvy-Fraunié, S., Andino, P., Calvez, R., Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., & Dangles, O. (2014). Temporal variability in discharge and benthic macroinvertebrate assemblages in a tropical glacier-fed stream. *Freshwater Science*, 33(1), 32-45. doi: 10.1086/674745.

- Jacobsen, D., Cauvy-Fraunié, S., Andino, P., Espinosa, R., Cueva, D. & Dangles, O. (2014). Runoff and the longitudinal distribution of macroinvertebrates in a glacier-fed stream: implications for the effects of global warming. *Freshwater Biology*, 59(10), 2038-2050. doi: 10.1111/fwb.12405.
- Jacobsen, D. y Dangles, O. (2017). *Ecology of High-Altitude Waters*. United Kingdom: Oxford University Press.
- Khan Academy. (2016). Ciclos biogeoquímicos-Ciclo del nitrógeno. Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-nitrogen-cycle>
- Kohler, T., Van Horn, D., Darling, J., Takacs, C. & McKnight, D. (2016). Nutrient treatments alter microbial mat colonization in two glacial meltwater streams from the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology*, 92(4). doi: 10.1093/femsec/fiw049.
- Kuwahara, V. & Leong, S. (2015). Spectral fluorometric characterization of phytoplankton types in the tropical coastal waters of Singapore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 446, 1-8. doi: 10.1016/J.JEMBE.2015.01.015.
- Lagaria, A., Mandalakis, M., Mara, P., Frangoulis, C., Karatsolis, B., Pitta, P., Triantaphyllou, M., Tsiola, A., Psarra, S. (2017). Phytoplankton variability and community structure in relation to hydrographic features in the NE Aegean frontal area (NE Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 149, 124-137. doi: 10.1016/J.CSR.2016.07.014.
- Lecomte, K., García, M., Fórmica, S., & Depetris, P. (2011). Hidroquímica de ríos de montaña (sierras de Córdoba, Argentina): elementos mayoritarios disueltos. *Latin American journal of sedimentology and basin analysis*, 18(1), 43-62. Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-49792011000100003](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-49792011000100003).
- López, K (2019). Identificación taxonómica de las especies de microalgas y cianobacterias de los ríos de origen glaciar, de vertiente y mixto del alto Antisana monitoreados durante el proyecto DREAM.

- López, K. (2019). Identificación taxonómica de las especies de cianobacterias y microalgas en el embalse Salve Faccha, perteneciente a la Red de Agua Potable Papallacta, Parque Nacional Cayambe-Coca, Cordillera Real del Ecuador. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- López, M. y Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: Caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42.
- López-Silva, M., Carmentates, D., Valero, L. y López-Fernández, L. (2019). Indicadores de cambio climático en las precipitaciones. *Revista Bases de la Ciencia*, 4(2), 21-34.
- Lorenzoni, L., Toro, G., Varela, R., Guzmán, L., Rojas, J., Montes, E. & Müller, F. (2015). Characterization of phytoplankton variability in the Cariaco Basin using spectral absorption, taxonomic and pigment data. *Remote Sensing of Environment*, 167, 259-268. doi: 10.1016/J.RSE.2015.05.002.
- Luo, Q., Song, Y., Zheng, L., Chen, J., Xu, J., He, S. & Yan, X. (2016). Characterization of Phytoplankton Communities in Response to Macronutrient. *Analytical Letter*, 49(11), 1758-1771. doi: 10.1080/00032719.2015.1122029.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D. y Stahl, D. (2015). *Biología de los microorganismos* (14ª ed.). Madrid, España: Pearson.
- Maisincho, L., Cáceres, B., Manciat, C., Loyo, C., Cuenca, E., Villacís, M., Paredes, D., Garcés, A., Laval, R., Maller, S., Buchner, R., Delachaux, F., Freire, D., Chazarin, J., Francou, B., Cadier, E. y Guamanzara, C. (2007). *Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo: balance de masa, tipografía, meteorología e hidrología: informe del año 2005*. Recuperado de: [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers13-12/010044646.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-12/010044646.pdf).
- Marín, J. (2014). Análisis de varianza con medidas repetidas. Recuperado de: <http://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/GuiaSPSS/16anovar.pdf>

