

# Selección de Rasgos Funcionales de las comunidades de macroinvertebrados para su uso como variables indicadoras de calidad en dos ríos de la sabana de Bogotá

Michael Sebastián Velandia Garavito

26/05/2021

## Introducción

Las condiciones ambientales de una gran cantidad de ríos en las áreas tropicales se ha ido deteriorando a raíz del rápido crecimiento de las poblaciones humanas, los cambios en el uso del suelo, el desarrollo agrícola e industrial, y las actividades extractivas (Dudgeon, 2017). Desde los años 90 se ha venido implementando el monitoreo con índices que integran las variables fisicoquímicas para la medición de la calidad de las aguas de los ríos y su integridad, y más recientemente, se han incorporado los índices bióticos que utilizan una variedad de grupos taxonómicos, entre ellos, los macroinvertebrados (Pinilla, 2010). Las experiencias en países templados (Fierro, 2017; Metcalfe, 1989) han demostrado que el uso de los macroinvertebrados para el biomonitoreo presenta ventajas sobre los índices físico químicos, pues integran información de cambios al corto y el largo plazo en un amplio rango de variables ambientales (Dudgeon, 2017; Fierro *et al.*, 2017).

El uso de macroinvertebrados para el biomonitoreo de la calidad de agua ha estado tradicionalmente enmarcado en un enfoque taxonómico que se basa en la tolerancia de ciertos taxones a la polución. Sin embargo, uno de los mayores limitantes para esta aproximación es la dificultad de hacer una determinación de los organismos de manera rápida y a un suficiente nivel de detalle (género o especie) para usarlos en programas de monitoreo (Cummins *et al.*, 2005).

Desde hace algunas décadas, el estudio de los rasgos funcionales de las especies de sistemas lóticos ha demostrado una gran utilidad como un buen indicador de la respuesta de las comunidades a diversos tipos de disturbios, entre los que se encuentran los de naturaleza antrópica (Ding *et al.*, 2017), y en consecuencia se ha ido desarrollando un enfoque funcional para el biomonitoreo de sistemas lóticos, principalmente en zonas templadas, con algunos ejemplos en el Neotrópico (Tomanova *et al.*, 2008).

Gran parte de los estudios que se han realizado sobre el uso de la diversidad y los rasgos funcionales en bioindicación se han ejecutado en países de zonas templadas (Charvet *et al.*, 1998; Gayraud *et al.*, 2003; Statzner *et al.*, 2005; Dolédec *et al.*, 2006), siendo mucho menor la cantidad de trabajos llevados a cabo en el trópico (Ding *et al.*, 2017). Una alta proporción de las investigaciones en el Neotrópico sobre este tema se han hecho en Brasil, con algunos otros ejemplos en países como Ecuador o Bolivia (Fossati *et al.*, 2001; Cummins *et al.*, 2005; Tomanova *et al.*, 2008). En Colombia se han realizado algunos acercamientos sobre aspectos funcionales de los macroinvertebrados en la región insular (Motta Díaz *et al.*, 2020), en Antioquia (Toro *et al.*, 2020) y en Boyacá (Torres-Zambrano y Torres-Zambrano, 2016), pero en ninguno de ellos se ha buscado identificar los rasgos más apropiados para la construcción de índices biológicos.

Un primer paso para el desarrollo de un índice biológico de macroinvertebrados con un enfoque funcional en los ríos de la sabana de Bogotá, es la evaluación de los rasgos funcionales de las comunidades de dichos macroinvertebrados con el fin de evaluar cual es su respuesta a los parámetros fisicoquímicos de estos cuerpos de agua. En el presente trabajo se busca evaluar dicha respuesta y hacer una comparación con las mediciones obtenidas por los tradicionales índices biológicos.

## Metodología

### Área de estudio y muestreo

Los macroinvertebrados utilizados provienen de una serie de muestreos realizados entre el año 2017 y el año 2019 en 11 estaciones de muestreo ubicadas en los ríos Frío y Neusa, en los municipios de Cajicá, Chía y Cogua (Figura 1), en el marco del “Programa nacional para la conservación de la especie endémica de Colombia pez capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*)” liderado por el Ministerio del Medio Ambiente y la Universidad Manuela Beltrán (Lemus-Portillo *et al.*, 2020). En cada punto de muestreo se tomaron datos hidrológicos y se midieron *in situ* las variables fisicoquímicas oxígeno disuelto, conductividad, pH, temperatura y turbidez. Los macroinvertebrados se colectaron con metodologías estándar de amplio reconocimiento, red Surber, red D, red de mano (Domínguez y Fernández, 2009).