- McCarthy, F., Riddick, N., Volik, O., Danesh, D. y Krueger, A. (2018). Algal palynomorphs as proxies of human impact on freshwater resources in the Great Lakes region. *Anthropocene*, 21, 16-31. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.11.004>
- Mena, S. (2010). Evolución de la dinámica de los escurrimientos en zonas de alta montaña: caso del volcán Antisana. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Michelutti, N., Wolfe, A., Cooke, C., Hobbs, W., Vuilleum M. y Smol, J. (2015). Climate Change Forces New Ecological States in Tropical Andean Lakes. *PlosOne*, 10 (2), 1-10. doi: 10.1371/journal.pone.0115338.
- Mihov, S y Hristov, I. (2011). *River Ecology*. Vienna, Austria: WWF.
- Milner, A., Khamis, K., Battin, T., Brittain, J., Barrand, N., Füreder, L., Cauvy-Fraunié, S., Már Gíslason, G., Jacobsen, D., Hannah, D., Hodson, A., Hood, E., Lencioni, V., Ólafsson, J., Robinson, C., Tranter, M., Brown, L. (2017). Glacier shrinkage driving global changes in downstream systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114 (37): 9770-9778. doi: 10.1073/pnas.1619807114.
- Moorhouse, H., Read, D., McGowan, S., Wagner, M., Roberts, C., Armstrong, L., Nicholls, D., Wickham, H., Hutchins, M. & Bowes, M. J. (2018). Characterisation of a major phytoplankton bloom in the River Thames (UK) using flow cytometry and high-performance liquid chromatography. *Science of the Total Environment*, 624, 366-376. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.128.
- Mutshinda, C., Troccoli-Ghinaglia, L., Finkel, Z., Müller-Karger, F. e Irwin, A. (2013). Environmental control of the dominant phytoplankton in the Cariaco basin: A hierarchical Bayesian approach. *Marine Biology Research*, 9(3), 247-261. doi: 10.1080/17451000.2012.731693
- Organización Mundial de la Salud. (1999). *Cianobacteria, cianotoxinas y salud*. Recuperado de:
- Paparazzo, F., Farias, L., Santinelli, N., Alder, V. y Esteves, J. (2013). Incorporación de nitrato por fitoplancton en dos ambientes marinos diferentes de la provincia de Chubut (42°-46°S,

Argentina). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 591-600. doi: 10.4067/S0718-19572013000300015

Pérez, D., Soraci, A. y Tapia, M. (2008). Cianobacterias y cianotoxinas: rol de las microcistinas en la salud humana y animal y su detección en muestras de agua. *Analecta Veterinaria*, 28(1), 48-56.

Pérez-López, C. (2004). *Técnicas de Análisis Multivariante de Datos*. Madrid, España: Pearson Prentice Hall.

Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina. Recuperado de: <https://ced.agro.uba.ar/ubatic/?q=node/77>

Rajagopal, T., Thangamani, A. y Archunan, G. (2010). Comparison of physico-chemical parameters and phytoplankton species diversity of two perennial ponds in Sattur area, Tamil Nadu. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 787-794.

Ren, Z., Gao, H., & Elser, J. (2017). Longitudinal variation of microbial communities in benthic biofilms and association with hydrological and physicochemical conditions in glacier-fed streams. *Freshwater Science*, 36(3), 479-490. doi: 10.1086/693133

Rivadeneira, G. (2019). Hábitos alimenticios de macroinvertebrados en dos ríos de una cuenca glaciar. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.

Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, J., Chaparro, B. & Jiménez, P. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana* 10 (2), 95-103.

Sánchez-Otero, J. (2016). *Introducción a la estadística en las Ciencias Biológicas*. Quito, Ecuador: Giro Creativo.

Sánchez-Otero, J. (2018). *Introducción al diseño experimental*. Quito, Ecuador: Giro Creativo.