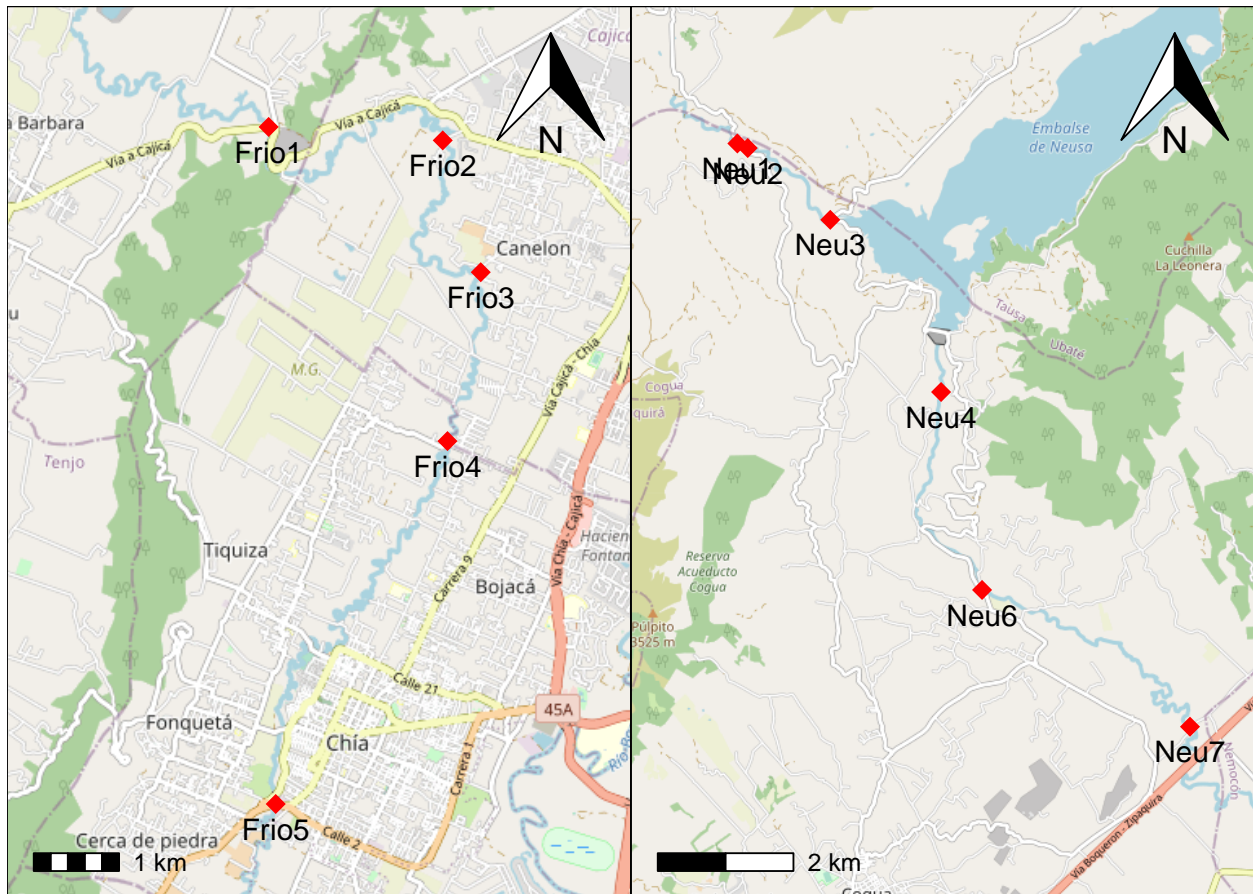


Figure 1: Estaciones de muestreo en los ríos Neusa (derecha) y Frío (izquierda).

### Rasgos Funcionales

Los organismos, pertenecientes a la colección de macroinvertebrados de la Universidad Manuela Beltrán, fueron identificados hasta Familia. Los rasgos funcionales que fueron elegidos de acuerdo a la propuesta de Tomanova *et al.* (2008) incluyen rasgos tróficos (alimentación y hábitos alimenticios), fisiológicos (respiración) morfológicos (tamaño y forma corporal) y comportamentales (Movilidad y fijación al sustrato). Siguiendo la metodología del ‘Fuzzy coding’ (Usseglio-Polatera, 1994) a cada familia se le asignó un valor entre 0 y 3 para cada una de las categorías de los rasgos funcionales (Tabla 1) por medio de observaciones y mediciones directas en el laboratorio, apoyadas en una revisión de la literatura disponible.

Table 1: Categorías de los Rasgos Funcionales. Tomado y modificado de Tomanova et al. (2008)

Rasgo Biológico	Categoría	Código
Alimento	Partículas de sedimento	SED
	Detritos finos < 1 mm	FPMO
	Detritos gruesos > 1 mm	CPOM
	Microfitas	MiPh
	Macrofitas	MaPh
	Macroinvertebrados	Mac-In
Hábitos alimenticios	Colector-recolector	CG
	Triturador	SH
	Raspador	SC
	Colector-filtrador	CF
	Predador	PR
Respiración	Tegumento	TEG
	Agallas	GLL
	Plastrón	PLA
	Espiráculos	STIG
Movilidad y fijación al sustrato	Nadador de superficie	SwS
	Nadador	Sw
	Arrastrador	CRWL
	Excavador epibentónico	EpB
	Excavador endobentónico	EnB
	Temporalmente fijo al sustrato	TA
Tamaño corporal máximo (mm)	<2.5	-
	2.5-5	-
	5-10	-
	10-20	-
	20-40	-
Forma corporal	Hidrodinámico	STRM
	Aplanado	FLAT
	Cilíndrico	CYL
	Esférico	SPH

Table 2: Condiciones ambientales de los rios Neusa y Frio en las estaciones trabajadas

	Fri1	Fri2	Fri3	Fri4	Fri5	Neu1	Neu2	Neu3	Neu4	Neu6	Neu7
Temperatura (C°)	15.59±1.88	16.11±2.02	16.05±2.27	16.14±1.86	15.92±1.54	11.04±0.61	11.33±0.87	11.78±0.98	14.39±0.82	14.84±0.87	15.41±1
Ox disuelto (mg/L)	4.44±1.34	5.17±1.08	4.6±1.02	4.3±1.1	2.42±1.23	7.79±0.37	7.75±0.47	7.4±0.51	7.49±0.15	7.06±0.85	7.42±0.7
pH	6.63±0.54	7.03±0.59	6.89±0.62	6.67±0.42	6.6±0.44	7.11±0.56	7.2±0.27	7.34±0.24	7.11±0.22	7.24±0.29	6.94±0.19
Conductividad (µS/cm)	70.59±4.64	71.71±5.17	73.03±8.77	79.37±8.92	123.75±13.49	100.95±38.97	97.66±28.98	91.66±37.83	76.55±22.24	68.69±20.3	72.51±19.26
Turbidez (NTU)	14.08±4.84	13±6.97	16.97±7.25	22.39±12.31	37.77±15.25	5.91±8.32	7.66±6.16	5.61±5.84	9.21±12.72	11.13±11.33	7.24±7.3
Area (m²)	52.56±39.89	65.83±24.36	66.62±19.32	69.62±19.61	69.48±19.98	57.91±39.75	127.81±60.17	84.04±39.09	53.64±42.71	37.71±27.07	148.3±116.84
Profundidad (cm)	45.97±6.45	54.89±5.13	48.08±6.97	56.44±5.48	40.35±8.83	57.45±13.14	39.4±18.43	47.48±12.54	60.09±20.51	55.06±12.91	54.73±16.4
Velocidad (m/s)	0.16±0.1	0.24±0.15	0.34±0.19	0.51±0.19	0.16±0.06	0.15±0.11	0.18±0.09	0.18±0.09	0.23±0.05	0.25±0.11	0.18±0.05
Altitud (msnm)	2572	2565	2566	2563	2554	3051	3044	2995	2893	2631	2573
Familias	17	16	14	13	8	10	17	13	15	16	18
Total Macro	566	446	306	603	90	285	332	200	279	330	428

## Métodos numéricos y estadísticos

Con el fin de establecer el gradiente ambiental, se realizó un análisis de cluster y un análisis de componentes principales (PCA), para establecer diferencias entre las condiciones fisicoquímicas de las estaciones se realizó un análisis de varianza multivariado (MANOVA). La evaluación de la respuesta de los rasgos funcionales al gradiente ambiental se realizó con un análisis de coinercia RLQ, que vincula las matrices de variables ambientales  $R$  y rasgos funcionales  $Q$  por medio de una matriz de abundancia  $L$  (Dolédéc *et al.*, 2006). Para probar las asociaciones individuales de cada rasgo funcional con las variables ambientales se realizó un análisis *fourth corner* (Dray y Legendre, 2008). Todos los análisis fueron realizados en el software R versión 3.6.3 (R Core Team, 2020), utilizando el paquete ade4 (Dray, 2007).

## Resultados

### Evaluación gradiente ambiental

Las características medioambientales de las estaciones evaluadas se encuentran resumidas en la tabla 2. Los resultados del análisis de cluster muestran que las estaciones evaluadas se pueden clasificar en cuatro grupos diferentes (Fig 2B), que muestra una clara diferencia entre las estaciones del río Frío y las estaciones del río Frío. En el río Frío se observa que las estaciones ubicadas en la vereda Canelon de Cajicá forman un grupo (FrioB) y la estación ubicada en la zona urbana de Chía forma el otro (FrioA). En el río Neusa se observa una diferencia de las estaciones en las condiciones físico químicas antes del embalse del Neusa (NeusaA) y después (NeusaB). Los resultados del MANOVA y del análisis post hoc entre estos cuatro grupos indica que existen diferencias significativas entre ellos (Anexo 3).

Las características hidrológicas de los ríos no varían en gran medida entre las estaciones (Tabla 2 y Anexo 2) y por lo tanto aportan poco al gradiente ambiental, por lo que fueron excluidas de los análisis posteriores.

Los resultados del PCA muestran que el 70% de la varianza de las variables fisicoquímicas se concentra en los dos primeros componentes (Fig 2C). El primer componente esta explicado principalmente por el oxígeno disuelto, la turbidez y la temperatura de las aguas y es por tanto el eje más relevante en la evaluación del gradiente ambiental de las estaciones evaluadas. En el gráfico del PCA (Fig 2A) se puede observar un gradiente de derecha a izquierda en el que se acidifica el agua, se disminuye el oxígeno disuelto y aumenta la turbidez de las aguas. Si bien también se observa un gradiente de temperatura, este no necesariamente esta relacionado con el gradiente ambiental, sino que se debe a las diferencias de altura entre estaciones (Tabla 2).

Las mediciones de pH realizadas en el río Frío muestran una alta variabilidad entre los muestreos que contrasta con las mediciones del río Neusa que en general son más homogéneas y presentan un pH neutro. La conductividad también presenta un comportamiento diferencial entre los ríos. En el caso del río Neusa, las estaciones anteriores a la represa (Neusa A) presentan valores más elevados que los presentes en las estaciones posteriores a la represa (Neusa B), sin embargo cabe resaltar que en las estaciones del grupo Neusa A, la variabilidad entre muestreos es mucho más elevada (Anexo 2) que en el resto de estaciones, razón por la cual esta alta conductividad podría deberse a razones puntuales en los periodos de muestreo. En el río Frío el gradiente de conductividad es el esperado, sin muchas diferencias entre las estaciones río arriba (Frio B) y una alta conductividad en la estación Frio5.

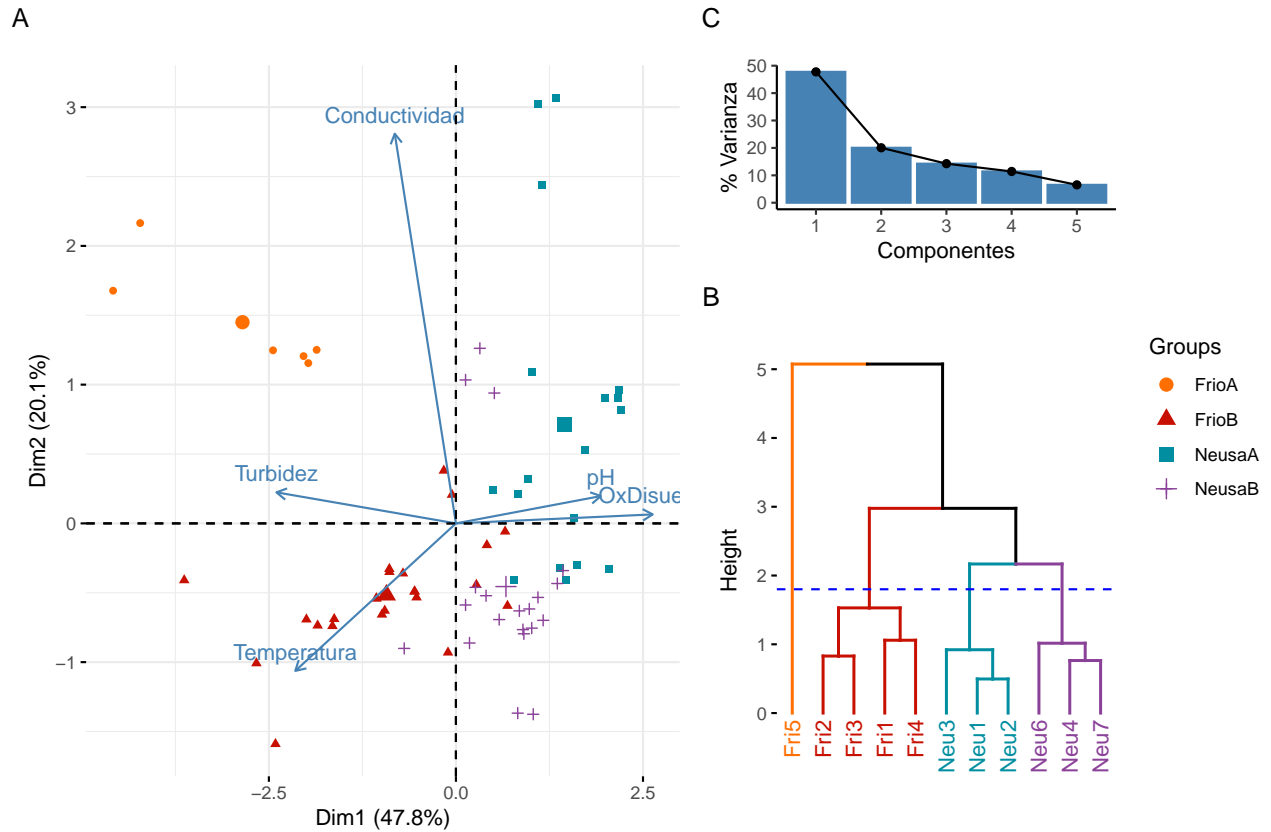


Figure 2: Analisis de Componentes Principales y Analisis Jerarquico de Cluster. A) Proyección de las variables fisicoquimicas en el plano del ACP. B) Dendrograma de las estaciones. Se utilizo como la distancia euclidia como metrica de similitud y se computo utilizando el algoritmo UPGMA C) Varianza explicada por los componentes del ACP.