- Schagerl, M. & Künz, G. (2007). Chlorophyll a extraction from freshwater algae- reevaluation. *Biología*, 62(3), 270-275. doi: 10.2478/s11756-007-0048-x.
- Schlüter, L., S. David, G., Jørgensen, N., Podduturi, R., Tucci, A., Dias, A., da Silva, R. (2018). Characterization of phytoplankton by pigment analysis and the detection of toxic cyanobacteria in reservoirs with aquaculture production. *AQUACULTURE ENVIRONMENT INTERACTIONS Aquacult Environ Interact*, 10, 35-48. doi :10.3354/aei00256.
- Servicio de Acreditación Ecuatoriano (2016). Alcance de acreditación : Laboratorio Centro de Servicios Ambientales y Químicos CESAQ-PUCE. Recuperado de : [https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2016/10/CESAQ-PUCE-v2-aa-\\_o-\\_21julio2016.pdf](https://www.acreditacion.gob.ec/wp-content/uploads/2016/10/CESAQ-PUCE-v2-aa-_o-_21julio2016.pdf)
- Strickland, J. & Parsons, T. (1972). *A practical Handbook of Seawater Analysis*. (2a ed.). Ottawa, Canadá: Alger Press Ltd.
- Su, R., Chen, X., Wu, Z., Yao, P. Shi, X. (2015). Assessment of phytoplankton class abundance using fluorescence excitation-emission matrix by parallel factor analysis and nonnegative least squares. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33(4), 878-889. doi: 10.1007/s00343-015-4179-6.
- Valdivia. G. (2008). *Enfoque descriptivo y experimental en epidemiología*. Recuperado de: <http://www.smschile.cl/documentos/cursos2008/medicinainternaavanzada/EI%20internista%20en%20la%20practica%20clinica%20habitual%20problemas%20y%20soluciones%20eI%20enfoque%20descriptivo.pdf>.
- Van Colen, W., Mosquera, P., Vanderstukken, M., Goiris, K., Carrasco, M., Decaestecker, E., Alonso, M., León-Tamáriz, F. y Muylaert, K. (2016). Limnology and trophic status of glacial lakes in the tropical Andes (Cajas National Park, Ecuador). *Freshwater Biology*, 62(3), 458-473. doi: 10.1111/fwb.12878.

Vivanco, E. (2016). Marea Roja. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Recuperado de:  
[https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA  
&prmID=14444](https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=14444)

Wang, L., Ou, L., Huang, K., Chai, C., Wang, Z., Wang, X. & Jiang, T. (2017). Determination of the spatial and temporal variability of phytoplankton community structure in Daya Bay via HPLC- CHEMTAX pigment analysis. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*. doi: 10.1007/s00343-018-7103-z.

## ANEXOS

**Anexo 1. Microorganismos identificados en muestras fijadas en *transeau* en función de la fecha de los muestreos efectuados.**

PYLLUM	ESPECIE	TIPO DE RÍO	RÍO	MUESTREO	IMAGEN
Ochromytha	<i>Bacillaria</i> sp.	Glaciar	38	16/10/2018	
		Glaciar	47	16/10/2016	
		Mixto	46	16/10/2018	
	<i>Hantzschia</i> sp.	Glaciar	38	31/07/2018- 15/11/2018	
		Glaciar	42	31/07/2018- 16/10/2018	
		Mixto	14	31/07/2018 16/10/2019 15/11/2018	
		Mixto	46	15/11/2018 15/11/2018	
	<i>Fragilaria</i> sp.	Glaciar	38	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Glaciar	47	15/11/2018	
		Vertiente	13	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Mixto	14	16/10/2018 15/11/2018	
	Mixto	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		

*Fragilaria* sp.  
1 var

Glaciar	42	15/11/2018
Vertiente	13	15/11/2018
Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	40	16/10/2018 15/11/2018



*Fragilaria* sp.  
2 var

Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018
Vertiente	39	31/07/2018 15/11/2019
Mixto	14	31/7/2018
Mixto	40	31/7/2018



*Navícula* sp. 1

Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Glaciar	47	31/07/2018 15/11/2018
Glaciar	38	16/10/2018
Vertiente	13	15/11/2018
Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	46	16/10/2018 15/11/2018
Mixto	40	16/10/2018

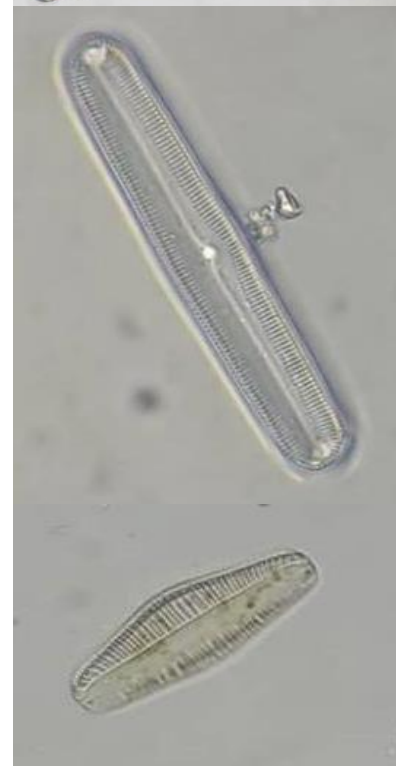


*Navícula* sp. 2

Vertiente	39	31/7/2018
-----------	----	-----------

(continuación...)

<i>Stauroneis</i> sp.	Glaciar	42	16/10/2018
	Vertiente	39	31/7/2018
	Mixto	14	31/7/2018
	Mixto	40	31/7/2018
	Mixto	40	16/10/2018
	Vertiente	13	15/11/2018
	Vertiente	39	16/10/2018 15/11/2018
<i>Pinnularia</i> sp.	Glaciar	39	31/7/2018
	Vertiente	39	31/07/2019 16/10/2018
	Vertiente	48	16/10/2018
	Mixto	40	31/07/2019 15/11/2018
	Mixto	46	31/7/2019
	Mixto	14	31/07/2019 16/10/2018
	Glaciar	38	16/10/2018
<i>Rhopalodia</i> sp.	Glaciar	42	16/10/2018
	Glaciar	47	15/11/2018
	Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
	Vertiente	39	16/10/2018
	Vertiente	48	31/7/2018
	Mixto	14	31/07/2018 16/10/2018
	Mixta	40	15/11/2018
<i>Epithemia</i> sp.	Mixto	46	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
	Vertiente	39	16/10/2018 15/11/2018
	Vertiente	48	31/7/2018
	Mixta	40	15/11/2018
	Vertiente	48	31/7/2018
Vertiente	39	31/7/2018	



(continuación...)

*Gomphonema* sp.

Glaciar 38 16/10/2018

Glaciar 47 31/07/2018  
16/10/2018Glaciar 42 31/07/2018  
16/10/2018

Mixto 46 31/7/2018

*Encyonema* sp.Vertiente 39 31/07/2018  
16/10/2018

Vertiente 48 31/7/2018

Mixto 14 31/7/2018

Mixto 40 31/7/2018

Mixta 46 31/07/2018  
15/11/2018*Surirella* sp. 1Glaciar 38 31/07/2018  
16/10/2018

Glaciar 42 31/7/2018

Vertiente 13 31/07/2018  
16/10/2018  
15/11/2018

Vertiente 39 16/10/2018

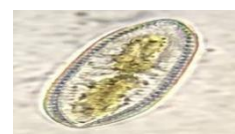
Vertiente 48 16/10/2018

Mixto 14 16/10/2018

Mixto 40 16/10/2018  
15/11/2018*Surirella* sp. 2Glaciar 42 31/07/2018  
16/10/2018  
15/11/2018

Vertiente 39 16/10/2018

Vertiente 48 16/10/2018

Mixto 14 31/07/2018  
15/11/2018

(continuación...)

*Ulnaria* sp.

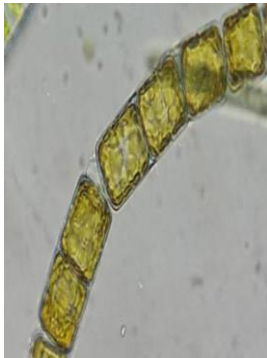

Glaciar	38	31/07/2018 15/11/2018
Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Glaciar	47	15/11/2018
Mixta	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	13	31/07/2018 16/10/2018
Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018

*Diatoma* sp.