## **Respuesta de los rasgos funcionales**

Las proyecciones de las categorías de cada rasgo funcional se proyectaron en el plano factorial producido por el análisis RLQ (figura 3), siendo el primer eje el más relevante en el análisis puesto que comprime el 85% de la inercia observada en las tablas de condiciones ambientales (R) y rasgos funcionales (Q).

El análisis fourthcorner revela que existen correlaciones significativas ( $p = 0.05$ ) entre la temperatura, la turbidez y el oxígeno disuelto con el primer eje del plano factorial (Anexo 4) confirmando las tendencias observadas en el PCA.

Cuando en el plano aumenta el oxígeno disuelto y disminuye la turbidez se puede ver una tendencia hacia el aumento de organismos raspadores que se alimentan principalmente de algas y detritos finos (Fig 3 A y B) de pequeños tamaños ( $<1\text{cm}$ ) con cuerpos redondeados y/o aplanados y que presentan hábitos natatorios o excavadores (Fig 3 D, E y F). Cuando la acidez y la turbidez del agua aumenta la tendencia favorece a los organismos trituradores y a los predadores (Fig 3 A y B) de forma cilíndrica y tamaño medio (1-2 cm) que se encuentran sobre la superficie bentónica (Fig 3 D, E y F). La figura 3C muestra que las formas de respiración de los macroinvertebrados no presentan tendencias fuertes en relación a el gradiente ambiental.

Sin embargo, los resultados del análisis fourthcorner solo respaldan algunas de estas tendencias, encontrándose correlaciones negativas ( $p = 0.5$ ) entre el primer eje del plano factorial y los organismos que se alimentan de algas (Miph) o presentan formas esféricas (SPH) y correlaciones positivas cuando los organismos son trituradores (SH), presentan formas cilíndricas (CYL) o son de tamaño medio (Anexo 4).

## **Indices bióticos**

Trabajando en los índices BMWP-Col y el ASPT con el propósito de contrastar los resultados obtenidos.

## **Discusión**

## **Conclusiones**

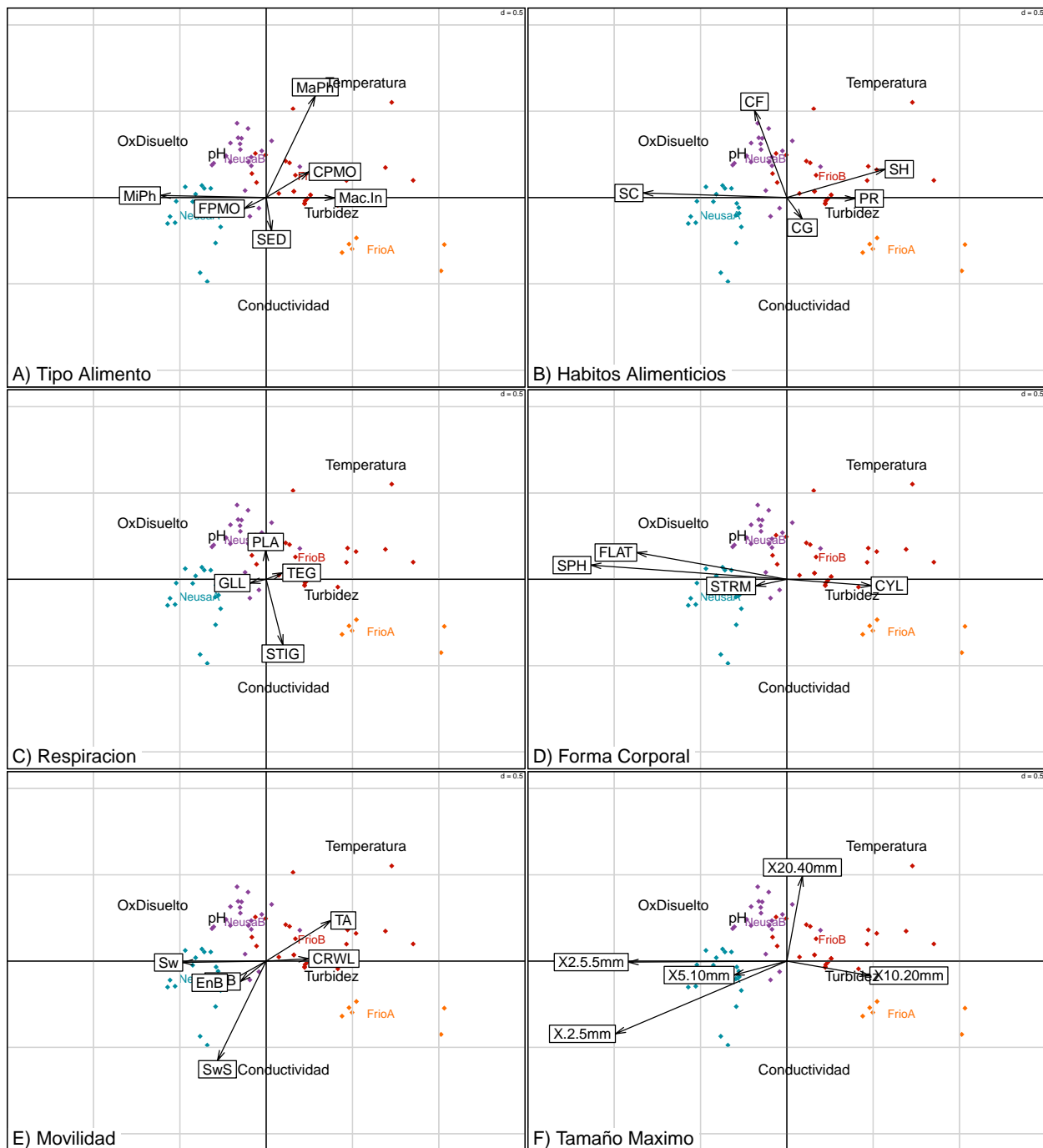


Figure 3: Analisis RLQ de los rios estudiados. A-F) Proyección de las categorías en el plano factorial del análisis RLQ. El primer eje RLQ concentra el 85% de la variación. El valor de d representa el tamaño de la cuadrícula. Los codigos de las categorías se pueden encontrar en la tabla 1.