Mixto	46	15/11/2018
Glaciar	38	16/10/2018
Vertiente	13	16/10/2018
Vertiente	39	16/10/2018
Mixto	46	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	16/10/2018
Mixto	40	15/11/2018



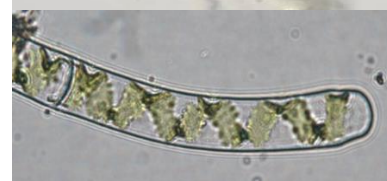
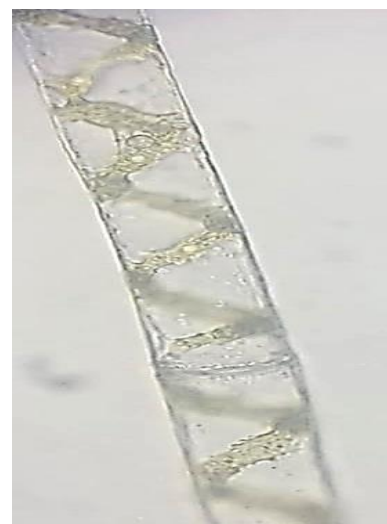
(continuación...)

<i>Melosira</i> sp.	Glaciar	38	15/11/2018		
	Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Glaciar	47	31/07/2018 16/10/2018		
	Vertiente	13	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Mixto	14	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Mixto	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Mixto	46	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
	Vertiente	39	16/10/2018		
Charophyta	<i>Zygnema</i> sp.	Glaciar	42	16/10/2018	
		Vertiente	13	15/11/2018	
		Vertiente	48	16/10/2018 15/11/2018	
		Mixto	46	31/7/2018	

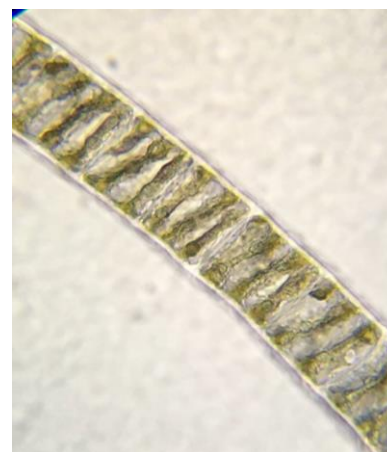
(continuación...)

*Spirogyra* sp. 1

Glaciar	38	16/10/2018 15/11/2018
Glaciar	42	16/10/2018
Glaciar	47	31/07/2018 16/10/2018
Vertiente	13	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018
Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	46	16/10/2018 15/11/2018

*Spirogyra* sp. 2

Glaciar	38	31/7/2018
Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018
Vertiente	39	31/07/2018 15/11/2018
Mixto	14	31/07/2018 15/11/2018
Mixto	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018



(continuación...)

*Mougeotia* sp.

Glaciar	38	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018
Glaciar	47	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	13	16/10/2018
Vertiente	39	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	48	16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	31/7/2018
Mixto	40	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	46	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018

*Netrium* sp.

Glaciar	38	16/10/2018
---------	----	------------

*Closterium* sp. 1

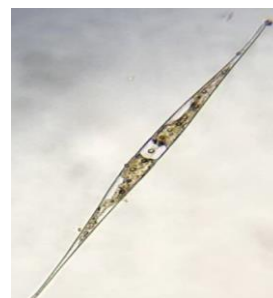
Glaciar	42	31/7/2018
Glaciar	47	31/07/2018 15/11/2018
Vertiente	39	31/7/2018
Mixto	40	15/11/2018
Mixto	46	31/07/2018 16/10/2018



(continuación...)

*Closterium* sp. 2

Vertiente	48	31/7/2018
-----------	----	-----------

*Closterium* sp. 3

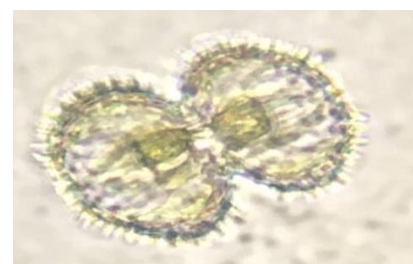
Glaciar	38	16/10/2018
Vertiente	48	16/10/2018
Mixto	46	15/11/2016

*Cosmarium* sp. 1

Glaciar	38	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	13	16/10/2018
Vertiente	39	15/11/2018
Mixto	46	16/10/2018

*Cosmarium* sp. 2

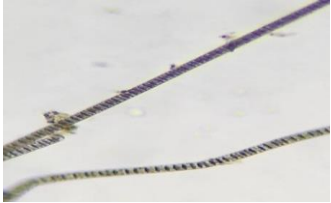



Glaciar	38	16/10/2018 15/11/2018
Mixto	46	31/7/2018

*Cosmarium* sp. 3





Mixto	46	15/11/2018
-------	----	------------



(continuación...)