## Bibliografía

- Charvet, S., Kosmala, A., & Statzner, B. (1998). Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: Perspectives for a general tool in stream management. *Archiv Fuer Hydrobiologie*, 142(4), 415-432.
- Chevenet, F., Dolédec, S. and Chessel, D. (1994) A fuzzy coding approach for the analysis of long-term ecological data. *Freshwater Biology*, 31, 295–309.
- Cummins, K. W., Merritt, R. W., & Andrade, P. C. (2005). The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 40(1), 69-89.
- Ding, N., Yang, W., Zhou, Y., González-Bergonzoni, I., Zhang, J., Chen, K., Vidal, N., Jeppesen, E., Liu, Z., & Wang, B. (2017). Different responses of functional traits and diversity of stream macroinvertebrates to environmental and spatial factors in the Xishuangbanna watershed of the upper Mekong River Basin, China. *Science of The Total Environment*, 574, 288-299.
- Doledec, S., Chessel, D., ter Braak, C.J.F. and Champely, S. (1996) Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3, 143–166.
- Dolédec, S., Phillips, N., Scarsbrook, M., Riley, R. H., & Townsend, C. R. (2006). Comparison of structural and functional approaches to determining landuse effects on grassland stream invertebrate communities. *Journal of the North American Benthological Society*, 25(1), 44-60.
- Domínguez, E., & Fernández, H (eds). (2019), Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina. Fossati, O., Wasson, J.-G., Héry, C., Salinas, G., & Marín, R. (2001). Impact of sediment releases on water chemistry and macroinvertebrate communities in clear water Andean streams (Bolivia). *Archiv Für Hydrobiologie*, 151(1), 33-50.
- Dray S, Dufour A (2007). “The ade4 Package: Implementing the Duality Diagram for Ecologists.” *Journal of Statistical Software*, 22(4), 1-20. doi: 10.18637/jss.v022.i04 (URL: <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i04>).
- Dray, S. and Legendre, P. (2008) Testing the species traits-environment relationships: the fourth-corner problem revisited. *Ecology*, 89, 3400–3412.
- Dudgeon, D. (2011). *Tropical Stream Ecology*. Elsevier. USA
- Fierro, P., Valdovinos, C., Vargas-Chacoff, L., Bertrán, C., & Arismendi, I. (2017). Macroinvertebrates and Fishes as Bioindicators of Stream Water Pollution. *Water Quality*. <https://doi.org/10.5772/65084>
- Gayraud, S., Statzner, B., Bady, P., Haybachp, A., Schöll, F., Usseglio-Polatera, P., & Bacchi, M. (2003). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of alternative metrics. *Freshwater Biology*, 48(11), 2045-2064.
- Lemus-Portillo, C., Echavarria-Pedraza, M. C., Rojas, J. E., Alvarez-Diaz, J. E., León-Pardo, K. J., Aguilar-Orjuela, S., & Maldonado, J. F. (2020). Estado de conservación y distribución del pez de agua dulce Capitán de la Sabana *Eremophilus mutisii* en Cundinamarca, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 42(112).
- Metcalfe, J. L. (1989). Biological water quality assessment of running waters based on macroinvertebrate communities: History and present status in Europe. *Environmental Pollution*, 60(1), 101–139. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90223-6](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90223-6)
- Motta Díaz, A. J., Longo, M., & Aranguren-Riaño, N. (2020). Variación temporal de la diversidad taxonómica y rasgos funcionales de los macroinvertebrados acuáticos en ríos temporales en la isla de Providencia, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 39(107), 82-100.
- Statzner, B., Bady, P., Dolédec, S., & Schöll, F. (2005). Invertebrate traits for the biomonitoring of large European rivers: An initial assessment of trait patterns in least impacted river reaches. *Freshwater Biology*, 50(12), 2136-2161.



- Pinilla, G. (2010). An index of limnological conditions for urban wetlands of Bogotá city, Colombia. *Ecological Indicators*, 10(4), 848–856. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.01.006>
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Tomanova, S., Moya, N., & Oberdorff, T. (2008). Using macroinvertebrate biological traits for assessing biotic integrity of neotropical streams. *River Research and Applications*, 24(9), 1230-1239. <https://doi.org/10.1002/rra.1148>.
- Toro, J. A. R., Ramirez, N. J. A., Lopez, J. P. S., Atilano, E. H., & Macías, F. de J. V. (2020). Energía calórica, biomasa y estructura de los macroinvertebrados acuáticos en la reserva La Nitrera, Concordia, Antioquia, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 25(1), 29-36.
- Torres-Zambrano, N. N., & Torres-Zambrano, D. R. (2016). Macroinvertebrados acuáticos de la quebrada Los Alisos, Firavitoba—Boyacá. *Intropica*, 11, 47-56.
- Usseglio-Polatera, P. (1994). Theoretical habitat templets, species traits, and species richness: Aquatic insects in the Upper Rhône River and its floodplain. *Freshwater Biology*, 31(3), 417–437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb01749.x>

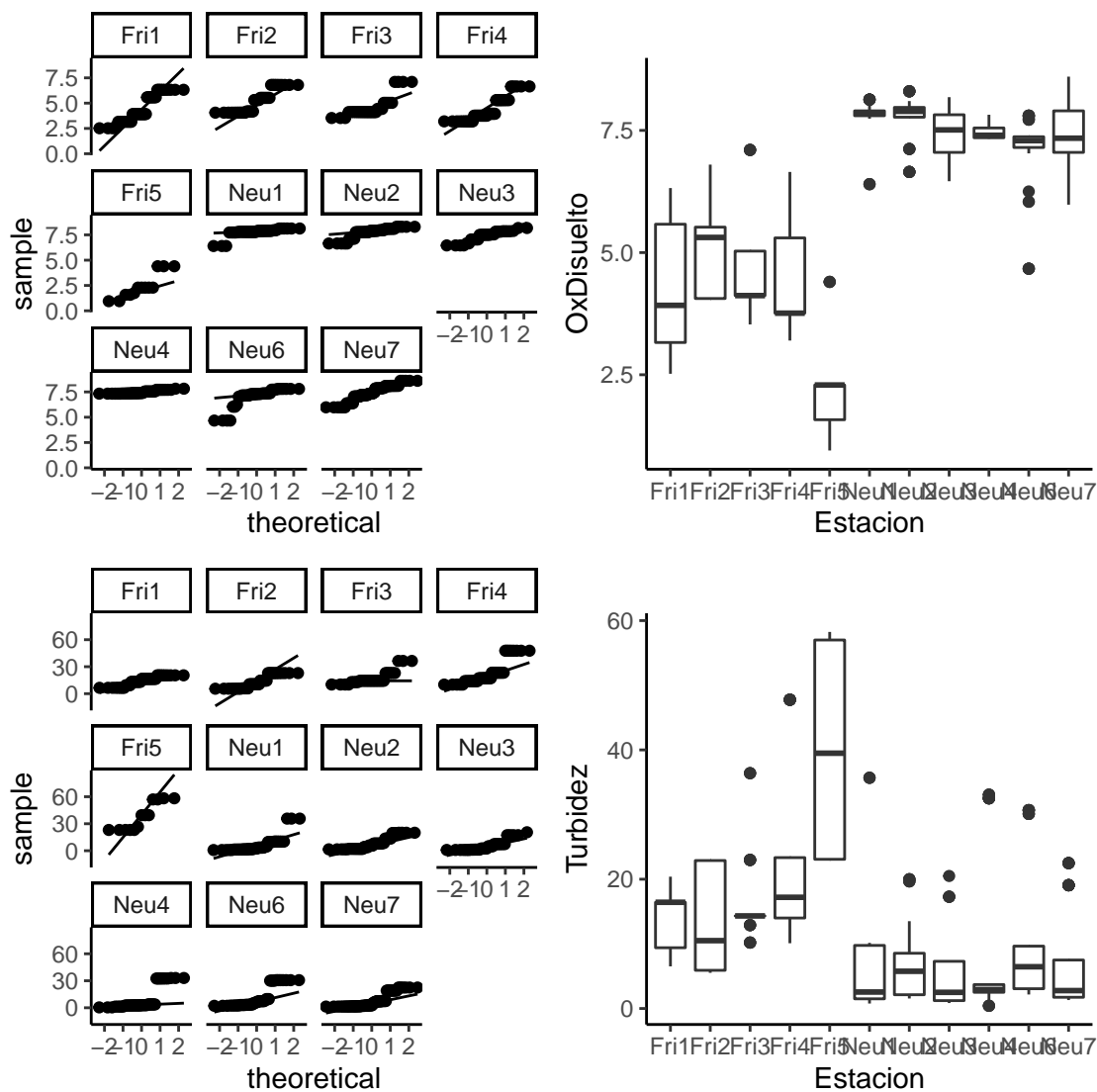
## **Anexos**

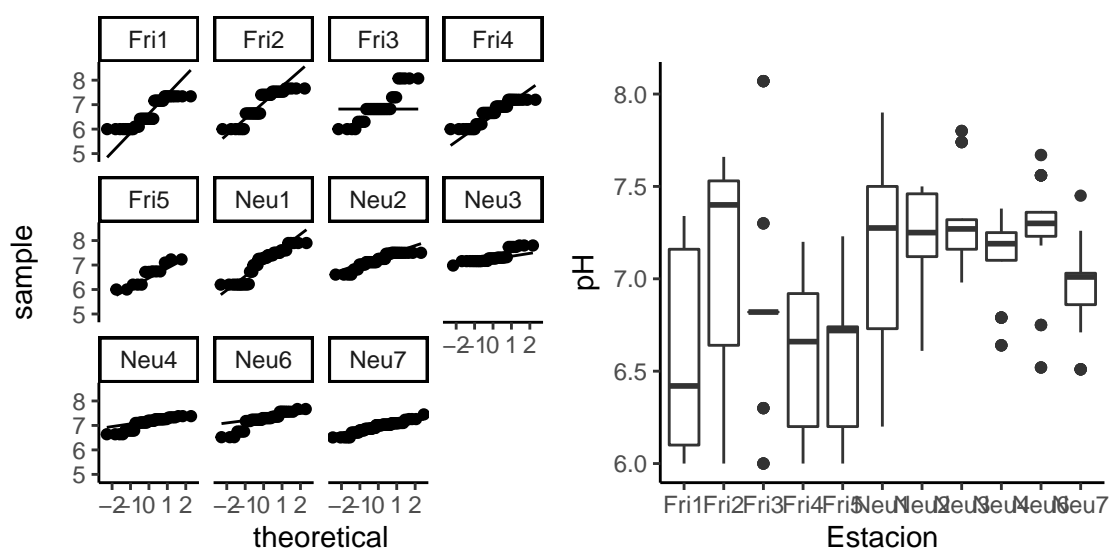
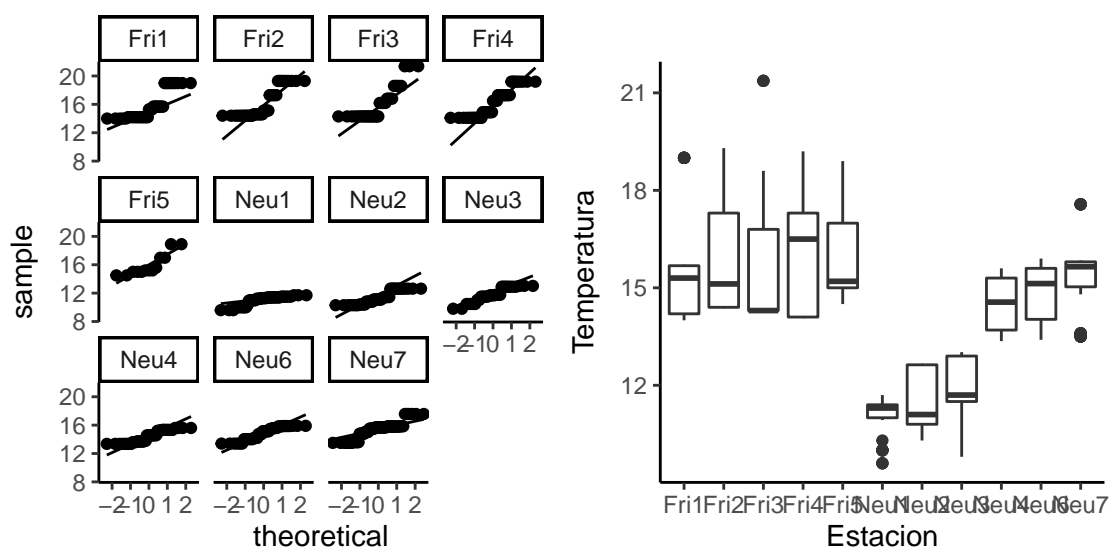
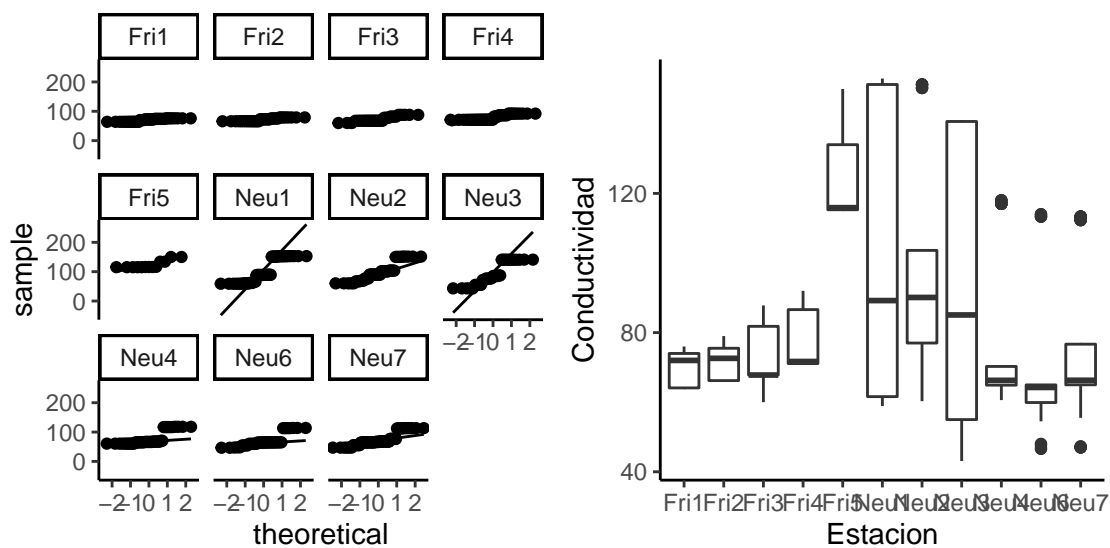
Table 3: Anexo1 : Clasificación de los rasgos funcionales basados en la metodología del Fuzzy Code para las familias de macroinvertebrados presentes en los ríos de la Sabana de Bogotá.