Cyanobacteria	Species	Environment	Number	Date	Image
Cyanobacteria	<i>Oscillatoria</i> sp.	Glaciar	38	31/7/2018	
		Glaciar	47	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Vertiente	13	15/11/2018	
		Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	
		Mixto	14	15/11/2018	
		Mixto	46	16/10/2018 15/11/2018	
	<i>Nostoc</i> sp.	Vertiente	48	31/07/2018 15/11/2018	
		Mixta	46	15/11/2018	
	<i>Anabaena</i> sp.	Glaciar	38	31/7/2018	
		Glaciar	47	15/11/2018	
Vertiente		48	15/11/2018		
Mixto		14	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018		
Mixto		46	15/11/2018		
<i>Tolypothrix</i> sp.	Glaciar	38	16/10/2018		
	Glaciar	47	31/7/2018		
	Vertiente	39	16/10/2018		
	Vertiente	48	16/10/2018 15/11/2018		
	Mixto	46	31/07/2018 15/11/2018		

(continuación...)

	<i>Nodularia</i> sp.	Glaciar	42	16/10/2018	
		Vertiente	48	16/10/2018 15/11/2018	
		Mixto	46	31/7/2018	
Chlorophyta	<i>Tetraedron</i> sp.	Glaciar	38	31/07/2018 15/11/2018	
	<i>Monoraphidium</i> sp.	Vertiente	48	15/11/2018	 

Fuente: López (2019a).

**Anexo 2. Microorganismos cultivados a partir de muestras de agua de ríos de la Reserva Ecológica Antisana.**

PHYLLUM	ESPECIE	TIPO DE RÍO	RÍO	MUESTREO	IMAGEN
Cyanobacteria	<i>Nostoc</i> sp.	Glaciar	38	06/07/2018	
				31/07/2018	
				16/10/2018	
		Glaciar	42	06/07/2018	
				31/07/2018	
				16/10/2018	
		Glaciar	47	15/11/2018	
				31/07/2018	
				16/10/2018	
		Vertiente	13	15/11/2018	
				31/07/2018	
				06/07/2018	
Vertiente	39	16/10/2018			
		16/10/2018			
		15/11/2018			
Vertiente	48	16/10/2018			
		16/10/2018			
		15/11/2018			
Mixto	14	15/11/2018			
		16/10/2018			
		15/11/2018			
Mixto	40	15/11/2018			
		06/07/2018			
		31/07/2018			
Mixto	46	31/07/2018			
		15/11/2018			

*Anabaena* sp.

Glaciar	38	06/07/2018 31/07/2018 15/11/2018
Glaciar	42	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Glaciar	47	15/11/2018
Vertiente	39	06/07/2018 31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Vertiente	48	06/07/2018 31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	40	06/07/2018 31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018
Mixto	14	06/07/2018 31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018



(continuación...)

*Tolypothrix* sp.

Vertiente

48

16/10/2018



*Calothrix* sp.


Glaciar

38

15/11/2018



(continuación...)

<i>Nodularia</i> sp.	Glaciar	42	16/10/2018	
	Glaciar	38	31/07/2018 16/10/2018	
	Vertiente	48	31/07/2018 16/10/2018 15/11/2018	

Fuente: López (2019a).

**Anexo 3. Índices glaciares de ríos estudiados.**

<b>Río</b>	<b>Nomenclatura ríos Andino (2014)</b>	<b>Índice glaciar</b>
13	S3	0,1598
48	D1	0,1616
39	S2	0,1740
<b>42</b>	<b>GSD1</b>	<b>0,2551</b>
14	GSDS1	0,2678
46	GD1	0,2769
40	GS1	0,2868
47	G1	0,2968
38	G2	0,3282

Fuente: Andino (2014).