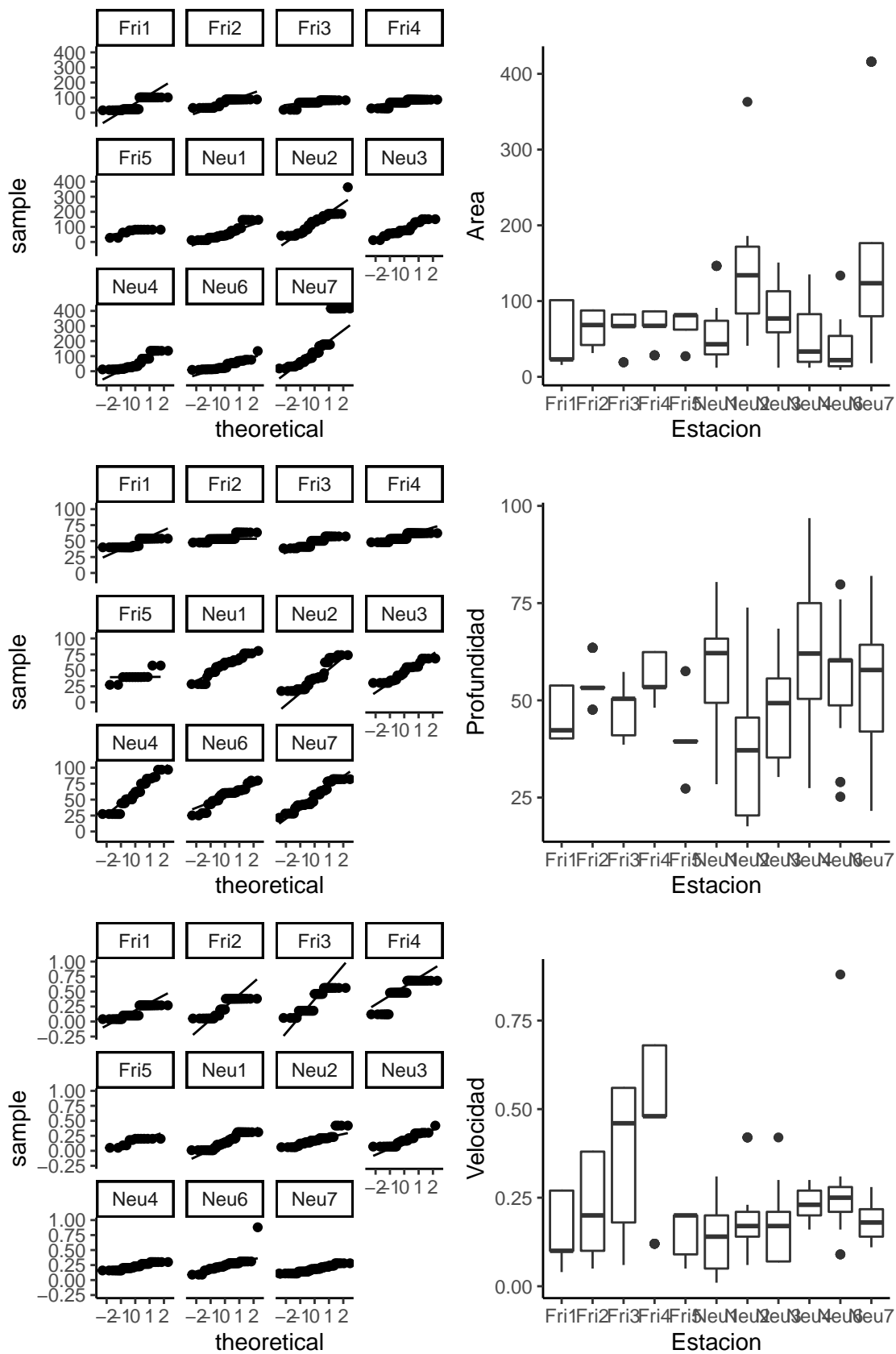
Familia	Tipo Alimento						Habitos Alimenticios					Respiracion				Forma Corporal				Movilidad						Tamaño Maximo					
	SED	FPMO	CPMO	MiPh	MaPh	Mac.In	CG	SH	SC	CF	PR	TEG	GLL	PLA	STIG	STRM	FLAT	CYL	SPH	SwS	Sw	CRWL	EpB	EnB	TA	X.2.5mm	X2.5.5mm	X5.10mm	X10.20mm	X20.40mm	
Aeshnidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Baetidae	1	3	1	2	0	0	3	0	2	0	0	1	2	0	0	2	0	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	1	0
Ceratopogonidae	0	1	0	1	0	3	1	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Chironomidae	1	3	1	1	0	0	3	1	1	0	0	3	2	0	0	0	0	3	0	0	1	2	3	1	1	0	0	0	1	3	0
Coenagrionidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	2	0	3	0	0	1	3	0	0	3	0	0	0	0	3	0
Corixidae	0	2	0	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	2	2	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0
Elmidae	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	1	0	0	0	3	0	0	0
Empididae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	3	1	0	0	3	0	0	0	0
Gerridae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Glossophniidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	2	0
Helicopsychidae	0	3	0	1	0	0	1	0	3	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Hyalellidae	0	3	1	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3	0	0	2	3	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	3	0	0	0
Hydrophilidae	0	2	2	2	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Leptoceridae	0	1	3	0	1	0	1	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Libellulidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	3	0
Lymnaeidae	0	2	0	3	1	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	3	0	0	0
Naididae	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Notonectidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Physidae	0	1	0	3	0	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Planariidae	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Planorbidae	0	2	0	3	0	0	0	0	3	0	0	1	3	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	1	0	0	3	0	0	0	0
Polycentropodidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	0
Simuliidae	0	3	1	1	0	0	0	0	1	3	0	3	1	0	1	0	0	3	0	0	0	2	0	0	3	0	0	3	0	0	0
Sphaeriidae	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	3	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0
Tipulidae	1	3	1	1	1	0	0	0	3	0	0	2	2	0	2	0	0	3	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Tricorythidae	1	3	1	1	0	1	3	1	2	0	0	1	3	0	0	0	1	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Staphylinidae	0	3	0	0	0	1	2	2	0	0	1	0	0	3	0	1	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0
Gyrinidae	0	1	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0
Mesoveliidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	0	1	1	3	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0
Philopotamidae	0	3	0	1	0	0	0	1	0	3	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	3	0	0	3	1	0	0
Hydroptilidae	0	1	0	3	0	0	0	0	3	0	0	3	1	0	0	0	3	3	0	0	0	3	0	0	2	0	3	0	0	0	0
Lumbricidae	1	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
Muscidae	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0	2	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	2	3	0	2	0
Dytiscidae	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	3	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
Ptilodactylidae	0	1	1	2	0	0	0	0	3	3	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	2	2	3	0

## Anexo 2

El análisis univariado de las variables fisicoquimicas e hidrologicas. En las figuras se observan los diagramas de caja que corresponde a un análisis descriptivo de las variables. Los gráficos cuantil-cuantil indican que tan bien se ajustan las variables a una distribución normal.







### Anexo 3

Resultados del análisis de varianza multivariado de los grupos generados por el análisis de cluster. El análisis post hoc incluyo multiples tests de hotelling entre los pares de grupos.

```
## [1] "Global"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 3 1.6096   14.354      15   186 < 2.2e-16 ***
## Residuals      64
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_NeuB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 1 0.86258   40.173      5    32 7.079e-13 ***
## Residuals      36
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_FrioA"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 1 0.94043   56.836      5    18 2.144e-10 ***
## Residuals      22
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuA_FrioB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 1 0.82072   32.96      5    36 1.759e-12 ***
## Residuals      40
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuB_FrioA"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 1 0.91653   43.922      5    20 4.137e-10 ***
## Residuals      24
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## [1] "NeuB_FrioB"
##           Df Pillai approx F num Df den Df    Pr(>F)
## Tipo_Estacion 1 0.67627   15.876      5    38 1.95e-08 ***
## Residuals      42
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
```

Table 4: Anexo 4: Resultados del Analisis Fourthcorner de las correlaciones (Pearson) entre el primer eje del plano factorial RLQ y los rasgos funcionales y las variables ambientales. Signif. codes: 0 ‘\*\*\*’ 0.001 ‘\*\*’ 0.01 ‘\*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘.’ 1

	Obs	Std.Obs	Pvalue	
<b>Traits</b>				
AxcR1 / SED	0.0167251198	0.028444005	0.97380523895221	
AxcR1 / FPMO	-0.1151915854	-0.636011734	0.58248350329934	
AxcR1 / CPMO	0.1251741271	0.652283028	0.559888022395521	
AxcR1 / MiPh	-0.3842096663	-2.083129057	0.0163967206558688	*
AxcR1 / MaPh	0.0576551215	0.335481077	0.653469306138772	
AxcR1 / Mac.In	0.1705691260	0.890642454	0.424715056988602	
AxcR1 / CG	0.0611560656	0.284797450	0.788442311537693	
AxcR1 / SH	0.2133949839	1.164775641	0.29374125174965	
AxcR1 / SC	-0.4212447451	-2.362987516	0.00579884023195361	**
AxcR1 / CF	-0.0189202594	-0.176444478	0.822235552889422	
AxcR1 / PR	0.1704619174	0.881158582	0.443511297740452	
AxcR1 / TEG	0.1012529956	0.516362454	0.664667066586683	
AxcR1 / GLL	-0.1013752947	-0.550375423	0.619476104779044	
AxcR1 / PLA	-0.0004950792	-0.008283442	0.992601479704059	
AxcR1 / STIG	0.0153000583	0.067553218	0.950409918016397	
AxcR1 / STRM	-0.1003915809	-0.541192058	0.639472105578884	
AxcR1 / FLAT	-0.3075814025	-1.683608541	0.0775844831033793	.
AxcR1 / CYL	0.3899407996	1.972299495	0.0293941211757648	*
AxcR1 / SPH	-0.2938044424	-1.869887745	0.0347930413917217	*
AxcR1 / SwS	-0.0309085157	-0.230461913	0.768246350729854	
AxcR1 / Sw	-0.2309806851	-1.381817845	0.196960607878424	
AxcR1 / CRWL	0.2121646017	1.092454781	0.318336332733453	
AxcR1 / EpB	-0.0743724531	-0.436596128	0.699060187962408	
AxcR1 / EnB	-0.1044406278	-0.775293156	0.383523295340932	
AxcR1 / TA	0.1777441912	0.963678148	0.406318736252749	
AxcR1 / X.2.5mm	-0.0761296089	-0.656845294	0.375924815036993	
AxcR1 / X2.5.5mm	-0.2789687987	-1.606816397	0.0827834433113377	.
AxcR1 / X5.10mm	-0.1448177402	-0.786287985	0.502899420115977	
AxcR1 / X10.20mm	0.3640202173	1.891822816	0.0441911617676465	*
AxcR1 / X20.40mm	0.0233195474	0.093115951	0.921615676864627	
<b>Enviromental</b>				
Temperatura / AxcQ1	0.41599416	2.5831393	0.0025994801039792	**
OxDisuelto / AxcQ1	-0.47278955	-2.1202735	0.0249950009998	*
pH / AxcQ1	-0.20379983	-1.8011344	0.0725854829034193	.
Conductividad / AxcQ1	0.07239964	0.7024093	0.488302339532094	
Turbidez / AxcQ1	0.27307159	2.1566406	0.0227954409118176	*